

Aufbereitung und Recycling

13. November 2003

Freiberg

Veranstalter:

Gesellschaft für Umweltverfahrenstechnik und Recycling e.V. Freiberg - UVR

Wiss.- techn. Gesellschaft für Verfahrenstechnik Freiberg - FIA - e.V.

Gesellschaft für Aufbereitungstechnik und Recycling e.V. Freiberg - GAR

Tagungsorganisation

UVR-FIA GmbH

Prof. Dr. habil. Hanspeter Heegn

Chemnitzer Str. 40, 09599 Freiberg

Telefon 03731 797249

Fax 03731 797203

E-Mail: info@uvr-fia.de

Vortragsprogramm

Tagung Aufbereitung und Recycling am 13. November 2003

9.30 Uhr Eröffnung

9.35 Uhr Prof. Dr.-Ing. Ali Hassan (Institut für Chemie der Technischen Universität Berlin), Dr. Steffi Richter (Umweltbundesamt, Berlin)
Maßnahmen zur Förderung des Recyclings von verbrauchten Industriekatalysatoren

10.00 Uhr Dipl.-Ing. Andre Schäfer, Dr.-Ing. Siegmund Schäfer (MEWA Recycling Maschinen und Anlagenbau GmbH, Niederlassung Freiberg)
Aufbereitung von Altreifen - Anlagenkonzepte und Betriebsergebnisse

10.25 Uhr Dr.-Ing. Hilmar Tiefel (SiC Processing GmbH, Bautzen/Sachsen)
Aufbereitung und Recycling von Sägeslurry aus der Waferproduktion in der Solar- und Halbleiterindustrie

10.50 - 11.10 Uhr Pause

11.10 Uhr Dr. Franz Glombitza, Dr. Eberhard Janneck, Ing. Günther Rätzel, H. Fischer (G.E.O.S.Freiberg, Ingenieurgesellschaft mbH)
Eisenhydroxysulfate als potenzielle Wertstoffe aus der Bergbauwasserbehandlung

11.35 Uhr Prof. Dr.-Ing. Thomas Pretz, Dipl.-Ing. Alexander Khoury (Institut und Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe I.A.R., RWTH Aachen)
Batterien im Restabfall – Lösungsansätze durch Sortierverfahren

12.00 Uhr Dr.-Ing. Ursula Stark, Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller (Bauhaus-Universität Weimar, Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung)
Effektive Methode zur Messung der Korngröße und Kornform

12.25 Uhr Dr. Gert Göll, Dipl.-Ing. Helmut Knöbel (Sachsen Feuerwerk GmbH, Freiberg)
Technologische Untersuchungen zur Herstellung homogener Gasgenerator-Treibsätze für den Einsatz in Airbags

12.50 - 14.00 Uhr Mittagspause und Posterschau

14.00 Uhr Dipl.-Ing. R. Olwig, Dipl.-Ing. M. Juhnke, Prof. Dr.-Ing. R. Weichert (Institut für Mechanische Verfahrenstechnik, TU Clausthal)
Experimentelle Ermittlung des Kraft-Verformungsverhaltens nicht-spröder Stoffe bei Verformungsgeschwindigkeiten bis 50 m/s

14.25 Uhr Dr.-Ing. Wolfgang Schubert, Dipl.-Ing. Manoj Khanal, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Tomas (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik)
Der Einsatz von DEM-Simulationen zur Beschreibung der Aufschlusszerkleinerung

14.50 Uhr Dr. Hanisch (FAM - Magdeburger Förderanlagen- und Baumaschinen GmbH)

Moderne Mahltrocknungsanlagen

15.15 Uhr Dipl.-Ing. Gunther Schnedelbach, Dipl.-Ing. Mathias Polster, Dr.-Ing. Wolfgang Scheibe (UVR-FIA GmbH Freiberg)

Herstellung feinsten Körnungen mit einem Kreislauf Kugelmühle - Feinstkornsichter

15.40 - 16.00 Uhr Pause

16.00 Uhr Dr. rer. nat. Christoph Cichos, Dipl.-Ing. Horst Plate (UVR-FIA GmbH Freiberg), Dipl.-Ing. M. Klitta, Dipl.-Ing. U. Schnitzler (Thyssen Krupp GfT Gerlingen), Dr. P. Guntli (Zentrum AlpTransit Sedrun, Schweiz), Dr. sc. nat. C. Thalmann (B.I.G. Wabern, CH):

Erfahrungen bei der Inbetriebnahme einer Flotationsanlage zur Entglimmerung von Brechsand beim Bau des St. Gotthard Tunnels

16.25 Uhr Dipl.-Ing. Friedrich Schaaff, Dr. rer. nat. Johann Dueck, Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Neeße (Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Recycling, Universität Erlangen- Nürnberg, Erlangen)

Modellierung der Mahlattrition - ein neues Verfahren zur Aufbereitung von kontaminierten Sanden

16.50 Uhr Dr.-Ing. Achim Meinel (Büro für Verfahrenstechnik, Tannenbergsthal)

Zur Rolle und Optimierung der Siebbodenbewegung auf Wurfsiebmaschinen

17.15 Uhr Schlusswort

Aufbereitung und Recycling

POSTERPROGRAMM (AUSWAHL)

Dr. rer. nat. Johann Dück, Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Neeße (Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Recycling, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen)
Zum Verlauf der Trennkurve des Hydrozyklons im Feinstkornbereich

Dipl. Ing. Stefan Mutz, Jörg Julius, Prof. Dr.-Ing. Thomas Pretz (Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe, RWTH Aachen), Hartmut Harbeck (COMMODAS, Wedel), Frank Hilbk-Kortenbruck, Joachim Makowe (Fraunhofer-Institut für Laser Technologie ILT, Aachen)
Sortierung von Aluminiumschrotten mittels automatischer Klaubung

Dipl.-Ing. Karen Grandissa, Dr.-Ing. Wolfgang Scheibe (UVR-FIA GmbH Freiberg)
Gewinnung von hochwertigem Ziegelsplitt aus Bauschutt

Dr. rer. nat. Christoph Cichos, Dr.-Ing. Albrecht Tolke (UVR-FIA GmbH Freiberg), Christian Weiske (Höpner Lacke GmbH, Niesky), Dr. Wolf-Dieter Kaiser, Dr. Jörg Gehrke (IKS Dresden GmbH)
Aktive Pigmente aus Silizium-Sekundärprodukten für Korrosionsschutzbeschichtungen

Dr. Matthias Coppers (RHEWUM GmbH Remscheid)
RHEWUM-Datasort Sortiermaschinen und RHEWUM Feinsiebmaschine mit direkter Erregung des Siebbelages

Prof. Dr. rer. nat. habil. Hanspeter Heegn, Dr.-Ing. Andre Kamptner (UVR-FIA GmbH Freiberg); Prof. Dr.-Ing. Bernd Friedrich, Dipl.-Ing. Tobias Müller (IME, RWTH Aachen); Dipl.-Ing. Reiner Weyhe (Accurec GmbH, Mülheim)
Verfahren zum Recycling von Nickel-Metallhydrid-Batterien

Maßnahmen zur Förderung des Recycling von verbrauchten Industriekatalysatoren

Prof. Dr.-Ing. Ali Hassan
(Technische Universität Berlin)
Dr. Steffi Richter
(Umweltbundesamt Berlin)

Technische Katalysatoren spielen eine entscheidende Rolle in der chemischen Industrie, der Erdölverarbeitung und den Umweltprozessen. Da sie eine begrenzte Lebensdauer haben, müssen sie nach einer gewissen Zeit ersetzt werden. Die verbrauchten Katalysatoren werden recycelt, anderweitig verwertet oder beseitigt.

Die mengenmäßig wichtigste Gruppe unter den Katalysatoren bilden die Nichtedelmetallkatalysatoren. Die Metalle werden nur zum Teil zurückgewonnen. Der Rest wird im Bergversatz verwertet bzw. deponiert.

Neben einer möglichen Umweltbelastung durch die Schwermetalle in den Deponien gehen beim Bergversatz und bei der Beseitigung auf Deponien die Metalle endgültig verloren. Daher wird angestrebt, die Recyclingrate von verbrauchten Nichtedelmetallkatalysatoren zu erhöhen, die durch rechtliche, technische und wirtschaftliche Faktoren beeinflusst wird. Während für die meisten verbrauchten Nichtedelmetallkatalysatoren ausgereifte Recyclingverfahren zur Verfügung stehen, und die rechtlichen Regelungen die Rahmenbedingungen darstellen, die immer eingehalten werden müssen, bilden die wirtschaftlichen Kriterien in der Praxis die Grundlage für eine Entscheidung über den Verbleib der verbrauchten Katalysatoren.

