

## Jahrestagung 2002 "Aufbereitung und Recycling - 10 Jahre UVR-FIA"

Die Jahrestagung 2002 "Aufbereitung und Recycling" fand am 13. und 14.11. 2002 in Freiberg im Hörsaal des Gebäude des Gründer- und Innovationszentrums Freiberg, dem ehemaligen Forschungsinstitut für Aufbereitung statt. Veranstalter waren die Gesellschaft für Umweltverfahrenstechnik und Recycling Freiberg e.V., der Wissenschaftlich-technische Gesellschaft für Verfahrenstechnik Freiberg - FIA - e.V. sowie der Gesellschaft für Aufbereitungstechnik und Recycling e.V. Freiberg. Die Veranstaltung stand unter dem Motto "10 Jahre UVR-FIA". Die Resonanz auf die Einladung zu Vorträgen war sehr groß, so dass die ursprünglich für nur einen Tag geplante Tagung um den Nachmittag des Vortages erweitert wurde. Zusätzlich wurden noch mehr als 20 Poster präsentiert. Die Teilnehmerzahl lag bei ca. 100.

**Dr. Cichos** stellte als Geschäftsführer der UVR-FIA GmbH die Entwicklung der Firma nach 1992 dar. Die UVR-FIA GmbH ist ein unabhängiges, ingenieurtechnisches Unternehmen, das aus dem ehemaligen Forschungsinstitut für Aufbereitung (FIA), einem Institut der Akademie der Wissenschaften der DDR (AdW), hervorgegangen ist. Gesellschafter der UVR-FIA GmbH sind die Vereine:

- Gesellschaft für Umweltverfahrenstechnik und Recycling e. V. und
  - Wissenschaftlich-technische Gesellschaft für Verfahrenstechnik - FIA - e. V.,
- die beide nach der Schließung des FIA von dessen ehemaligen Mitarbeitern gegründet wurden. Die UVR-FIA GmbH Freiberg ist An-Institut der TU Bergakademie Freiberg. Für die interdisziplinäre Bearbeitung komplexer Aufgabenstellungen steht ein leistungsstarkes Team aus erfahrenen Verfahrenstechnikern, Chemikern, Physikern und technischem Laborpersonal zur Verfügung.

Die aktuellen Schwerpunkte der Arbeit von UVR-FIA sind Forschung, Entwicklung, Planung, Beratung, Information und Dienstleistung

- zur Aufbereitung und zum Recycling,
- zur Veredlung und zur Verarbeitung,
- zur Umwelttechnik und zum Umweltschutz und
- zur Charakterisierung von Stoffeigenschaften

für Betriebe, Projektierungs- und Entwicklungseinrichtungen insbesondere der stoffverarbeitenden Industrie.

Neben zahlreichen einschlägigen Laboratorien steht ein Technikum mit moderner Konzeption für den Aufbau von Versuchsanlagen zur Erprobung und Demonstration kompletter Technologien zur Verfügung. Das Technikum besitzt eine sehr vielfältige verfahrenstechnische Ausrüstung im Betriebs- bzw. halbtechnischen Maßstab. Damit ist die Möglichkeit gegeben, komplette Aufbereitungsverfahren kontinuierlich bei Durchsätzen von ca. 1 t/h mit Materialmengen bis zu 100 t im Dauerversuch aufzubauen und zu betreiben.

Auf folgenden Gebieten wurden in den letzten Jahren umfangreiche Arbeiten ausgeführt:

- Aufbereitung von Abfällen und Recycling wie Akkusrott, Eisenhydroxidschlamm, Bauschutt,
- Wasser-, Abwasser- und Schlammbehandlung
- Aufbereitung von Rohstoffen wie Erze, Sande, Kohle,
- Aufbereitung von Baustoffen wie Zement, Zementzuschlagstoffe
- Fein- und Feinstkornherstellung durch Mahlen und Klassieren
- Metallzerkleinerung und mechanisches Legieren
- Physikalische und chemische Stoffcharakterisierung.

Ausgehend von der langjährigen erfolgreichen Tätigkeit des Forschungsinstituts für Aufbereitung hat sich auch nach der Wende die aus dem Akademieinstitut hervorgegangene Firma UVR-FIA GmbH ihren guten Ruf als zuverlässiger Partner von Wirtschaft und Forschung im In- und Ausland bewahrt und weiter ausgebaut.

## **Die ostdeutsche Recyclingindustrie im Transformationsprozess - Erkenntnisse aus dem Fallbeispiel der Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik (MRU) GmbH**

**Prof. Dr. Horst Brezinski und Prof. Dr. Peter Seidelmann**  
(TU Bergakademie Freiberg)

Der Transformationsprozess in Ostdeutschland ist nicht so abgelaufen, wie es die euphorischen, mit wirtschaftlichen Sachverstand nur wenig ausgestatteten und bar jeder Kenntnis von institutionellen Systemzusammenhängen damaligen Politiker sich vorgestellt haben. Die zunächst einsetzende Deindustrialisierung und der wirtschaftliche Niedergang, der durch Transferzahlungen verdeckt wurde, haben aber nicht nur Negativentwicklungen beschert, sondern in bestimmten Industriebereichen zur Wiederbelebung, Umstrukturierung und zu neuen Erfolgserlebnissen beigetragen. Gerade die Recyclingindustrie konnte auf altem Know-how, vorhandenem Humankapital und Zugang zum international verfügbaren Finanz- und Sachkapital aufbauen und eine erhebliche Innovationskraft demonstrieren.

Das Fallbeispiel der Freiburger Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik (MRU) GmbH kann als ein Paradebeispiel für ein erfolgreich umstrukturiertes und innovatives Recyclingunternehmen angesehen werden. Mit ihrer Beschränkung auf spezifische Geschäftsfelder hat sich die Unternehmung erfolgreich am Markt etabliert. Die einschlägigen ökonomischen Indikatoren wie Gesamtumsatz, Bruttowertschöpfung und Lohn- und Gehaltssumme pro Beschäftigten belegen dies eindrucksvoll. Das Unternehmen hat damit auch beträchtlich zur Stabilisierung der regionalen wirtschaftlichen Situation beigetragen. Dies bezieht sich nicht nur auf die Schaffung und Bereitstellung von Arbeitsplätzen, die Erhöhung der kaufkräftigen Nachfrage, sondern auch auf die Bereitstellung von Ausbildungsplätzen, von Umweltentsorgungsdienstleistungen, den Beitrag zum Erhalt und zur effizienten Auslastung der Infrastrukturnetze und zur Bewahrung der industriellen Kultur.

Der Fall der MRU GmbH verdeutlicht aber auch, dass eine Unternehmung, die sich in Abhängigkeit einer weit vom Produktions- und Marktgeschehen existierenden Muttergesellschaft befindet, als Steuerzahler weitgehend ausfällt bzw. in der Wahrnehmung seiner Marktchancen unter Umständen erheblich eingeschränkt ist und damit auch erhebliche Hindernisse zu überwinden hat, um sich neuen Herausforderungen und Marktanpassungsstrategien, wie sie voraussichtlich mit der Osterweiterung der Europäischen Union entstehen, zu stellen.