Die Einflussfaktoren und möglichen Maßnahmen zur Förderung des Recycling wurden im Rahmen einer Studie im Auftrage des Umweltbundesamtes untersucht (FKZ: 363 01 046). Ausgehend von den ermittelten Einflussfaktoren werden die Maßnahmen diskutiert, die zur Förderung des Recycling beitragen können. Die Transparenz der Entsorgungswege ist ein wichtiges Mittel, um auf das Recycling von verbrauchten Katalysatoren Einfluss nehmen zu können. Auch Innovationen sind ein wichtiges Instrument, um das Recycling voranzutreiben. Die freiwillige Katalysatorrücknahme durch den Katalysatorhersteller wäre eine wirksame Methode, wenn sie intensiver eingesetzt würde. Wirtschaftliche Anreize können auch zur Förderung des Recycling beitragen. Gesetzliche Maßnahmen stellen einen viel diskutierten Punkt dar. Vor allem wurde die Rücknahmeverpflichtung der Katalysatorhersteller vorgeschlagen, um eine höhere Recyclingrate zu erreichen. Auch Kooperationen zwischen den Akteuren der Katalysatorwirtschaft können das Recycling positiv beeinflussen.

Eine Kombination verschiedener Maßnahmen kann sicherlich am besten das Recycling von verbrauchten Katalysatoren fördern. Dabei ist eine Zusammenarbeit aller Beteiligten für den Erfolg notwendig.

Aufbereitung von Altreifen – Anlagenkonzepte und Betriebsergebnisse

Dipl.-Ing. Andre Schäfer und Dr. Siegmund Schäfer

(MeWa Recycling Maschinen und Anlagenbau GmbH, Niederlassung Freiberg)

Das jährliche Altreifenaufkommen beträgt in Deutschland gegenwärtig ca. 650.000 t. Im Vergleich dazu fallen in den Ländern der Europäischen Union (EU) insgesamt über 2,5 Mill. t Altreifen pro Jahr an.

Zunehmend werden Altreifen als Rohstoffquelle erkannt und auch genutzt. Weiterhin gelten eine Reihe neuer abfallrechtlicher Grundlagen. So untersagt die Deponieverordnung seit dem 16.07.2003 innerhalb der EU, die Altreifen auf Deponien einer Endlagerung zuzuführen. Ab dem 16.07.2006 ist es in den Ländern der EU außerdem nicht mehr zulässig, zerkleinerte Altreifen zu deponieren.

Altreifen sind aufgrund ihrer Form, Brennbarkeit und der physikalischen Eigenschaften ein nicht einfach zu handhabender Abfall. Für die Altreifenverwertung existieren verschiedene Wege und Verfahren. Maßgebend für die im Vortrag dargestellte mechanische Aufbereitung der Altreifen ist ihre Zusammensetzung, die je nach Reifenart (zum Beispiel PKW- oder LKW-Reifen) wie folgt charakterisiert werden kann:

- 65 bis 70 % Gummi bzw. Kautschukmischung,
- 15 bis 30 % Stahldraht,
- sowie 2 bis 15 % Textilfasern, mineralische Stoffe u. a.

Das Konzept der Firma MeWa für die Altreifenaufbereitung basiert auf einem modularen Anlagenaufbau. Es umfasst im wesentlichen die nachfolgenden Prozessstufen:

- Vorzerkleinerung (Rotorscheren),
- Nachzerkleinerung (Granulatoren),
- Feinzerkleinerung (Turbomühlen) und
- entsprechende Trennprozesse.

Es werden zwei Anlagenkonzepte für die Altreifenaufbereitung vorgestellt. Das betrifft einerseits eine Anlage zur Herstellung von Gummigrobgranulat, welches als Sekundärbrennstoff zur thermischen Verwertung genutzt wird, und andererseits eine Altreifenaufbereitungsanlage zur Produktion von Feingranulaten sowie Gummimehl, die im Rahmen der stofflichen Verwertung eingesetzt werden.

Bei der Herstellung der Gummigranulate wird vor allem unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten im Normaltemperaturbereich - auch als Warmverfahren bezeichnet - gearbeitet. Eine kryotechnische Vorbehandlung des Gummis mit flüssigem Stickstoff ist nur bei der Erzeugung von Gummimehl zweckmäßig.

Die Präsentation ausgewählter Betriebsergebnisse (Korngrößenverteilungen bei Zerkleinerungsstufen, Relation der Anzahl der Zerkleinerungsstufen zur erreichbaren Stückgröße, erzielte Durchsätze) basiert auf umfangreichen Versuchen im MeWa-Technikum, den Betriebserfahrungen an der Aufbereitungsanlage für Altreifen in Walbrzych (Polen) sowie dem Probe- und Produktionsbetrieb der Reifenrecyclinganlage in Ohlsdorf (Österreich).

Aufbereitung und Recycling von Sägeslurry aus der Waferproduktion in der Solar- und Halbleiterindustrie

Dr.-Ing. Hilmar Tiefel

(SiC Processing GmbH Bautzen/Sachsen)

Die Drahtsägetechnik von Wafern aus Silizium-Ingots wird weltweit in der Solar- und Halbleiterindustrie eingesetzt.

Als Schneidhilfsmittel ist Siliziumkarbid (SiC), und als Schmier- und Kühlmittel sind Polyglykol (PEG) oder Öl im Gebrauch.

Im Lauf des Sägeprozesses konzentrieren sich feinste SiC-Partikel im Sägemedium auf, so dass diese Sägeslurry in regelmäßigen Zeitabständen ausgetauscht werden muss.

Da SiC und PEG sehr werthaltig sind und die Entsorgung - zum Beispiel in Verbrennungsanlagen - sehr kostenintensiv ist, trägt dieser Kostenblock wesentlich zu den Waferproduktionskosten bei.

Die SiC Processing GmbH hat deshalb ein neuartiges Recyclingverfahren entwickelt, mit dem das SiC und das PEG zurückgewonnen wird und das verbleibende Silizium ebenfalls verwertbar ist.

Bei diesem patentierten Verfahren handelt es sich um mehrere, in Reihe geschaltete, nassmechanische, thermische und chemische Prozessverfahren.

Die Produktqualität entspricht der von Neuware, wobei sich verschiedene Materialparameter, besonders beim recycelten SiC positiver auf den Sägeprozess und die Qualität der erhaltenen Wafer auswirken im Vergleich zu SiC-Neuware.

Mittlerweile betreibt die SiC Processing GmbH in Europa vier Produktionsanlagen, davon allein zwei in Bautzen/Sachsen.

Eisenhydroxysulfate als potenzielle Wertstoffe aus der Bergbauwasserbehandlung

Dr. F. Glombitza, Dr. E. Janneck, G. Rätzel, H. Fischer,

(G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH, Fachbereich Biotechnologie /
Verfahrensentwicklung)

Halden-, Drainage-, Kippen-, Flutungs- und Prozesswässer des Braunkohlen- und Erzbergbaues besitzen in vielen Fällen einen niedrigen pH-Wert und enthalten oft größere Mengen an Eisen und anderen Schwermetallen.

Gegenwärtig erfolgt eine Behandlung dieser Wässer durch eine Anhebung des pH-Wertes und eine Abtrennung der Schwermetalle durch die Zugabe von Kalk. Die anfallenden Schlämme werden in der Regel in Abhängigkeit von ihrer Zusammensetzung deponiert, verwahrt oder als protonenverbrauchendes alkalisches Potenzial in Tagebaurestlöchern eingetragen.

Eine beträchtliche Reduzierung der für die Wasserbehandlung notwendigen Kalkmengen wird erreicht, wenn es gelingt, im sauren pH-Bereich bereits das Eisen auszufällen. Dazu ist eine Oxidation des zweiwertigen Eisens notwendig und eine Fällung des entstandenen dreiwertigen Eisens als Eisenhydroxysulfat (EHS) in einem pH-Gebiet von ca. 2,8 - 3,3.

Eisenhydroxysulfate sind Schwertmannite ($\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_x (\text{SO}_4)_y^{2-}$ mit $x = 3,5 - 6,0$ und $y = 1,0 - 1,75$) oder Jarosite ($\text{KFe}_3[(\text{OH})_6/(\text{SO}_4)_2]$) die sich sehr gut abtrennen lassen.

Orientierende Versuche zur Verwertung haben gezeigt, dass sie sowohl in der keramischen Industrie bei der Herstellung von Baustoffen als auch in der Lack- und Farbenindustrie als Anstrichstoff und Farbpigmente verwendet werden können.

Der für eine weitere Entwicklung notwendige Bedarf an Untersuchungen wird aufgezeigt.