Deutlich wird aber ebenfalls bei der Betrachtung des Fallbeispiels, und dies lässt sich durchaus auch für die gesamte Branche verallgemeinern, dass die innovative Gestaltungskraft des Unternehmen bzw. der Branche nicht nur von dem wirtschaftlichen sondern in ganz starkem Maße auch von dem wissenschaftlichen Umfeld abhängig ist. Eine erfolgreiche Transformations- bzw. Restrukturierungspolitik hängt daher nicht nur von einer erfolgreichen Integration in die Märkte, die Zurverfügungstellung von Sach- und Finanzkapital, sondern auch von dem in einer Region zur Verfügung gestellten Humankapital ab. Eine zukunftsweisende Wirtschaftspolitik ist daher ohne eine adäquate Wissenschafts-, Forschungs- und Bildungspolitik nur unzulänglich und wird kaum Erfolge in der Zukunft vorweisen können. Hier hat die Politik gegenwärtig noch erhebliche Erkenntnisdefizite bzw. muss noch umfangreiche gestaltende Maßnahmen ergreifen.

## Zum Einfluss der selektiven Zerkleinerung auf die Trenn- und Stoffwandlungsprozesse einer MBA

Prof. Dr.-Ing. Peter Koch

(Maschinenfabrik Ernst Hese GmbH, Gelsenkirchen)

Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) hat seit 2001 klare gesetzliche Vorgaben zu erfüllen. Es werden in Deutschland für ca. 5 Mio. t/a Hausmüll bzw. Restmüll notwendige Neukapazitäten für die Müllverbrennung (MVA) oder MBA ab 2005 vorhergesagt. MBA's werden von den Kommunen und Entsorgern in Deutschland an solchen Standorten vorbereitet,

die über kleinere Müllaufkommen (< 60 – 80 kt/a) verfügen und die bei Einschluss einer Vergärungsstufe die über den Eigenbedarf hinaus erzeugte thermische Energie für angesiedelte Gewerbe oder eine Fernwärmeversorgung einsetzen können,

die für Müllaufkommen von 100 kt/a oder mehreren 100 kt/a ab 2005 über genehmigte Deponien und Bearbeitungsflächen für die Kompostierung bzw. die Vergärung/Kompostierung verfügen sowie die entsprechenden Verwertungsmöglichkeiten für die erzeugten Sekundärbrennstoffe schaffen können.

Neben dem wirtschaftlichen Vergleich für neue MVA- bzw. MBA-Kapazitäten spielt in Deutschland die umweltpolitische Haltung der Bevölkerung sowie die Politik der Kommunen in Richtung einer bewussteren, anteiligen Senkung des CO<sub>2</sub>- bzw. CH<sub>4</sub>-Ausstoß-Potentials eine entscheidende Rolle beim Entscheid für die Art der Abfallverwertung bzw. -beseitigung.

Im Vortrag soll im Vergleich verschiedener Verfahrensvarianten für die mechanisch-biologische Abfallbehandlung auf ein sehr robustes und besonders leistungsfähiges MBA-Verfahren eingegangen werden, das eine hohe Raum-Zeitausbeute bei der Abfallbehandlung für große Abfallkapazitäten (> 80 kt/a) ermöglicht.

Im Hese-MBA-Verfahren sind durch die Auswahl der eingesetzten Prozesse in den Verfahrensstufen Vorbehandlung mit Kaskadenmühle/Trommelsieb-Kombination und Vergären/Kompostieren gute Voraussetzungen für das Erzeugen verwertbarer Produkte einer MBA geschaffen:

*Sekundärbrennstoffe (SBS)* - gut vermarktbar, mit gleichmäßiger Qualität nach Stoff- bzw. Heizwertbestand, nach Korngrößenverteilung und Schüttdichte

*Metallkonzentrate* - geringe Verunreinigungen, gut verdichtet

*Biogas* - zur Verwertung in einem angeschlossenen BHKW zur Wärme- und Elektroenergiegewinnung

*Substrat* - ablagerungsfähiger Stoff mit TOC-Werten <18 % bzw. <6000 kJ/kg bei AT<sub>4</sub> < 5 mg O<sub>2</sub>/g nach der biologischen Behandlung.

Im Verfahren eingeschlossen sind Wasserverluste bei der Zerkleinerung sowie die Abluftbehandlung in der Weise, dass der zulässige Inhalt an C<sub>ges</sub> in der Abluft die gesetzlich vorgesehenen 55 g/t Durchsatz (Monatsmittelwert) unterschreitet.

Die im Industrieinsatz jahrelang genutzte selektive Zerkleinerung in einer Kaskadenmühle mit Durchsätzen von ca. 17 bzw. 35 t/h hat den Vorteil, dass nach der Kaskadenmühlen/Trommelsieb-Kombination mit einem Trennschnitt von z. B. 35 mm im Grobprodukt ca. 26 Gew.-% des Aufgabematerials als hochkalorische Fraktion erhalten werden, aus der sauber Fe-, NE-Metall-Anteile sowie Steine abgetrennt sind. Dieser Anteil muss an die Einsatzanforderungen für SBS nach der Korngröße noch zerkleinert, konfektioniert werden.

Aus dem Feinprodukt <35 mm kann durch Siebung der Vorlauf zur biologischen Behandlung bei 3–5 mm abgetrennt werden. Im Produkt <3-5 mm (ca. 20 - 25 Gew.-%

der Aufgabe) befinden sich ca. 80 % biologisches, feinaufgeschlossenes Material, das sehr effektiv zu Biogas und einem Gärrest mit niedrigem TOC umgesetzt werden kann. Das Zerkleinerungsverfahren bewirkt den Einschluss verkugelter, das Gefüge auflockernder Papierknäuel, was die nachfolgende Milieuumstellung von anaerob zu aerob und die erforderliche Wasserabtrennung aus dem Substrat zur Deponierung beim Kompostiervorgang unterstützt.

Das Produkt 3-35 mm von ca. 50 Gew.-% des Aufgabegutes besteht vor allem aus verkugelttem Papier, zerkleinerten Folien, Holz und noch abzutrennenden Fe- und Schwerfraktionen. Nach der Konfektionierung steht ein SBS <15-35 mm zur Verfügung, der bei den gegebenen Hausmüllzusammensetzungen in Deutschland in Mischung mit dem zerkleinerten, konfektionierten Grobprodukt einen gleichmäßigen, stabil einstellbaren SBS mit einem Heizwert von >11000 kJ/kg erhalten lässt. Die verwertbare SBS-Menge beträgt in Summe ohne spezielle Trocknung ca. 60 % der Aufgabe.

Primärressourcen können somit durch Mitverbrennung entsprechend geschont bzw. Heizkraftwerke und andere SBS-Verbraucher versorgt werden. Im Fall der Maximierung der Brennstoffherzeugung kann bei entsprechender Aufgabezusammensetzung auch noch ein höherer Anteil an SBS hergestellt werden. Im Fall der Maximierung der Ablagerungsmenge wird die herstellbare Aufgabemenge zur biologischen Behandlung entsprechend erhöht und der Punkt eingestellt, bei dem sowohl das SBS-Produkt, das erzeugte Biogas und das Ablagerungsprodukt in einem wirtschaftlich optimalem Verhältnis stehen.