Batterien im Restabfall – Lösungsansätze durch Sortierverfahren

Prof. Dr.-Ing. Thomas Pretz, Dipl.-Ing. Alexander Khoury

(Institut und Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe, RWTH Aachen)

Die immer wieder auftretende Diskussion um den Verbleib von Gerätebatterien veranlasste den Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe zu diesem Thema Untersuchungen durchzuführen. Im Jahre 2002 wurden in Deutschland insgesamt ca. 30.000 t Batterien in Verkehr gebracht und ca. 11.200 t über die Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien (GRS) gesammelt. Diese große Diskrepanz zwischen denen in Verkehr gebrachten Batterien und der gesammelten Menge lässt sich einerseits durch die Depotbildung und der je nach Verwendungszweck hohen Nutzungsdauer der Batterien erklären. Andererseits ist durch Untersuchungen festgestellt worden, dass Verbraucher ihre ausgedienten Batterien über die Restabfalltonne unsachgemäß entsorgen. Die GRS ist sich dieser Problematik bewusst und hat seit ihrer Gründung im Mai 1998 eine stetige Verbesserung der Rücknahmequoten verzeichnet. Eine ordnungsgemäße Sammlung von verbrauchten Gerätebatterien ist zwingend notwendig, da nur hierdurch ein qualitativ hochwertiges Recycling der in den Batterien verwendeten Stoffe ermöglicht und eine Schadstoffverschleppung unterbunden wird.

Am Institut und Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe wurden im Rahmen dieser Untersuchungen Lösungsansätze entwickelt. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass ein beträchtlicher Teil an Gerätebatterien in den Restabfall gelangt. Ein Indiz hierfür ist die Anzahl an Batterien in den untersuchten Restabfallproben und in Hausmüllverbrennungsschlacken (HMV Schlacken).

In mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) wird der Abfall dahingehend aufbereitet, dass einzelne Stoffströme wie Fe- und NE-Metalle sowie eine hochkalorische Fraktion abgetrennt werden. Der Rest wird nach Durchlauf eines biologischen Abbauprozesses deponiert. In dem vorliegenden Beitrag werden nur die Ergebnisse aus der MBA betrachtet.

Durch geeignete Auswahl von Klassier- und Sortieraggregaten ist es möglich, die im Restabfall befindlichen Gerätebatterien anzureichern.

Effektive Methode zur Messung der Korngröße und Kornform

Dr.-Ing. Ursula Stark, Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller
(Bauhaus-Universität Weimar, Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung)

Bekannt ist, dass Schüttgüter, die als Baustoffe beispielsweise als Zuschlag für Beton, als Tragschichtmaterial im Straßenbau oder als Füller eingesetzt werden sollen, bestimmte Anforderungen an die Korngrößenzusammensetzung und die Kornform erfüllen müssen. Weiterhin ist bekannt, dass unterschiedliche Zerkleinerungsmaschinen unterschiedliche Korngrößenverteilungen und Kornformen der Zerkleinerungsprodukte liefern.

Um den Zusammenhang zwischen den Erfordernissen aus der Anwendung und den Möglichkeiten aus der Herstellung aufeinander abzustimmen, ist es wichtig, die Korngrößen und ihre Verteilungen sowie die Kornformen zu messen und mit diskreten Zahlenwerten zu charakterisieren. Im Vortrag wird deshalb zunächst eingegangen auf

- grundlegende Definitionen von Korngröße und Kornform,
- bisher übliche und standardisierte Messmethoden von Korngröße und Kornform,
- neue und effektive Messmethoden insbesondere für grobdisperse Schüttgüter.

Anhand eigener Versuchsergebnisse werden anschließend die Möglichkeiten der neuen, fotooptischen Korngrößen- und Kornformmessmethoden an 3 Beispielen aus dem Recycling erläutert.

So können mit Hilfe dieser Analysenmethode Unterschiede in Korngröße und Kornform von Zerkleinerungsprodukten, die beispielsweise mit Backenbrecher und Prallbrecher erhalten wurden, sehr gut charakterisiert werden. Veränderungen der Kornform insbesondere der Oberflächenbeschaffenheit bei der Rundung von zerkleinertem Mauerwerkbruch zu Zierkies können quantitativ verfolgt werden. Am Beispiel von Porenbetonsplitt, der mit Ziegelmehl umhüllt wird, wurde deutlich gemacht, dass mit Hilfe der Formparameter Sphärizität und x -Ferret / max.Sehne die Oberflächenbeschaffenheit beschrieben werden kann.

Als besondere Vorteile der fotooptischen Messmethoden sind neben der kurzen Analysedauer, der hohen Auswertegeschwindigkeit und dem hohen Informationsgewinn über Korngrößen und Kornform gegenüber der klassischen Siebanalyse, die nach oben unbegrenzt messbare Probemenge, die mögliche Automatisierung und damit die Onlinefähigkeit dieser Messmethode hervorzuheben.

Technologische Untersuchungen zur Herstellung homogener Gasgenerator-Treibsätze für den Einsatz in Airbags

Dr.-Ing. Gert Göll und Dipl.-Ing. Helmut, Knöbel
(Sachsen Feuerwerk GmbH Freiberg)

In der Sachsen Feuerwerk GmbH, Freiberg, einem Unternehmen mit langjähriger Erfahrung in der Herstellung traditioneller Feuerwerkskörper, wurde im Jahre 2001 eine neue Produktionslinie zur Fertigung von Gasgeneratortreibsätzen für Airbags aufgenommen. Gasgeneratortreibsätze – eingesetzt als Granulatkörnung oder in Tablettenform – bringen im statu nascendi die benötigte Gasmenge und den notwendigen Druck, um den Airbag als wichtiges Sicherheitselement in kürzester Zeit (ms) wirksam werden zu lassen. Folglich sind Airbags ein wesentlicher Bestandteil des komplexen Sicherheitssystems der Automobilindustrie.

Die spezifischen Anforderungen an derartige Treibsatzkörper bezüglich Formbeständigkeit und Oberflächenbeschaffenheit, Tablettendichte und -festigkeit, Druckaufbau, Abbrandgeschwindigkeit und Zuverlässigkeit im Moment des Wirksamwerdens des Airbags erfordern neben einer eingehenden Rohstoffbewertung der einzelnen Satzkomponenten genau definierte Prozessbedingungen in der Technologie. Jede Eigenschaftswertänderung in den Satzkomponenten lässt veränderte Eigenschaftswerte der Zielprodukte – Tabletten und Granulat – erwarten und ist folglich durch zielgerichtete Einflussnahme in der Technologie zu minimieren. Dies gilt vor allem für die qualitätsbestimmenden Prozessstufen der Verarbeitungstechnologie Feinmahlung, Mischen, Tablettieren und Granulieren. Über ausgewählte experimentelle Untersuchungen zu diesen Prozessen – Drehzahl und Stoffabhängigkeit der Mahlung, Mischgüte und -kinetik, Tablettierbedingungen und -ergebnisse - wird berichtet. Ziel ist dabei die Herstellung von Treibsatzkörpern hinreichend konstanter Eigenschaftsfunktionen für einen sicherer und zuverlässiger Einsatz auch unter extremen, z.B. klimatischen, Bedingungen.

Experimentelle Ermittlung des Kraft-Verformungsverhaltens nicht-spröder Stoffe bei Verformungsgeschwindigkeiten bis 50 m/s

Dipl.-Ing. R. Olwig, Dipl.-Ing. M. Juhnke, Prof. Dr.-Ing. R. Weichert
(Institut für Mechanische Verfahrenstechnik, TU Clausthal)

In Crash-Tests von Autos und in Shreddern zur Zerkleinerung für die Wiederaufbereitung werden Werkstoffe hohen Belastungsgeschwindigkeiten unterworfen. Während umfangreiche Kenntnisse über mechanisches Werkstoffverhalten bei langsamer Belastung vorhanden sind, liegen für Belastungsgeschwindigkeiten oberhalb 5 m/s nur wenig Daten vor. Solche Daten sind hingegen notwendig, wenn Bauteile für hohe Belastungsgeschwindigkeiten mit Hilfe geeigneter FEM-Rechenprogramme ausgelegt werden sollen. Diese Programme simulieren das Materialverhalten mit Modellen, deren Parameter experimentell bestimmt werden müssen.

Zur Ermittlung von mechanischen Materialparametern wurde eine Testmaschine entwickelt, in der Zug- und Scherversuche bei Belastungsgeschwindigkeiten bis zu 50 m/s durchgeführt werden können. Die unten gezeigten Versuchsproben befinden sich in einer Matrize, die mit der Belastungsgeschwindigkeit gegen einen Stempel bewegt wird. Der Stempel ist das untere Ende eines langen, vertikal aufgehängten Stabes. Die auf den Stempel wirkende Kraft erzeugt eine durch den Stab laufende Druckwelle, deren Amplitude der Kraft proportional ist (Hopkinson-Bar-Prinzip). Die zeitabhängige lokale Stauchung des Stabes wird von Halbleiter-Dehnungsmessstreifen registriert. Da gleichzeitig die Geschwindigkeit der Matrize gemessen wird, kann aus dem registrierten Signal die Kraft-Verformungskurve des Materials bei Zug- oder Scherversuchen ermittelt werden. Die zeitliche Auflösung beträgt dabei 1 μ s. Die Beschleunigung der Matrize auf Belastungsgeschwindigkeit erfolgt durch den Aufprall eines massiven Kunststoffzylinders. Dieser besitzt die gleiche Masse wie die Matrize und wurde pneumatisch beschleunigt. Zur Abbremsung der Matrize nach der Belastung wird deren Impuls zunächst auf einen zweiten massiven Kunststoffzylinder übertragen, der anschließend hydraulisch kontrolliert zum Stillstand gebracht wird.

Neben der Vorstellung der Testmaschine werden erste Versuchsergebnisse am Werkstoff Polypropylen diskutiert.

Der Einsatz von DEM-Simulationen zur Beschreibung der Aufschlußzerkleinerung

Dr.-Ing. Wolfgang Schubert, Dipl.-Ing. Manoj Khanal und Prof. Dr.-Ing. Jürgen Tomas
(Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik)

Die Recyclingwirtschaft stellt qualitativ neue Anforderungen an die Aufschlußzerkleinerung. Für die Wiedergewinnung von Zuschlagstoff aus Bauschutt ist es beispielsweise unwirtschaftlich, wenn die Zerkleinerung unselektiv erfolgt. Ziel muss eine energieschonende selektive mechanische Zerkleinerung sein, bei der nur die Bindung zwischen Zuschlagstoff und Zementstein aufgebrochen wird. Auch in der Erzaufbereitung können wertvolle Komponenten in einem Erz durch selektive Zerkleinerung vorangereichert werden. Eine Zerkleinerungssimulation z. B. einer Betonkugel unter variablen Beanspruchungsbedingungen mit dem Ziel des bestmöglichen Aufschlusses ist deshalb von besonderem Interesse.

Als Methode kommt die Diskrete-Elemente-Methode (DEM) zum Einsatz. Das Prinzip besteht in der Lösung der Newtonschen Bewegungsgleichungen für jedes einzelne Partikel eines Partikelverbundstoffes, wie es der Beton darstellt. Die erforderlichen Kräfte und Momente ergeben sich aus den Partikelkontakten (z. B. elastische Kräfte) und aus Potentialfeldern (z. B. Gravitationskräfte). Ein Vorteil dieser Methode ist, dass durch die Verwendung ein und desselben Modells die Anfangsbedingungen in jeder Simulation gleich bleiben, was bei einem realen Experiment bekanntlich sehr schwierig ist.

Folgende Ergebnisse werden diskutiert:

- DEM-Modellierung einer 150 mm-Betonkugel aus 2403 Einzelpartikeln,
- Beschreibung des Kontaktverhaltens zwischen Zuschlagstoff und Zementstein sowie der Ausbreitung dynamischer Spannungsfelder durch lineare Kontaktgesetze,
- Erstellung einer Kalibriervorschrift für den modellierten Betonkörper, welche eine weitestgehende Annäherung der Modelleigenschaften an die Realität garantiert. Dazu wurden parallel umfangreiche Experimente an der Prallkanone mit realen 150 mm-Betonkugeln durchgeführt,
- Anwendung des modellierten Betonkörpers in Zerkleinerungssimulationen im Geschwindigkeitsbereich von 30 bis 60 m/s mit den Auftreffhindernissen glatte Wand, 90°-Spitze, Doppelspitze, schiefe Ebene und halbe Wand,
- Übertragung der Simulationsergebnisse auf die makroskopischen verfahrenstechnischen Zielgrößen Partikelgrößenverteilung und Partikelauftschlussgrad durch eine neuartige Scannmethode,
- Erzielung der höchsten Selektivität durch die simulierte Prallgeometrie "halbe Wand".

Moderne Mahltrocknungstechnologien

Dr.-Ing. Jens Hanisch

(FAM Magdeburger Förderanlagen und Baumaschinen GmbH)

Immer häufiger stellt sich die Aufgabe mineralische Rohstoffe vor allem der Baustoff- und keramischen Industrie trocken auf Feinheiten z.B. $<90\ \mu\text{m}$ zu zerkleinern.

Die Technologie der Trocknung z.B. in einer Trockentrommel vor der Zerkleinerung wurde in den letzten Jahren immer mehr von der Mahl-Trocknung in einer Zerkleinerungsmaschine, wie z.B. in einer Hammermühle, verdrängt. Je nachdem wie die Klassierung des Zerkleinerungsproduktes erfolgt, unterscheidet man in Mahlanlagen mit äußerem und innerem Materialkreislauf.

FAM-Mahltrocknungsanlagen mit innerem Materialkreislauf stellen einen weiteren Schritt zur Prozessintegration dar, da neben dem Zerkleinerungs- und Trocknungsprozess die Stromklassierung (Windsichtung) ein trockenes Endprodukt mit definierter oberer Korngröße, z.B. 15 % $<90\ \mu\text{m}$, gewährleistet. Für eine Aufgabekorngröße von 40... 60 mm kann je nach erforderlicher oberer Korngröße des Endproduktes ein Anlagendurchsatz zwischen 4 t/h und 60 t/h Fertigprodukt (bestimmt durch die Größe der Spezialhammermühle) realisiert werden.

Die Arbeitsweise der FAM-Mahltrocknungsanlage ist im Bild dargestellt. Die Beschickungseinrichtung (eine Dosierbandwaage) (2) regelt in Abhängigkeit vom Motorstrom der Spezialhammermühle (4) die Aufgabemenge aus dem Aufgabebunker (1), die über die Zellenradschleuse (3) dem Zwischenstück vor der Spezialhammermühle zugeführt wird. Die Zellenradschleuse dient der gleichmäßigen Beschickung und der lufttechnischen Abdichtung des Mahlsystems.

Ein Vorteil der FAM-Mahltrocknungsanlagen stellt die konstruktive Gestaltung des Mühlenzwischenstückes und der Spezialhammermühle dar. Dabei wird ein Teilstrom des Fertigproduktes vom Mühlenaufgabematerial unter Umgehung der Mühle mit einem Luftstrom direkt über das Steigrohr dem Sichter (6) zugeführt. Das Mühlenaufgabegut wird im Mühlenzwischenstück vom turbulenten Heißgasstrom, erzeugt im Heißgasgenerator (5), erfasst und in der Spezialhammermühle zwischen Hämmern aus Spezialstahlguss und den Mahlplatten zerkleinert und getrocknet.

Die Feinheit des Zerkleinerungsproduktes, im wesentlichen bestimmt durch die Rotorumfangsgeschwindigkeit, kann mittels Frequenzumrichter in einem weiten Bereich (z.B. zwischen 40 und 70 m/s) variiert werden.

Die Spezialhammermühlen zeichnen sich durch hohe Wartungsfreundlichkeit aus. Die Gehäuserückwand kann aufgeklappt werden, wodurch die Mahlplatten und die Hammerköpfe (zweigeteilte Hämmer) leicht ausgewechselt werden können.

Eine weitere Möglichkeit die Fertigproduktkorngröße zu beeinflussen, ist der Sichtluftstrom, der das Fertigprodukt aus der Spezialhammermühle zum Sichter transportiert. Eine Regelung der Luftmenge und damit der Strömungsgeschwindigkeit erfolgt mittels Drosselklappen.

Der Sichter ist konstruktiv so gestaltet, dass durch eine Querschnittserweiterung zwischen Sichterinnen- und Sichteräußenkegel die Strömungsgeschwindigkeit verringert wird und die Grieße (größerer Anteil des Zerkleinerungsproduktes) in die Spezialhammermühle zurückfallen.

Die eigentliche Trennung im Sieb findet am Stabkorb statt. Durch die Frequenzregelung lässt sich die Umfangsgeschwindigkeit des Stabkorbes und damit die „Durchlassfähigkeit“ des Fertigproduktes zwischen den Stäben und damit letztendlich die Trennkorngröße in weiten Bereichen einstellen. Weitere Möglichkeiten durch strömungstechnische Maßnahmen die Feinheit zu beeinflussen sind der verstellbare Leitschaufelkranz und das ebenfalls verstellbare Tauchrohr. Das Fertigprodukt wird in der Entstaubungsanlage, bestehend aus Filter, Ventilator und Trogschneckenförderer, abgeschieden.

In FAM-Mahlrocknungsanlagen mit äußerem Materialkreislauf arbeiten Prallhammermühlen mit Mahlbahn oder mit Rostaustrag im Kreislauf mit Siebmaschinen. Bei der Zerkleinerung eines z.B. mittelharten Kalkstein von 60 mm auf $< 2\text{mm}$ im Kreislauf lassen sich Durchsätze bis 120 t/h realisieren.