Im Vortrag wird die diesem Ergebnis zu Grunde liegende selektive Zerkleinerung an Hand von Darstellungen zur Zerkleinerungscharakteristik der Kaskadenmühle und zum Stoffbestand in den Kornklassen erläutert. Hauptsächliches Ergebnis ist der Befund, dass die Zerkleinerung der biologischen Fraktion in das Feinkorn ohne einen wesentlichen Eintrag von weiteren und zwar heizwertreichen Stoffarten (z. B. Holz) erfolgt. So kann für das Feinkorn allein durch den nachfolgenden biologischen Prozess das Verfahrensziel Ablagerungsfähigkeit im Sinn der 30. BImSchV und der AbfAbIV erhalten werden.

Auf die sich ergebenden Effekte zur Verbesserungen bei den nachfolgenden Trennprozessen (z.B. für die Fe- und NE-Metall-Abtrennung) sowie zu den Prozessraum- und Prozesszeitersparnissen bei der biologischen Behandlung fein zerkleinerter Vorlaufstoffe wird eingegangen.

## **Rotorscheren und Rotorreißer für die Schrott- und Abfallzerkleinerung**

**Dipl.-Ing. Dirk Woldt, Prof. Dr.-Ing. habil. Gert Schubert und Dr.-Ing. Hans-Georg Jäckel**

(Lehrstuhl für Aufbereitungstechnik und Recycling, TU Bergakademie Freiberg)

Für die Zerkleinerung der Schrotte und Abfälle mit nicht-sprödem Stoffverhalten, z. B. Stahl- und NE-Metallschrotte, Metall-Kunststoff-Verbunde, Kunststoffabfälle, haben sich relativ langsamlaufende Zerkleinerungsmaschinen (Rotorumfangsgeschwindigkeiten  $< 5$  m/s) mit scherender, schneidender und reißen Beanspruchung eingeführt. Obwohl diese Zerkleinerungsmaschinen sich seit langem bewährt haben und in jüngster Zeit verstärkt weiterentwickelt wurden, sind die bei der Zerkleinerung sich vollziehenden Vorgänge nur eingeschränkt bekannt. Ihre Aufklärung erfolgte auf der Basis systematischer Grundlagenuntersuchungen mit Modellapparaturen und kleintechnischen Zerkleinerungsmaschinen, wobei es zunächst galt, die „idealen“ Scher- und Schneidvorgänge sowie das komplexe Zusammenwirken von Scher-, Schneid- und Reißbeanspruchungen in Verbindung mit Verformungs- und Reibungsvorgängen zu analysieren. Diese Arbeiten bilden u. a. die Grundlage für die Systematisierung der konstruktiv sehr vielfältig gestalteten Rotorscheren, Rotorschneider und Rotorreißer. Auch können nunmehr die Einflussfaktoren (Rotormesser- und Ambossgestaltung, axiale und radiale Spaltweiten, Rotorscheibenüberdeckung, Rotorumfangsgeschwindigkeit u. a.) auf den Materialeinzug und den Scher-, Schneid- und Reißvorgang angegeben werden. Besondere Aufmerksamkeit gilt dabei auftretenden Unterschieden bei ein- und zweirotorigen Zerkleinerungsmaschinen. Die parallel durchgeführten Untersuchungen mit großtechnischen Rotorscheren und Rotorreißern zeigen die Leistungsfähigkeit und die Grenzen dieser Zerkleinerungsmaschinen für die Vorzerkleinerung und die Aufschlusszerkleinerung (mit Haushaltskleingeräten und Radiogeräten u. a.).

## **Die Anforderungen an die Aufbereitung von Abfällen zur stofflichen und thermischen Verwertung in einer zirkulierenden Wirbelschicht an einem Zementofen**

**Dipl.-Ing. Sigmar Drebelhoff und Dipl.-Ing. Karl-Friedrich Scharf**  
(Rüdersdorfer Zement GmbH)

Es werden die in der Rüdersdorfer Zement GmbH gegenwärtig verwerteten Sekundärbrennstoffe vorgestellt und deren Werdegang des Sammelns, des Aufbereitens, des Genehmigens zur Verwertung, der Übernahme und Lagerung, der Dosierung und der Verwertung selbst aufgezeigt. Mit der Vorstellung der aktuellen Produktpalette, deren Hauptanteil Gemischtabfälle ausmachen, wird auf die Entwicklung der zur Verwertung gelangenden Stoffe eingegangen und die Merkmale der Änderungen in der Aufbereitung hervorgehoben.

Die Stoffumwandlung und die Wärmeentbindung dieser Sekundärbrennstoffe in einer Zirkulierenden Wirbelschicht, von der aus unmittelbar die weitere stoffliche und thermische Nutzung im Zementbrennprozess ausgeht, wird beschrieben sowie die Zweckbestimmung der dabei entstehenden Produkte - ausgebrannte Asche für die Rohmischung des Zementbrenngutes und Schwachgas als Brennstoff für den Kalzinator der Zementofenanlage.

Unter dem Gesichtspunkt der außerordentlichen Bedeutung eines gleichförmigen Prozessablaufes in der Zirkulierenden Wirbelschicht wird die Einordnung eine der ältesten Aufbereitungstechniken in die Verfahrenskette der außerhalb des Zementwerkes stattfindenden Sekundärstoffaufbereitung besonders gewürdigt. Es wurde erreicht, dass die Nutzung von Kollergängen die Beherrschung des Stoffflusses und dessen dosierte Zuführung zur Zirkulierenden Wirbelschicht wesentlich verbesserte.

Eng mit der Rheologie der Sekundärbrennstoffe verbundene Problemstellungen und daraus abgeleitete technische Anpassungen insbesondere an den Einrichtungen der Dosiertechnik an der Zirkulierenden Wirbelschicht werden dargestellt. Die Schwierigkeiten werden hervorgehoben, die bei der Definition der Schüttguteigenschaften der heterogenen Abfälle nach wie vor bestehen.

Der gesellschaftliche und der betriebswirtschaftliche Vorteil der Verwertung von Sekundärbrennstoffen in einem Zementofen wird am Beispiel der Rüdersdorfer Anlage abschließend aufgezeigt.

## **Aufbereitung gemischter Siedlungsabfälle zur Herstellung von Sekundärbrennstoffen**

**Dipl.-Ing. Christiane Ochsenreiter und Prof. Dr.-Ing. Halit Z. Kuyumcu**

(Fachgebiet Aufbereitung von Roh- und Reststoffen, Technische Universität Berlin)

Seit dem Inkrafttreten der Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (AbfAbIV) steht die Herstellung von Sekundärbrennstoffen aus gemischten Siedlungsabfällen, insbesondere Hausmüll, als Baustein der Abfallentsorgung im Mittelpunkt des abfallwirtschaftlichen Interesses. Aktuell verdeutlichen dies die Planungen zahlreicher kommunaler und auch privater Entsorger in Deutschland, spätestens ab 2005 eine mechanisch-biologische bzw. mechanische Aufbereitung zu betreiben.