Neben der Kalksteinmehlherstellung für Rauchgasentschwefelungsanlagen sind weitere Einsatzgebiete für die FAM-Mahlrocknungsanlagen die Tonaufbereitung für grob- und feinkeramische Produkte, die Herstellung von Düngemitteln der Körnung 0 – 1 mm sowie die Mahlrocknung von Natur- und REA - Gips (Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen) vor der Kalzinierung.

So kann Naturgips der Ausgangskorngröße von 0 – 40 mm bei einem Durchsatz von 48 t/h auf eine Endproduktfeinheit von $100\% < 1,25\text{ mm}$ bei einem $d_{50} = 30\text{ }\mu\text{m}$ und einem $d_{97} = 200\text{ }\mu\text{m}$ gemahlen werden (Bild 6). Die Feuchte lässt sich von 3 – 5 % auf 1,5 % Restkristallwasser im Halbhydrat reduzieren.

Herstellung feinsten Körnungen mit einem Kreislauf Kugelmühle – Feinstkornsichter

**Dipl.-Ing. (FH) Gunter Schnedelbach, Dipl.-Ing. Mathias Polster und
Dr.-Ing. Wolfgang Scheibe**
(UVR-FIA GmbH Freiberg)

Für die trockene Feinstmahlung sind heute je nach Materialeigenschaften vorwiegend Schwingmühlen, Strahlmühlen oder diverse Feinprallmühlen mit rotierenden Mahlelementen, zum Teil auch spezielle Wälzmühlen oder Rührwerkskugelmühlen im Einsatz. Je nach Anforderung an das Mahlprodukt werden sie im Durchlauf betrieben oder arbeiten mit einem Feinstkornsichter im geschlossenen Kreislauf (wobei der Sichter auch in das Mühlengehäuse integriert sein kann).

Derartige Mühlen erreichen im Normalfall nur kleinere bis mittlere Durchsätze. Der spezifische Elektroenergiebedarf und die Betriebskosten sind dementsprechend hoch.

Günstigere Ergebnisse sind zu erwarten, wenn es gelingt, Rohrkugelmühlen im Kreislauf mit speziellen Feinstkornsichtern für trockene Feinstmahlung einzusetzen. Umfangreiche Untersuchungen im Technikum der UVR-FIA GmbH aber auch an anderen Stellen haben in den letzten Jahren gezeigt, dass die Herstellung feinsten Körnungen unter bestimmten Bedingungen recht effektiv möglich sein kann, wobei auch großtechnisch Produktfeinheiten bis zu d_{50} -Werten um $1\ \mu\text{m}$ möglich sind.

Im Beitrag wird über entsprechende Versuche mit einer Mühle mit $0,71\ \text{m}\ \varnothing$ und $2,0\ \text{m}$ Mahlbahnlänge berichtet. Die Mühle wird für die Mahlung verschiedener Füllstoffe mit einem Turboplex-Feinstkornsichter 200 ATP der HOSOKAWA Alpine AG, Augsburg im Kreislauf betrieben.

Voraussetzung für das Erreichen feiner Mahlprodukte war ein entsprechend vorzerkleinertes Aufgabegut, eine richtige Panzerungsgestaltung der Mühle sowie der Einsatz feiner Mahlkörper. Die Zugabe von Mahlhilfsmitteln war hierfür in allen Fällen zweckmäßig, wobei die Mahlhilfsmittelwirkung mit einer Coatierung des Mahlgutes in der Mühle verbunden werden kann.

Der für die Kreislaufmahlung erforderliche spezifische Elektroenergiebedarf lag dabei in einer akzeptablen Größenordnung.

Erfahrungen bei der Inbetriebnahme einer Flotationsanlage zur Entglimmerung von Brechsands beim Bau des Gotthard-Basistunnels

Dr. rer. nat. Christoph Cichos und Dipl.-Ing. Horst Plate (UVR-FIA GmbH Freiberg)
Dipl.-Ing. M. Klitta, Dipl.-Ing. U. Schnitzler (Thyssen Krupp GfT Gerlingen)
Dr. P. Guntli (Zentrum AlpTransit Sedrun, Schweiz)
Dr. sc. nat. C. Thalmann (B.I.G. Wabern, Schweiz)

Der Bau des Gotthard-Basistunnels stellt gegenwärtig das größte Tunnelbauvorhaben der Welt dar. Es entstehen zwei parallele Einspurröhren von je 57 km Länge, die alle 300 m über Querschläge verbunden sind, dazu weitere umfassende unterirdische Räume für Hilfs- und Sicherheitseinrichtungen beim Bau und Betrieb des Tunnels.

Beim Bau fallen entsprechend extreme Mengen an Ausbruchmaterialien an, und es sind beträchtliche Mengen an hochwertigen Betonzuschlagstoffen erforderlich. Die anfallende Ausbruchmenge wird mit 25 Millionen Tonnen angenommen, einem 5-fachen Volumen der Cheops-Pyramide. Ein wesentliches Hauptziel einer nachhaltigen Materialbewirtschaftung ist deshalb die umfassende Wiederverwertung des anfallenden Ausbruchmaterials. Im Rahmen umfassender Forschungsarbeiten wurde untersucht, inwieweit das Ausbruchmaterial zu hochwertigen Betonzuschlagstoffen aufbereitet werden kann.

Ein besonderes Problem sind dabei die freien Schichtsilikate (Glimmer) im Brechsand aus kristallinen Gesteinen (Granite, Gneise). Wegen ihres negativen Einflusses auf Festigkeit, Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit des Betons darf der Gehalt an freien Schichtsilikaten im Brechsand 0/1 mm 35 Stück-% nicht überschreiten. Der Sedruner Rohsand enthält z. B. 40-50 Stück-% Glimmer. Eine wirksame Glimmerabtrennung durch Schlämm- und Klassierprozesse wurde nicht erreicht, zumal das Trennverfahren nicht zu einer wesentlichen Verringerung der Mehlkornfraktion ($< 0,125$ mm) im Sand führen darf.

Durch die UVR-FIA GmbH wurde ein Verfahren zur Glimmerabtrennung mittels Flotation erarbeitet und zunächst im Labor und halbtechnischen Maßstab erfolgreich erprobt. In Gemeinschaft der Firmen „Thyssen Krupp GfT“, „AGGREGAT AG“, „UVR-FIA“ erfolgten Planung und Bau der Anlage für das Kieswerk Sedrun. Das Einfahren der Anlage wurde in direkter Zusammenarbeit mit dem Betreiber der Anlage „Kieswerk Untervatz AG“ durchgeführt.

Folgende Forderungen waren an die zu errichtende Anlage gestellt und konnten im Rahmen des bisherigen Anlagenbetriebes auch erreicht bzw. überboten werden:

- Abtrennung von mindestens 50 Stück-% der Schichtsilikate,

- Verarbeitung von 25 bis max. 30 t/h Sand 0/1mm,
- Zuordnung der Anlage als Bypass zum Kieswerk,
- Zu- und Abschaltung der Anlage unabhängig vom Kieswerk und unter Vollast,
- keine Belastung des Abwasser und der Deponien durch eingesetzte Chemikalien.

Die zu verarbeitende Sandfraktion gelangt vom Hydrozyklon des Kieswerkes in das Trübevorlagegefäß der Flotation. In diesem wird durch eine gesteuerte Wasserzufuhr die für die Flotation gewünschte Trübedichte eingestellt. Der der Flotationsmaschine zufließende Trübestrom wird mittels Quetschventil geregelt und der Durchfluss gemessen. Proportional zum Volumenstrom erfolgt die Sammlerdosierung in den Einlauf der ersten Flotationszelle.

Zum Einsatz kommt ein Flotationstrog mit 3 Rührer-Statoreinheiten (Dorr-Oliver). Das Sandprodukt wird mittels Flachbodenzyklon eingedickt und dem Entwässerungssieb der Kiesanlage zugeführt. Der Schaum gelangt in eine spezielle Schaumzerstörungspumpe und wird dann ebenfalls mit einem Entwässerungssieb entwässert. Im Siebdurchlauf vorhandene Feststoffanteile werden mittels Hydrozyklon abgetrennt.

Die Überläufe der Hydrozyklone werden gesammelt und als Verdünnungswasser in den Vorlagebehälter zurückgeführt. Damit entsteht ein geschlossener Wasserkreislauf für die Flotation. Durch diese Fahrweise wird kaum Frischwasser benötigt. Es ist ein minimaler Sammlerverbrauch erforderlich und die Umweltbelastung ist äußerst gering.

Im Frühjahr 2003 wurde die Anlage erfolgreich in Betrieb genommen. Betontechnische Untersuchungen mit dem flotierten Sand der Anlage bestätigten dessen Eignung als hochwertiger Betonzuschlagstoff. Dank der Glimmerflotationsanlage kann eine 20 bis 30 % höhere Verwertbarkeit des Ausbruchmaterials erreicht werden. Die Materialbilanz wird um mindest 300.000 Tonnen verbessert werden.