Allerdings liegen bisher weder für die Aufbereitung gemischter Siedlungsabfälle zu Sekundärbrennstoffen noch für deren Verwertung umfassende praktische Erfahrungen vor. Für die Verwertung gilt dies insbesondere für die Mitverbrennung in Kohlekraftwerken. Einerseits werden hier zwar die größten Potenziale gesehen und auch das Interesse der Kraftwerksbetreiber am Einsatz von Sekundärbrennstoffen scheint zu wachsen, andererseits werden Sekundärbrennstoffe aktuell nur selten zur Energiewandlung genutzt. Sowohl hinsichtlich der Anforderungen der Verwerter an Sekundärbrennstoffe aus gemischten Abfällen als auch hinsichtlich der für eine effektive Aufbereitung notwendigen stofflichen Charakterisierung der gemischten Abfälle bestehen noch zahlreiche Kenntnislücken. Dies liegt u.a. daran, dass gemischte Siedlungsabfälle wegen ihrer äußerst heterogenen Zusammensetzung in der Abfallwirtschaft bisher überwiegend summarisch beschrieben werden. Detaillierte Aussagen zu den Merkmalen einzelner Stoffgruppen bzw. ihren Verteilungen sind daher im Hinblick auf ihre Aufbereitbarkeit nur schwierig zu gewinnen.

Vor diesem Hintergrund befasst sich der Beitrag mit folgenden Fragen:

- Welchen konkreten Qualitätsmerkmalen müssen Sekundärbrennstoffe aus gemischten Siedlungsabfällen aus Sicht der Kraftwerksbetreiber genügen?
- Welche Stoffmerkmale weisen gemischte Siedlungsabfälle, vor allem die verschiedenen Stoffgruppen, aus denen sie zusammengesetzt sind, auf?
- Welche Aufbereitungsprozesse müssen notwendigerweise erfolgen, um aus gemischten Siedlungsabfällen einen Sekundärbrennstoff herzustellen, der ohne erhebliche Veränderungen im Kraftwerksbetrieb mitverbrannt werden kann?
- Wo liegen die Grenzen der Aufbereitbarkeit gemischter Siedlungsabfälle zur Herstellung von Sekundärbrennstoffen, die in Kraftwerken mitverbrennbar sind?

Aufbauend auf einem systematischen Überblick zu den Aufbereitungsanlagen bzw. Konzepten zur Herstellung von Sekundärbrennstoffen aus gemischten Siedlungsabfällen werden anhand von Ergebnissen eigener Untersuchungen typische Stoffströme von Aufbereitungsanlagen beschrieben. Hierbei wird insbesondere auf die verschiedenen Stoffgruppen der gemischten Abfälle und ihre charakteristischen Stoffmerkmale eingegangen. Es werden die derzeit üblichen Qualitäten der Sekundärbrennstoffe aus gemischten Abfällen den Anforderungen an für den Kraftwerksbetrieb geeignete feste Brennstoffe gegenübergestellt. Daraus lassen sich Schlussfolgerungen für die Möglichkeiten und Grenzen der Aufbereitung von gemischten Siedlungsabfällen zur Herstellung von Sekundärbrennstoffen ziehen.

## Vergleichende Betrachtungen wesentlicher Parameter von Wälzmühle, Hochdruck-Rollenmühle und Horomill

Dr.-Ing. Fritz Feige

(Roßlau)

Die Wälzmühle, in der englischsprachigen Literatur als Vertikal-Rollenmühle bezeichnet, hat als weit verbreitete Mühle neben der Rohrmühle mit der Einführung der Hochdruck-Rollenmühle vor ca. 15 Jahren und später durch die sogenannte Horomill neue Wettbewerber bekommen.

Obgleich allen drei Mühlen nachgesagt wird, dass sie mit der Beanspruchung von mehr oder weniger definierten Materialschichten den letzten Stand der Technik repräsentieren, lässt sich im Ergebnis einer Parameterbetrachtung noch ein erheblicher Entwicklungsbedarf ableiten. Realistisch betrachtet, werden die Beanspruchungszonen dieser drei Mühlen bestenfalls nur mit bewegten Materialschüttungen beaufschlagt.

Bei der **Wälzmühle** ist das Materialbett durch die Höhe des Mahltellerrandes festgelegt. Nur im Idealfall wird die kreisringförmige Beanspruchungsbahn durch das mittig aufgegebene Material nach einer Differentialkurve angeströmt. Der Anteil des Materials, der dabei unbeanspruchte über den Mahltellerrand gelangt, kann beträchtlich sein. Er hängt entscheidend von der Konfiguration der Mahlwerkzeuge ab und erhöht die bekannterweise hohen Materialkreisläufe zwischen Beanspruchungs- und Sichtzone. Da die Materialbewegung und damit die Mahltellerdrehzahl durch das Verhältnis von Reibungs- und Zentrifugalkräften festgelegt sind, erzielt die Wälzmühle nur in einem einzigen Arbeitspunkt ihren maximalen Durchsatz bei optimaler Energieausnutzung. Dieses verfahrens-technische Verhalten schließt genau genommen den Teillastbetrieb ebenso wie etwa die schnelle und flexible Umstellung der Mühle auf ein anderes Mahlgut aus.

Die **Hochdruck-Rollenmühle**, die je nach Hersteller unter den verschiedensten Bezeichnungen innerhalb der ersten Jahre ihrer Markteinführung in großen Stückzahlen gebaut wurde, beansprucht seitlich begrenzte Materialschüttungen mit Mahldrücken, die um ein Vielfaches höher als bei der Wälzmühle und Horomill liegen und wegen der füllstands-gesteuerten Materialbeaufschlagung über einen Aufgabebunker nur bedingt einstellbar sind. Wegen der Anwendung von Höchstdrücken baut die Hochdruck-Rollenmühle sehr schwer und verursacht vergleichsweise hohe Verschleißkosten, wodurch sie heute an Image verloren hat. Die Umfangsgeschwindigkeiten der Mahlrollen liegen gewöhnlich im Bereich von 1,2 bis 1,8 m/s. In diesem engen Bereich besitzt die Hochdruck-Rollenmühle material-abhängig ein quasi lineares Geschwindigkeits-Durchsatz-Verhalten, das vorteilhaft zur Durchsatzreglung ausgenutzt werden kann. Da das beanspruchte Material nach der Mühle mehr oder weniger agglomeriert anfällt, müssen entsprechende Desagglomerationseinrichtungen im Mahlkreislauf vorgesehen werden.

Die sogenannte **Horomill**, von der bisher etwa ein Dutzend gebaut wurden, nutzt die Zentrifugalwirkung eines mit überkritischer Geschwindigkeit betriebenen Zylinders aus, um über einen Abstreicher den sich an der Zylinderwand anlegenden Materialring durch freien Fall in den sichelförmigen Mahlpalt zwischen Beanspruchungsbahn und druckbelasteter Mahlrolle zu transportieren. Damit besitzt die Horomill ein mit der Wälzmühle vergleichbares Beanspruchungs- und Durchsatzverhalten. Die Horomill arbeitet mit Mahldrücken, die zwischen Wälzmühle und Hochdruck-Rollenmühle liegen. Die Mahlgutzuführung in die Beanspruchungs-zone ist weit entfernt von einer definierten Materialbeaufschlagung. Aufgrund technischer Schwierigkeiten ist die Einführung der Horomill seit einigen Jahren zum Stillstand gekommen.

Schlussfolgernd sollte eine Mühle, die nach dem Druckprinzip arbeitet, ein lineares Geschwindigkeits-Durchsatz-Verhalten besitzen und die Beanspruchung von definierten, seitlich begrenzten und in ihrer Dicke während des Betriebes veränderlichen Materialschichten bei einstellbaren Mahldrücken unterhalb von 50 MPa durchführen.

## **Trockene Feinstmahlung mineralischer Füllstoffe**

**Dr. Bodo Furchner**

(HOSOKAWA Alpine Aktiengesellschaft & Co. OHG)

Füllstoffe ersetzen in Kunststoffen nach wie vor einen gewissen Anteil teuren Rohstoffes durch billigeres Mineralmehl. Zunehmend möchte man jedoch von dem reinen Ersatzstoff zu hochwertigen Additiven kommen, die dem Produkt bessere Eigenschaften verleihen. Dies geschieht häufig über höhere Feinheit des Füllstoffes, so dass wir über die Jahre hinweg einen Trend zu höheren Feinheiten sehen können. Unter Feinstmahlung wird in diesem Vortrag eine mittlere Korngröße von kleiner 2  $\mu\text{m}$  verstanden. Diese Füllstoffe sind Spezialitäten, die trocken heute nur in kleineren Mengen hergestellt werden.

Die geforderten hohen Feinanteile lassen sich weder durch Prallmahlung, z.B. Fließbettstrahlmühle, noch durch Druckzerkleinerung, z.B. Gutbettwalzenmühle, herstellen. Diese feinsten Füllstoffe können nur in Kugelmühlen oder Rührwerkskugelmühlen erzeugt werden. Rührwerkskugelmühlen für die genannten Feinheiten sind seit einigen Jahren Stand der Technik. Diese Technologie wird im Vortrag ausführlich betrachtet.

Die vertikale Rührwerkskugelmühle besteht aus dem zylindrischen Mahlraum mit einem L/D Verhältnis von ungefähr 4. Im Betrieb ist der Mahlraum mit Mahlkörpern und Mahlgut gefüllt, wobei als Mahlkörper in der Regel Kugeln aus Aluminiumoxid mit Durchmessern zwischen 3 und 5 mm verwendet werden. Die Energie wird über einen mit Rührarmen versehenen Rührer eingetragen, der mit Umfangsgeschwindigkeiten von 2,5 – 3 m/s läuft. Die volumenbezogene Leistung liegt bei 100 - 150  $\text{kW}/\text{m}^3$ . Eine Austragsschnecke am unteren Ende der Mühle zieht gleichmäßig die Mischung aus Mahlkugeln und Mahlgut ab. Die Mahlkugeln werden mit einer Vibrationssiebmaschine abgetrennt und in die Mühle zurückgeführt, das Mahlgut wird einem Feinstsichter aufgegeben, Fertiggut wird ausgesichtet, das Grobgut geht in den Kreislauf zurück.

Für die Sichtung in diesem Feinheitsbereich kommen die bewährten Turboplex Windsichter in Mehrradausführung in Frage oder der neu entwickelte Turbotwin Sichter mit nur einem Sichtrad, das bei höheren Umfangsgeschwindigkeiten betrieben werden kann.

Bei der Mahlung von Calciumcarbonat auf höchste Feinheiten ist der Einsatz von Dispergiermittel (Mahlhilfsmittel) zwingend erforderlich, ansonsten bilden sich im System harte Ansätze, die den Fluss von Mahlkörpern und Mahlgut behindern. Positiv wirkt sich der Einsatz von Dispergiermitteln in diesem Feinheitsbereich auch auf die Trennschärfe der Sichter aus.

Eine Anlage mit einer Rührwerkskugelmühle 900 ATR und Turboplex Windsichter 315/6 ATP macht bei einer gesamten Leistungsaufnahme von 420 kW ca. 1,5 t/h Calciumcarbonat Füller mit  $d_{50} = 1 \mu\text{m}$ , 80 % < 2 $\mu\text{m}$  und  $d_{97} = 3,5 \mu\text{m}$  (Sedigraph).

**50 % Leistungssteigerung in einem trockenen Mahlkreislauf  
der Schwerspatgrube Wolfach mit Einsatz eines  
Hochleistungssichters SLV 1000**

**Dipl.-Ing. Gerhard Schmelzer** (Sachtleben Bergbau Services GmbH, Wolfach) und  
**Dr.-Ing. York Reichardt** (Gebr. Pfeiffer AG, Kaiserslautern)

Die Sachtleben Bergbau Services GmbH betreibt einen Tiefbau auf Schwerspat und Flussspat mit angeschlossener Aufbereitungsanlage in Wolfach im Schwarzwald.

Mit Hilfe moderner nasser und trockener Aufbereitungsverfahren werden jährlich etwa 60000 t Schwerspatprodukte und ca. 35000 t Flussspatkonzentrat hergestellt.

Nach Anreicherung in Dichtesortierung und gegebenenfalls Flotation auf einen BaSO<sub>4</sub>-Gehalt größer 90 % bis zu 98 % wird das Barytkonzentrat in einem Trommeltrockner getrocknet und in zwei Kugelmühlen 1,8 m X 4 m bzw. 1,8 m X 5,5 m vermahlen.

Die Mühle MRD 1,8 m X 5,5 m war 1963 von der Gebr. Pfeiffer AG, Kaiserslautern geliefert worden. Die Materialaufgabe erfolgt von beiden Seiten, der Austrag über einstellbare Schlitze im mittleren Mahlbahnbereich. Es wird entweder Konzentrat aus der Dichtesortierung kleiner 18 mm oder Flotationskonzentrat kleiner 0,5 mm aufgegeben.

Ursprünglich ausgelegt war die Mühle für eisenfreie Vermahlung mit Silex-auskleidung und Flintsteinen. Der Durchsatz lag bei 3 t/h.

1983 wurde die Mühle auf Gummiauskleidung und Stahlkugeln umgerüstet. Außerdem arbeitete sie nun im geschlossenen Kreislauf mit zwei parallel geschalteten Streutellersichtern (Durchmesser 2,8 m und 3,15 m). Die Durchsatzrate betrug 8 t/h bei einer Feinheit des Schwerspatproduktes von 1 Prozent Rückstand auf dem 0,045 mm Sieb.

1999 erfolgten detaillierte Untersuchungen im halbtechnischen Maßstab sowie Mahlbarkeitstests zur Abschätzung des Potentials der Kugelmühle MRD 1,8 X 5,5 m. Diese führten zu einer Bestellung eines Gebr. Pfeiffer Hochleistungssichters SLV 1000 mit einem garantierten Durchsatz des Mahlkreislaufs von 12 t/h Schwerspat bei gleichem Rückstand auf 0,045 mm.