Je nach geologischen/mineralogischen Gegebenheiten ist auch für die Kieswerke der anderen Zugriffstellen des Gotthard-Basistunnels der Einsatz des Verfahrens in Erwägung zu ziehen. Auch für andere Großbaustellen ähnlicher Problematik kann das Verfahren zur Bereitstellung hochwertiger Bausande und einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Ausbruchmaterialien beitragen.

Modellierung der Mahlattrition - ein neues Verfahren zur Aufbereitung von kontaminierten Sanden

**Dipl.-Ing. Friedrich Schaaff, Dr. rer. nat. Johann Dück und
Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Neeße**

(Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Recycling, Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg)

Die Mahlattrition ist ein neu entwickelter Reinigungsprozess für die Aufbereitung der Feinfraktionen kontaminierter Böden und mineralischer Abfälle, bei denen die Kontaminationen an der Partikeloberfläche anhaften. Das sandige Aufgabegut wird vor der Mahlattrition bei ca. 20 µm klassiert. Anschließend wird die äußere Schicht der Partikel in einem langsam drehenden Attritor mit Hilfe von Mahlkugeln abgerieben und sammelt sich in einer hochkontaminierten Feinstfraktion <10 µm, die anschließend in Hydrozyklonen abgetrennt wird. Für die Mahlattrition, die einen Spezialfall der Zerkleinerungstechnik darstellt, werden herkömmliche Rührwerkskugelmöhlen eingesetzt. Dabei müssen besondere Prozessbedingungen eingestellt werden, um Partikelbrüche zu vermeiden. Typische Prozessbedingungen sind: Verhältnis von Mahlkörpergröße zu maximaler Partikelgröße 1,5 – 2,0; Feststoffkonzentration der Aufgabesuspension 0,5 – 0,56 Vol.-%; spezifischer Energieeintrag 20–30 KWh/t. Zur Mahlattrition liegen inzwischen Erfahrungen vom Laborbetrieb bis zum großtechnischen Einsatz vor.

Der vorliegende Beitrag befasst sich auch mit der physikalischen Modellierung der Mahlattrition. Für dieses Verfahren wurde ein Modell entwickelt, das die Kinetik der Mahlattrition ausgehend von dem Mikroprozess, der den Attritionsvorgang an einem einzelnen Partikel beschreibt, darstellt. In einem nächsten Schritt wurde das Modell auf den Makroprozess, der die Attrition im gesamten Prozessraum schildert, erweitert und anhand von Versuchsergebnissen validiert. Das Ergebnis der Modellierung ist ein physikalisch begründetes Attritionsmodell, das von einer statistischen Verteilung der Beanspruchungsintensität im Prozessraum ausgeht. Mit ihm gelingt es, die Feinkornproduktion während der Mahlattrition mit einer dreiparametrischen dimensionslosen nichtlinearen Gleichung darzustellen, wobei die verschiedenen Parameter aus experimentellen Daten gewonnen werden müssen. Das aufgezeigte Makromodell der Mahlattrition kann gegebenenfalls den experimentellen Aufwand bei der Optimierung von Mahlbedingungen verringern. Dazu ist es erforderlich, dass die Parameter der Kinetikgleichung in einem oder in wenigen Versuchen ermittelt werden. Vergleiche mit experimentellen Daten zeigen, dass mit dem entwickelten kinetischen Modell die produzierten Feinkornanteile unter bestimmten Prozessbedingungen gut vorhergesagt werden können.

Zur Rolle und Optimierung der Siebbodenbewegung auf Wurfsiebmaschinen

Dr.- Ing. Achim Meinel

(Büro für Verfahrenstechnik Tannenbergesthal)

Wurfsiebmaschinen zählen zu den meistverwendeten und vielseitigsten Sieben der Mechanischen Verfahrenstechnik. Die ständigen Bemühungen der speziellen Maschinen- und Gerätehersteller um Produktdetailverbesserungen sind unverkennbar. Für einen erfolgreichen Siebprozess ist jedoch gleichzeitig die Optimierung der wichtigsten Verfahrenseinflussgrößen von aktueller Bedeutung. Hierzu zählen vorrangig die Siebbodenbewegungsparameter, wie z.B. Amplitude und Frequenz. Sie tragen wesentliche Verantwortung für die Siebgutauflockerung, Unterkornbewegung zur und durch die semipermeable Trennfläche sowie – bei siebkritischen Materialien - auch für die Gut-Desagglomeration und vor allem für das Freihalten der Sieböffnungen von Verstopfungen u.ä. Kennzeichnende dimensionslose Größen für die Siebbodenbewegung bzw. –schwingungen sind die Maschinenkennzahl K und die Sieb- bzw. Wurfkennzahl K_v . Diesbezüglich existieren in der Fachwelt noch immer verschiedene Unklarheiten und Schwachstellen hinsichtlich ihrer Ermittlung sowie bei der Verfahrensoptimierung mit Hilfe der Siebkennzahl. Im Folgenden werden diese Probleme an konkreten Beispielen aus dem Labor- und dem Industriesiebbereich kritisch analysiert und daraus Lösungsvorschläge unterbreitet. Anschließend werden für nicht kohäsive, kubische Siebgutpartikel (z.B. Quarzsand) die Siebgutsegregation, -transportgeschwindigkeit und der Sieberfolg in Abhängigkeit von der Siebkennzahl (- für den Fall eines Ultraschallsiebes die Transportgeschwindigkeit als Funktion der Siebflächenneigung -) z.T. über Modelle vorausberechnet, in jedem Falle aber durch Experimente gestützt, in Diagrammen dargestellt und bewertet.

Für die Klassierung langförmiger Siebgüter (z.B. Holz u.ä.) wird die experimentell ermittelte Geschwindigkeitskonstante k_i in Abhängigkeit der Siebkennzahl im Diagramm gezeigt und analysiert. Ein Modellansatz zur Bestimmung und Optimierung der Durchgangswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Maschinenkennzahl wird vorgestellt.

Der Einfluss der Siebbodenbewegung bzw. –schwingung auf die Siebbodenreinigung – vor allem bei siebschwierigen Materialien – wird an Hand praktischer Beispiele dargestellt und erläutert.

Zum Verlauf der Trennkurve des Hydrozyklons im Feinstkornbereich

Dr. rer. nat. Johann Dueck und Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Neeße

(Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Recycling, Universität Erlangen-Nürnberg)

In polydispersen Teilchenschwärmen beobachtet man in vielen Fällen eine Sedimentationsbeschleunigung feiner Teilchen, die durch einen Mitreißeffekt grober Teilchen erklärt werden kann.

Das hier vorgestellte Zellenmodell ermöglicht die überschlägige Vorausberechnung dieses Mitreißeffektes sowohl für bidisperse, als auch für polydisperse Suspensionen. Das Modell wurde mit Hilfe von Sedimentationsversuchen in einer speziellen Zentrifuge überprüft.

In dem Beitrag werden auch Kräftebilanzen vorgenommen, die zeigen, dass Basset-Kraft und dynamischer Antrieb der Feinteilchen keinen relevanten Beitrag zum Mitreißeffekt der feinen Teilchen liefern. Der Mitreißeffekt der feinen Teilchen durch grobe Teilchen kann befriedigend durch das sog. Zellenmodell erklärt werden. Es zeigt sich, dass Feinteilchen in unmittelbarer Nähe der Grobteilchen dazu neigen, mit den groben Partikeln mitzufließen und damit ihre Verweilzeit in der „Zelle“ um das Grobteilchen vergrößern.

Wenn die gefundenen Sedimentationsgesetze in die Modellgleichung für die Hydrozyklontrennung eingeführt werden, ergibt sich ein nicht-monotoner Verlauf der Trennfunktion des Hydrozyklons. Dieser Verlauf der Trennfunktion ist in der Hydrozyklon-Praxis als sogenannter Fish-Hook-Effekt bekannt.

Die Berechnungen zeigen, dass der Fish-Hook umso ausgeprägter ist, je höher die Feststoffkonzentration der Suspension im Hydrozyklon ist und je gröber der suspendierte Feststoff ist. Diese Ergebnisse wurden durch die berechneten Werte für einen 40 mm-Hydrozyklon mit gemessenen Werten verglichen.

Sortierung von Aluminiumschrotten mittels automatischer Klaubung

Dipl.-Ing. Stefan Mutz, Jörg Julius, Prof. Dr.-Ing. Thomas Pretz
(Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe, RWTH Aachen)

Hartmut Harbeck
(CommoDaS, Wedel)

Frank Hilbk-Kortenbruck, Joachim Makowe
(Fraunhofer-Institut für Laser Technologie ILT, Aachen)

Im Jahr 2000 wurden weltweit 22 Millionen Tonnen Primäraluminium produziert. Somit ist Aluminium neben Stahl Spitzenreiter auf dem Metallmarkt. Nach Expertenmeinungen wird die Produktion weiterhin zunehmen.