Ohne Anpassung der Mühle wurde durch Einbau des neuen Sichters im Jahre 2000 der Durchsatz von 8 t/h auf 11 t/h gesteigert. Nach Anpassung der Gattierung sowie der Austragschlitze wurde der garantierte Durchsatz von 12 t/h bei der Zielfeinheit erreicht und ist heute durch den vorgeschalteten Trommeltrockner sowie Nebenaggregate begrenzt.

Die Maßnahmen blieben ohne Einfluss auf die Produkteigenschaften sowie den spezifischen Mahlkörperverschleiß.

## **Modellierung der Stromklassierung zur Erzielung definierter Partikelgrößenverteilungen**

**Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Husemann**

(TU Bergakademie Freiberg, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik)

Klassieren als Trennen nach dem Merkmal Partikelgröße ist ein wesentlicher Prozess der Festkörperversfahrenstechnik und damit auch der Aufbereitung. Klassierung verfolgt das Ziel, definierte Partikelgrößenverteilungen herzustellen. Darunter werden Partikelgrößenverteilungen z. B. mit definierter unterer, mittlerer und/oberer Partikelgröße verstanden. Bei der Stromklassierung im Speziellen wird auf eine semipermeable Wand im Sinne eines Siebbodens verzichtet und die Trennung durch die Überlagerung von Feld- und Strömungskräften (meistens Quer- oder Gegenstrom erreicht), da die größeren Partikel den Feldkräften (Schwer- oder Zentrifugalkraft) bzw. die feineren Partikel der Schleppkraft des Fluids folgen.

Die Modellierung der Stromklassierung dient sowohl der Charakterisierung der Klassierung selbst als auch der Charakterisierung des Klassierungsergebnisses. Im Vortrag werden die verschiedenen Möglichkeiten der Modellierung der Stromklassierung aufgezeigt.

Schwerpunkt des Beitrages ist die Darstellung der Prozessmodellierung, die an zwei Beispielen vertieft wird:

- Fall 1: Modellierung der turbulenten Querstromklassierung am Beispiel Hydrozklon
- Fall 2: Modellierung der turbulenten Gegenstromklassierung am Beispiel Abweiseradsichter.

Dabei wird gezeigt, dass von einem einheitlichen Ansatz ausgegangen werden kann unabhängig davon, ob die Stromklassierung trocken oder nass, im Quer- oder Gegenstrom bzw. in freier oder erzwungener Wirbelströmung realisiert wird.

Insbesondere werden Modellmodifizierungen vorgestellt, die den Agglomeratanteil als Folge der Partikelwechselwirkung (trocken und nass) berücksichtigen. Die gute Übereinstimmung zwischen Modell und experimentellem Ergebnis wird nachgewiesen. Abschließend werden zukünftige Entwicklungstendenzen benannt, die bei der Modellierung der Stromklassierung erwartet werden.

**Zu den Ursachen 'anomaler' Verläufe der Trennkurve bei der  
Feinstkornklassierung in Hydrozyklonen – insbesondere zum  
so genannten Fish-Hook-Effekt**

**Prof. Dr.sc.techn. Drs.h.c. Heinrich Schubert**  
(TU Bergakademie, Freiberg)

Die Trennkurve bzw. Trennfunktion gehört seit Jahrzehnten zu den unverzichtbaren Instrumentarien zur Kennzeichnung des verfahrenstechnischen Erfolges von Trennprozessen, sofern die Möglichkeit gegeben ist, die Zusammensetzung von Aufgabegut und Trennprodukten hinsichtlich des gewählten Trennmerkmals zu analysieren. Dies trifft für Klassierprozesse im Prinzip ohne Einschränkungen zu. Die Trennkurve macht dann die Aussage, welcher Masseanteil einer Korngrößenklasse im jeweiligen Grobprodukt ausgebracht wird. Im Allgemeinen besteht das verfahrenstechnische Ziel darin, einen von  $T(d) = 0$  beginnenden steilen Anstieg bis zu  $T(d) = 1$  mit der gewünschten Trennkorngröße  $d_T$  zu erreichen. Jedoch existieren für Fein- und Feinstkornklassierungen genügend Beispiele dafür, dass dieser anzustrebende Verlauf auf der Feinproduktseite der Trennkurve nicht realisierbar ist. Dies trifft insbesondere für Trennungen im Hydrozyklon zu.

Dass bei vielen Hydrozyklon-Klassierungen die Trennkurve mit abnehmender Korngröße  $T = 0$  nicht erreicht, sondern in eine Parallele zur Abszisse bei  $T > 0$  einbiegt, ist durch den turbulenten Charakter der Hydrozyklonströmung erklärbar. Bekanntlich werden die feinsten Korngrößenklassen mehr oder weniger homogen suspendiert, so dass sie bei Dünnstrom-Trennungen im Verhältnis der Suspensionsvolumenströme in die beiden Trennprodukte ausgetragen werden.

Nun sind aber insbesondere bei Dünnstrom-Trennungen von Aufgabegut  $< 100 \mu\text{m}$  von mehreren Autoren Verläufe der Trennkurven festgestellt worden, die im Bereich von  $10 \mu\text{m}$  oder darunter ein Minimum aufweisen, um dann nach der Feinstkornseite wieder anzusteigen. Für dieses Phänomen hat sich in der internationalen Literatur die Bezeichnung Fish-Hook-Effekt eingeführt. Als Erklärungen sind bisher Flockungsvorgänge (einschließlich Anhaftungen von feinsten Partikeln an gröberen), Dichteunterschiede u.a. angeführt worden. Durch umfangreiche und sorgfältige Untersuchungen am Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Recycling der Universität Erlangen-Nürnberg konnte aber eindeutig nachgewiesen werden, dass der Fish-Hook-Effekt auch dann auftritt, wenn vollständige Dispergierung von Stoffen einheitlicher Dichte gewährleistet ist.

Im Beitrag wird eine physikalische Erklärung für das Auftreten des Fish-Hook-Effektes vorgestellt, die auf den Strömungskräften beruht, die in den Zonen der Geschwindigkeitsgradienten um sedimentierende gröbere Partikeln eine Feinstkornanreicherung (nicht Flockung) bewirken.

Die Vermeidung bzw. Verminderung des Fish-Hook-Effektes ist für trennscharfe Klassierungen im Mikrometer-Bereich von Interesse, das Gegenteil dann, wenn der Hydrozyklon für Fest-Flüssig-Trennungen eingesetzt wird. Die technologischen Möglichkeiten dazu werden kurz diskutiert.

## **Entwicklung einer prozessgesteuerten Hydrozyklonanlage**

**Prof. Dr. Thomas Neeße**

(Universität Erlangen – Nürnberg)

Hydrozyklone sind empfindlich gegenüber Schwankungen der Feststoffkonzentration und der Korngrößenverteilung in der Aufgabe. Ziel einer Prozesssteuerung ist es deshalb, die Trennkorngröße bei schwankenden Aufbaubedingungen zu stabilisieren. Diesbezüglich besonders verschärfte Bedingungen treten bei Separieranlagen des Tunnelbaus auf. Für eine Anlage des Westerschelde Tunnelbaus in den Niederlanden hat der Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik der Universität Erlangen – Nürnberg gemeinsam mit der Fa. AKW Apparate + Verfahren GmbH & Co. KG, Hirschau/Oberpfalz, eine Prozesssteuerung für eine Hydrozyklonbatterie mit 150 mm-Hydrozyklonen entwickelt und großtechnisch eingeführt. Die Prozesssteuerung wird so geführt, dass die Hydrozyklone in der Nähe des optimalen Betriebspunktes arbeiten. Dieser optimale Betriebspunkt liegt am Übergang der Strangform des Hydrozyklonunterlaufs zur Schirmform. Vorteilhafterweise wird der Betriebszustand nur an einem Hydrozyklon gemessen und dann der Volumensplit für alle Hydrozyklone zentral geregelt.