Im Gegensatz zu anderen Metallen wie z.B. Eisen oder Kupfer ist das Recycling von Aluminium aufgrund seines unedlen Charakters schwieriger. Es existieren mit dem Guss- und Knetaluminium zwei Hauptgruppen im Bereich der Legierungen. Zum Wiedererlangen der Ausgangsqualität von Primäraluminium ist die genaue Kenntnis der Materialien, die in den Schmelzprozess eingehen von großer Bedeutung, da das Entfernen von Fremdstoffen aus der Schmelze sehr schwierig wenn nicht gar unmöglich ist. Vor diesem Hintergrund können Aluminiumaltschrotte – wenn sie nicht in so genannten in-house Sammelsystemen zusammengetragen wurden – nur zu Gussaluminium verarbeitet werden. Diese Tatsache stellt ein Downcycling der Knetlegierungen (extrusions und rolled) dar.

Die Produktion von Aluminium aus Altschrotten nimmt trotz dieser Problematik weiterhin zu (in Deutschland ca. 35%). Ähnliche Tendenzen sind in Nordamerika und anderen Industriestaaten zu beobachten, denn bei der Produktion von Aluminium aus Altschrotten werden bis zu 95 % der einzusetzenden Energie gegenüber der Herstellung aus Bauxit eingespart.

Zur Verbesserung der Sekundäraluminiumproduktion ist eine neue Sortiertechnologie nötig, die das Erkennen der einzelnen Legierungen vor dem Schmelzprozess ermöglicht, denn in naher Zukunft wird die Gussherstellung die aufkommenden Schrottmengen nicht mehr auffangen können.

Der vorliegende Beitrag stellt die Sortiertechnologie der automatischen Klaubung vor. Im Verlauf der letzten Jahre wurden auf dem Gebiet der automatischen Klaubung maßgebliche Fortschritte für die Sortierung von primären und sekundären Materialien realisiert. Im Speziellen wird auf die Möglichkeit eingegangen, Aluminiumlegierungen sortenrein voneinander zu trennen

Neben den üblichen Sensoren wie z.B. der Optik ist für das Sortieren von Aluminiumlegierungen ein weiterer Sensor notwendig. Sortenreines Trennen von Legierungen kann nur durch das Bestimmen der Elemente jedes einzelnen Stückes, das die Sensorik passiert, realisiert werden. Diese Technologie ist auf einem Lasersystem und einer Spektroskopieeinheit aufgebaut (LIBS - laser-induced breakdown spectrometry). Die Anfänge der Entwicklung solcher Systeme liegen bereits einige Jahre zurück. Aber erst die Anwendung heutiger Technologie in diesem Bereich macht eine Umsetzung für die Einzelkornsortierung möglich.

SILAS – Schnelle Identifikation von Leichtmetall-Legierungen für die automatische Sortierung – ist ein durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit finanziertes Verbundprojekt, mit dem ein solches auf LIBS aufbauendes Verfahren zur automatischen Sortierung von Aluminiumgemischen nach Legierungsklassen entwickelt wird. Neben dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik und der RWTH Aachen sind fünf mittelständische Unternehmen beteiligt. Inhalte und erste Ergebnisse dieses Vorhabens werden dargestellt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass neue Sortiertechnologien für das Recycling zur Verfügung stehen. Für spezielle Anwendungen, die sich aus der aktuellen Gesetzgebung und dem Fortschritt der Materialzusammensetzung bei der Produktion von Gütern ergeben, ist eine konsequente Optimierung und Weiterentwicklung von Sortiertechnologie notwendig. Beispielhaft wird dies anhand der neuen Trenntechnologie für Aluminium-Legierungen demonstriert, wo mittels optischer und LIBS-Sensorik ein Multisensor-System realisiert wird.

Allerdings können selbst solche komplexen und aufwendigen Technologien nicht alle bestehenden Problematiken in der Aufbereitungstechnik und der Abfallwirtschaft lösen.

Gewinnung von hochwertigem Ziegelsplitt aus Bauschutt

Dr.-Ing. Wolfgang Scheibe, Dipl.-Ing. Karen Grandissa
(UVR-FIA GmbH Freiberg)

Zurückgebautes Mauerwerk enthält neben Ziegeln etwa 25 % Putz- und Mörtelstoffe sowie andere Bestandteile wie Zement- und Gipsbaustoffe, Fliesen u.a.

Mit den derzeit in den Recyclingunternehmen praktizierten Verfahren können diese Komponenten nicht von den Ziegeln getrennt werden. Als Folge davon wird Ziegelschutt zum großen Teil auf Deponien abgelagert oder für untergeordnete Zwecke im Bauwesen mit geringem Erlös verwertet. Eine völlig andere Absatz- und Erlössituation ergibt sich jedoch für sortenreinen Ziegelsplitt.

Die Aufgabe der Projektbearbeitung bestand darin, ein

einfaches, trocken arbeitendes Aufbereitungsverfahren

zu entwickeln, mit dem Ziegelschutt aufgeschlossen und in sortenreine Ziegel auf der einen Seite und andere Komponenten auf der anderen Seite getrennt werden kann und das sich problemlos in die laufende Verfahrenstechnik der Recyclingunternehmen integrieren lässt.

Der Projektbearbeitung lag der Gedanke zu Grunde, dass Ziegelschutt

- in einer rotierenden Trommel
- durch Reib- und Sturzbeanspruchung

so weit aufgeschlossen werden kann, dass nach anschließender Klassierung ein höherwertiges Ziegelmaterial gewinnbar ist, aus dem durch Zerkleinern und Klassieren Ziegelsplittprodukte erzeugt werden können.

Ergebnisse:

- Das Aufbereitungsverhalten ist in Abhängigkeit von der Mörtelart (Kalk oder Zement) grundsätzlich unterschiedlich.
- Ziegelschutt mit Kalkmörtel ist leicht aufschließbar und ist bereits durch die Beanspruchung beim Abriss und bei Umschlagprozessen weitgehend in Einzelziegel zerfallen. Für das Reinigen der Ziegel von anhaftendem Mörtel ist eine Reibbeanspruchung durch Umwälzen ausreichend.
- Zementmörtel erzeugt wesentlich festere Verbindungen. Für ihren Aufschluss ist unbedingt eine Sturzbeanspruchung bei Fallhöhen >2 m bis 3 m erforderlich, was den Einsatz von Hubleisten erforderlich macht. Dadurch ergibt sich eine sehr intensive Zerkleinerungswirkung, die auch zu einer erheblichen Zerkleinerung der Ziegel führt. Teilweise erweist sich der Zementmörtel härter als der Ziegel, woraus sich eine Umkehr der beabsichtigten selektiven Zerkleinerung ergibt. Bei zementgebundenem Ziegelabbruch sind weder ein ausreichender Aufschluss noch ein genügend niedriger Restmörtelgehalt im Ziegelprodukt erreichbar.
- Durch den Betrieb einer kontinuierlich arbeitenden Versuchsanlage mit einer kombinierten Sturzsiebtrommel konnte der Nachweis für die Durchführbarkeit des Verfahrens für kalkgebundenen Ziegelabbruch geführt werden. Es wurde eine Reinheit der Ziegel von 94 % erreicht.

Das Reinigungsverfahren enthält als wichtige Arbeitsschritte:

- Vorklassierung zur Abscheidung von Fremdmaterial >300 mm
- Aufschluss und Trennung in einer kombinierten Sturzsiebtrommel
- Zerkleinern des gereinigten Ziegelproduktes in einem Backenbrecher
- Klassieren in verschiedene Splittfraktionen.

Die Arbeit stellt Ergebnisse dar, die aus der Bearbeitung eines Projektes gewonnen wurden, das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert wurde (Az: 17418).

Aktive Pigmente aus Silizium-Sekundärprodukten für Korrosionsschutzbeschichtungen

Dr. rer. nat. Christoph Cichos, Dr.-Ing. Albrecht Tolke
(UVR-FIA GmbH, Freiberg)

Christian Weiske
(Höpner Lacke GmbH, Niesky);

Dr. rer. nat. Wolf-Dieter Kaiser, Dr.-Ing. Jörg Gehrke
(Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH)

Ausgangspunkt des Forschungsvorhabens war die Überlegung, dass bei der Korrosion beschichteten Stahls am Defekt der Beschichtung anodische Eisenauflösung stattfindet, während an der Kathode Sauerstoff unter Bildung von OH-Ionen reduziert wird. Metallisches Silizium reagiert mit OH-Ionen unter Bildung von Silikaten. Auf diese Weise sollte Silizium als Pigment in Grundbeschichtungen aktiv in den Korrosionsschutzmechanismus eingreifen. Bisher wurde Silizium noch nicht als Korrosionsschutzpigment verwendet.