Der Betriebszustand wird charakterisiert durch folgende Größen:

- Austragsform des Unterlaufs, gemessen mit Hilfe einer kapazitiven Sonde,
- Stromaufnahme der Hydrozyklonpumpe,
- Aufgabedruck am Einlauf der Hydrozyklone,
- Gegendruck am Drosselventil.

Die Hydrozyklonbatterie vereinigt alle Hydrozyklonüberläufe in einer geschlossenen Kammer, aus der eine Sammelleitung abgeht, in der ein Drosselventil installiert ist. Die den Betriebszustand kennzeichnenden Messgrößen (1 – 3) werden zu einem Prozessrechner geführt, der das Drosselventil (4) in der Sammelleitung der Hydrozyklonüberläufe sowie die Pumpendrehzahl (5) regelt. Bei hohen Feststoffkonzentrationen arbeitet der Hydrozyklon mit Strangaustrag. In diesem Zustand wird die Hydrozyklonbatterie nach einem vorgegebenen Zeitprogramm gedrosselt. Dadurch kommt es zu einer Veränderung des Volumensplits und zu einem verstärkten Austrag von Feststoff im Unterlauf. Um den Gesamtdurchsatz der Batterie zu stabilisieren, wird gleichzeitig die Pumpendrehzahl erhöht. Wenn der Sedimentpfropfen im konischen Teil der Hydrozyklone ausgepresst worden ist, tritt der Umschlag von Strangaustrag zu Schirmaustrag ein. Zu diesem Zeitpunkt schaltet die Regelung um und öffnet das Drosselventil so lange, bis ein Umschlag von Schirmaustrag zu Strangaustrag erfolgt. Dann beginnt der Regelzyklus von neuem mit der Drosselung des Oberlaufes.

Mit dieser Regelung konnte der Feststoffaustrag im Hydrozyklonunterlauf entscheidend gesteigert werden, so dass auf eine Vorabscheidung von Feststoff in einem 500 mm-Hydrozyklon künftig verzichtet werden kann.

**Effiziente Wasserkreisläufe bei der Nassaufbereitung mineralischer Rohstoffe –  
Beispiel aus der Kies- und Sandindustrie  
Bernd Stöckmann**

(Ciba Spezialitätenchemie Lampertheim GmbH, Water & Paper Treatment)

Zur Erzeugung hochwertiger Rohstoffe für die Bauindustrie oder für viele Bereiche der Kohle- und Erzaufbereitung stellen Waschverfahren unverzichtbare Verfahrensschritte dar.

Primär am Beispiel der Kies- und Sandgewinnung wird untersucht, welche Rahmenbedingungen die Effizienz des Wassereinsatzes bei diesen Prozessen beeinflussen und wie entscheidend der Einsatz von Flockungshilfsmitteln hierbei ist.

In der Kies- und Sandindustrie gilt der Einsatz von Flockungshilfsmitteln bei der Aufbereitung von Waschwasser als etabliertes Verfahren.

Flockungshilfsmittel sind in der Regel synthetische, organische Polyelektrolyte, die eine schnelle Sedimentation der abschlämmbaren Bestandteile bewirken.

Insbesondere bei der Klärung und Kreislaufführung von Waschwasser sind Flockungshilfsmittel dadurch zu wertvollen Hilfsmitteln geworden, die auch für schwierige Lagerstätten eine gleichbleibend hohe Kies- und Sandqualität ermöglichen.

Für einen wirtschaftlichen Einsatz von Flockungshilfsmitteln sind zahlreiche Faktoren maßgebend. Das beginnt bei der Auswahl des am besten geeigneten Produktes, beinhaltet eine entsprechende Löse- und Dosiertechnik und wird ergänzt durch die Ermittlung der günstigsten Dosierstellen.

Zusätzliche praktische Bedeutung erhalten Flockungshilfsmittel bei der mechanischen Entwässerung der Schlämme aus der Waschwasserklärung. Vorgestellt werden Verfahren zum effizienten Einsatz von Flockungshilfsmitteln beim Betrieb von Kammerfilterpressen, Siebbandpressen und Zentrifugen.

Betrieben, die bereits Flockungshilfsmittel einsetzen, soll eine einfache Checkliste helfen, den Einsatz von Flockungshilfsmitteln zu optimieren.

Betriebe, die künftig den Einsatz von Flockungshilfsmitteln planen, erhalten Hinweise zu Sachverhalten, die möglichst frühzeitig zu bedenken und ggf. mit dem Flockungshilfsmittelhersteller abzustimmen sind.

## **Optimierung der Wasserwirtschaft und des Reagenzien-Regimes für die Aufbereitung Wolfach unter umweltrechtlichen und wirtschaftlichen Aspekten** **Dr.-Ing. Jörg Sötemann**

(Sachtleben Bergbau Services GmbH, Grube Wolfach)

Die Sachtleben Bergbau Services GmbH betreibt in Wolfach eine Aufbereitungsanlage für die Industrieminerale Schwerspat und Flussspat. Die Roherze der Grube Clara werden hier im wesentlichen mittels Schwertrübescheidung und Flotation zu verkaufsfähigen Produkten veredelt. Daneben wird auch eine Trocknung sowie Mahlung mit Windsichtung betrieben. Die Abwässer der nasstechnischen Aufbereitungsprozesse werden nach Stilllegung des Bergeteiches (bereits 1981) einer Abwasserbehandlungsanlage zugeführt und dort mittels Flockung und Sedimentation in speziellen Kronenberger-Eindickern von Schwebstoffen gereinigt. Der Dickschlamm wird in Kammerfilterpressen verpresst.

Als Vorfluter für die Wasserentnahme wie auch die Abgabe des gereinigten Abwassers dient ein Werkskanal an der Kinzig. Im Rahmen neu zu beantragender Genehmigungen ergeben sich für einen Direkteinleiter eine Reihe von umweltrechtlichen Anforderungen und Auflagen. Im wesentlichen sind dies Einleitbedingungen, die aus dem Wasserhaushaltsgesetz oder den Anforderungen für Fischgewässer resultieren. Weitere Kriterien ergeben sich speziell für die Auswahl von Flotationsreagenzien und Flockungsmitteln aus den Vorschriften zur Handhabung von Gefahrstoffen, zur Lagerung wassergefährdender Güter oder der Löschwasser-Rückhalte-Richtlinie. Erschwerend kommt hinzu, dass die Verwaltungsvorschrift für Abwässer aus Erzaufbereitungsanlagen außer Kraft gesetzt wurde, so dass die Aufsichtsbehörden hinsichtlich Stand der Technik auf eigene Einschätzungen angewiesen sind. Auch die in der EU derzeit diskutierte BAT-Studien für Aufbereitungsabgänge sind noch nicht juristisch verankert.