Das Forschungsvorhaben wurde als Verbundprojekt zwischen den drei Partnern UVR-FIA GmbH Freiberg, Höpner Lacke GmbH Niesky und IKS Dresden GmbH durchgeführt.

Schwerpunkte der Arbeiten von UVR-FIA waren Untersuchungen zur Herstellung von Siliziumpigmenten aus verschiedenen Silizium-Produkten und -Sekundärprodukten. Im einzelnen waren dies: Si-haltige Anfallstoffe aus der Waferproduktion für Elektronik und Photovoltaik, technisches Rohsilizium für Legierungen in der Metallurgie und der Waferproduktion sowie Siliziumstäube aus der Rohsiliziumherstellung. Für diese Materialien wurden Technologien zur Herstellung der Pigmente mit Korngrößen <20 µm erarbeitet und entsprechendes Material für die Herstellung der Beschichtungsstoffe zur Verfügung gestellt.

Durch Höpner Lacke wurden Beschichtungsstoffe bereitgestellt und deren beschichtungsstoffspezifischen Parameter getestet. Die Rezeptur-Formulierungen basierten auf verschiedenen Bindemitteln. Im wesentlichen wurden Beschichtungsstoffe auf der Basis von 2-Komponenten-Epoxidharz hergestellt. Weitere Versuche beschäftigten sich mit Alkydharz-, 2-Komponenten-Polyurethan-, Acrylharz- sowie unterschiedlichen Dispersions-Beschichtungsstoffen. Die entwickelten Beschichtungsstoffe wurden hinsichtlich Verarbeitungsverhalten und Lagerstabilität untersucht.

Bei den Untersuchungen im Institut für Korrosionsschutz hat sich gezeigt, dass das Silizium in Beschichtungen in den Korrosionsprozess eingreifen kann und damit Delamination / Unterwanderung der Beschichtung sowie Korrosion des Grundwerkstoffes an Verletzungen zurückgedrängt werden können.

Besonders positive Erfahrungen konnten mit 2-Komponenten-Epoxidharz-Beschichtungsstoffen gesammelt werden. Nach Optimierung der Rezepturen für Grundbeschichtungen hinsichtlich Siliziumqualität, -korngröße und -menge wurde in etwa die Leistungsfähigkeit einer Zinkstaub-Grundbeschichtung unter Berücksichtigung der Salzsprühnebelbelastung erreicht. Bei weiterführenden Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Schutzwirkung des Siliziums abhängig ist von der Art des Siliziumproduktes, vom prozentualen Anteil des Siliziums im Beschichtungsstoff, von der Verwendung zusätzlicher aktiver Pigmente (z. B. Zink) sowie von der chemischen Basis des Beschichtungsstoffes.

Im Ergebnis des Projektes wurde ein Patent angemeldet.

Die Untersuchungen erfolgten im von der Sächsischen Aufbaubank unterstützten Projekt 6438/984.

Dr. Matthias Coppers (Rheum GmbH)

Rosentalstraße. 24 • D-42899 Remscheid

Telefon:+49 (0)2191 98306-0 • Fax: +49 (0)2191 51840

E-Mail: info@rheum.de • Internet: www.rheum.de

RHEWUM-DATASORT SORTIERMASCHINEN

Die neu konzipierten opto-elektronischen Sortiermaschinen des Typs „RHEWUM Datasort“ basieren auf bewährten Komponenten, die passend zur jeweiligen Aufgabenstellung individuell kombiniert werden.

So ist es möglich, mit einer Auswerte-elektronik verschiedenste Aufgabenstellungen (monochromatisch bzw. Echtfarben sowie ein- und beidseitige Betrachtung) mit bereits geprüften Standard-Komponenten zu realisieren. Durch die Möglichkeit der Echtfarben-erkennung in Kombination mit einer freien Filtergestaltung ist es möglich, für das menschliche Auge unsichtbare Farbaspekte sicher zu erkennen.

Anwendungsbereich ist die Sortierung von gebrochenem Glas, NE-Metallen, Kunststoffen, Lebensmitteln, Salz, sowie diversen Mineralien wie Erz, Feldspat, Gips und Kalkstein neben Anwendungen in der Pharmazie und der Recycling-Industrie.

RHEWUM Feinsiebmaschine mit direkter Erregung des Siebbelages

Siebmaschinen der **Bauart WAU** werden bevorzugt zur Klassierung von körnigen Schüttgütern im Mittelkornbereich eingesetzt, z.B. Düngemittel, aber auch Putze, Salz und Zucker.

Es handelt sich um Wurfsiebe mit *direkter Erregung der Siebgewebe*; das Siebaggregat übernimmt nur statische Aufgaben. Außerhalb des Siebgehäuses arbeiten robuste Unwuchtmotore mit 3000 Upm, die die Schwingungen kraftschlüssig über Schwingachsen in das Siebgewebe übertragen. Die Schwingweite für jede Schwingeinheit ist frei einstellbar. Durch die geräuscharme hochfrequente Erregung wird das Siebgut rechtwinklig vom Siebgewebe abgeworfen - die Neigung des Gewebes bestimmt den Transport.

Verfahren zum Recycling von Nickel-Metallhydrid-Batterien

Prof. Dr. rer. nat. habil. Hanspeter Heegn, Dr.-Ing. Andre Kamptner
(UVR-FIA GmbH Freiberg)

Prof. Dr.-Ing. Bernd Friedrich, Dipl.-Ing. Tobias Müller
(IME, RWTH Aachen)

Dipl.-Ing. Reiner Weyhe
(Accurec GmbH, Mülheim)

Das Marktwachstum für NiMH-Batterien ist nach wie vor positiv und der Marktanteil von NiMH-Batterien nimmt zu Lasten des Hauptkonkurrenzsyste.ms Nickel-Cadmium zu.

1999 betrug die Menge der in den Handel gebrachten Batterien 80.000 Tonnen pro Jahr (1 Milliarde Zellen pro Jahr). Gegenwärtig existiert noch kein technischer Prozess zum Recycling von Nickel, Kobalt und Seltene Erden Metall. Die gesammelten und sortierten verbrauchten NiMH-Batterien werden geschreddert und als Schrott in stark verdünnter Beimischung der Edelstahlherstellung zugeführt, um den Nickel-Anteil zu nutzen. Kobalt und Seltene Erden Metalle gehen verloren.

In einem seit 2 Jahren vom BMBF geförderten Projekt zwischen IME Aachen, ACCUREC Mülheim und UVR-FIA Freiberg werden neue Möglichkeiten zum effektiven Recycling untersucht. Durch Kombination von mechanischen, pyrometallurgischen und hydrometallurgischen Verfahrensschritten gelingt es, die wertvollen Metallinhalte zu gewinnen.

Nach der Zerkleinerung der Batterien in einer Hammermühle mit Siebeinsatz werden die verschiedenen Fraktionen der Batterieinhaltsstoffe durch mechanische Verfahren separiert. Dazu erfolgt eine Nasssiebung bei 0.5 mm, wobei in der Feinfraktion die wertvollen Komponenten Ni, Co und Seltene Erden angereichert werden. Die Grobfraktion besteht aus einer Mischung von Stahlblechteilen, Elektrodenblechen, Plastikteilen, Papier und flockenförmigem Material der Separatoren. Die organischen Komponenten können durch Windsichtung von den Metallen getrennt werden, wenn sie nicht vor der mechanischen Aufbereitung durch thermischen Behandlung entfernt worden sind.

Die abgetrennte Feinfraktion wird mit Schlackenbildnern gemischt und granuliert. Durch einen elektrothermischen Prozess werden Nickel und Kobalt als Metall gewonnen und die Seltenen Erden in der Schlacke angereichert.

Nach der mechanischen Schlackenaufbereitung erfolgt die hydrometallurgische Verarbeitung durch Schwefelsäure-Laugung der gemahlene.n Schlacke.

Die Seltenen Erden werden als Doppelsalze $(SE)_2(SO_4)_3 \cdot Na_2SO_4 \cdot xH_2O$ aus saurer Lösung mit NaOH-Lösung bei pH 1.5 bis 2 gefällt. Anschließend erfolgt die Umwandlung der Doppelsulfate in Hydroxide durch Behandlung mit NaOH-Lösung und Auswaschen mit NH_4OH -Lösung. Nach Auflösung in Salzsäure und Umwandlung in Seltene Erden Chlorid erfolgt die Schmelzflusselektrolyse und Gewinnung der Seltenen-Erden Metalle als Mischung (sogenanntes 'Mischmetall'). Sowohl die Nickel-Kobalt-Legierung als auch das 'Mischmetall' können direkt für die Batterie-Produktion eingesetzt werden. Das Verfahren ist im Pilot-Maßstab von 1 Tonne Durchsatz erprobt. Gegenwärtig läuft die technisch-ökonomische Bewertung als Vorbereitung für eine mögliche technische Überführung.