Zusätzlicher Optimierungsbedarf für das Reagenzienregime ergibt sich auch aus den immer schärfer werdenden Produktanforderungen der Kunden, die insbesondere bei der Flussspat-Flotation zu immer engeren Spezifikationsgrenzen führen. Als ein Beispiel sei hier die Forderung nach Flotationsmittelrestgehalten im Konzentrat von möglichst unter 200 ppm genannt. Nur durch fortlaufende Optimierung des gesamten Reagenzienregimes lässt sich dies gewährleisten. Um marktfähig zu bleiben, ist daneben jedoch auch die Wirtschaftlichkeit nicht aus den Augen zu verlieren, da bessere Produktqualitäten zwar gefordert, aber selten entsprechend gut honoriert werden. Zunehmend ist auch der Konkurrenzdruck durch außereuropäische, insbesondere chinesische Produzenten auf dem Inlandsmarkt zu spüren.

Der Vortrag beschreibt kurz die Prozesse und Wasserwirtschaft der Aufbereitung in Wolfach, beleuchtet die zum Teil sehr widersprüchlichen Kriterien bei der Auswahl und Optimierung von Flotations- und Abwasser-Reagenzien anhand ausgewählter Beispiele und gibt einen Einblick in die aktuellen rechtlichen Grundlagen.

## **Abfallarme Verwertung von Stahlwerksstäuben**

**Dipl.-Ing. Chia-Cheng Wu, Dr.-Ing. Jörg Kähler, Prof. Dr.-Ing. Eberhard Gock**  
(Institut für Aufbereitung und Deponietechnik, TU Clausthal)

Die beim Einschmelzen von Schrott in Elektroöfen anfallenden Filterstäube enthalten 42% Eisenoxide, 6% Bleioxid, 5% Alkalichloride und etwa 47% Zinkoxid, das zu einem beträchtlichen Anteil als Franklinit ( $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ ) gebunden vorliegt. Die hydro-metallurgische Aufarbeitung ist wegen der zum Aufschluss des Franklinit erforderlichen hohen Reagenzüberschüsse unwirtschaftlich. Bei der pyrometallurgischen Aufarbeitung werden nach dem derzeitigen Stand der Technik der Eiseninhalt verschlackt und die Alkalichloride unerwünscht in das Zinkprodukt verschleppt. Ziel des vorliegenden Verfahrensvorschlages zur Aufarbeitung franklinithaltiger Stahlwerksstäube ist daher die Erzeugung verwertbarer Zink- und Eisenkonzentrate.

Versuche zur Teilreduktion von synthetischem Franklinit mit Gasmischungen aus CO und  $\text{CO}_2$  bei  $750^\circ\text{C}$  haben ergeben, dass nicht wie erwartet Magnetit und Zinkoxid, sondern ein Zinkferrit mit der Zusammensetzung  $\text{Zn}_{0,4}\text{Fe}_{2,6}\text{O}_4$  oder zinksubstituierter Wüstit jeweils neben freiem Zinkoxid entstehen. Das maximale Zinkausbringen bei der anschließenden Laugung ist demnach auf etwa 70% begrenzt, und der Zinkgehalt im Eisenkonzentrat beträgt etwa 13%.

Die vollständige Reduktion von synthetischem Franklinit ist im CO-Gasstrom möglich. Infolge des Boudouard-Gleichgewichtes, das die Carbidbildung begünstigt, kommt der Reaktionstemperatur und der Verweilzeit der Gasphase besondere Bedeutung zu. Bei  $950^\circ\text{C}$  und geringer Gasverweilzeit bilden sich feinkörniges Eisen mit Spuren von Eisencarbid und Zink ( $\leq 900$  ppm) sowie metallischer Zinkdampf, der mit einem Ausbringen von  $>99\%$  aus dem Reduktionsgas kondensierbar ist. Mit abnehmender Temperatur und zunehmender Gasverweilzeit steigt der Anteil an Eisencarbid im reduzierten Eisen, und das Zinkausbringen sinkt in der Gasphase zugunsten der Bildung von freiem Zinkoxid. Bei  $550^\circ\text{C}$  ist keine Verdampfung von Zink mehr feststellbar. Das Reduktionsprodukt enthält Eisencarbid, Wüstit und freies Zinkoxid, das mit 96%iger Ausbeute basisch gelaugt werden kann. Der Restzinkgehalt in der Eisenfraktion beträgt dann weniger als 6000 ppm. Als Alternative zur Laugung des Zinkoxids bietet sich die Reduktion des Zinkoxids durch das erzeugte Eisen und Eisencarbid im Vakuum bei  $750^\circ\text{C}$  an. Bei einem Zinkausbringen von  $>99,9\%$  sinkt der Zinkgehalt in der Eisenfraktion auf  $\leq 70$  ppm. Bei  $450^\circ\text{C}$  wird Franklinit nur teilreduziert und bleibt als Zinkferrit mit der ungefähren Zusammensetzung  $\text{Zn}_{0,7}\text{Fe}_{2,3}\text{O}_4$  zurück.

Versuche mit realen Filterstäuben führen zu folgendem Verfahrensvorschlag: Der pelletierte Filterstaub wird in der 1. Stufe im Luftstrom bei  $750^\circ\text{C}$  vorbehandelt, wobei die Blei- und Alkalichloridanteile vollständig verdampft werden. Die verbleibenden Zinkoxid- und Franklinitphasen werden anschließend in einer 2. Stufe bei  $950^\circ\text{C}$  im CO-Gasstrom (z.B. Abgas) zu Zink und Eisen reduziert. Als Reaktor dient ein Sinterband mit zwei Zonen unterschiedlicher Temperaturen und Gasführungen. Das Zink geht als Dampf in das Abgas und wird in einer Vorlage als Rohzink kondensiert. Der Rückstand enthält je nach eingesetzter Ausgangszusammensetzung der Filterstäube bis zu 90% Eisen mit einem Zinkgehalt unter 0,1%, so dass die Verwertung des Eisens gewährleistet ist. Der Vorteil des Verfahrens im Vergleich zum herkömmlichen Wälzprozess liegt in der Einsparung von Schlackebildnern, der direkten Gewinnung von metallischem Rohzink und dem hohen Verwertungsgrad.

## **Innovatives Schrottcleaning für Kupferlegierungen zur Erweiterung des Einsatzspektrums von Schrotten**

**Prof. Dr. Michael Stelter, Dipl.-Ing. Krystof Jablonski und Dr. Gunter Morgenstern**  
(TU Bergakademie Freiberg, Institut für NE-Metallurgie und Reinststoffe)

Das Forschungsvorhaben wird im Rahmen des Förderprogramms „Forschung für die Umwelt – Integrierter Umweltschutz in der Metallerzeugung“ des Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) durchgeführt.

Ziel des Forschungsvorhaben ist es, den Anteil der Schrotte, die am Markt erhältlich sind, in größerem Umfang ohne Verhüttungsprozess wieder dem Wirtschaftskreislauf zuzuführen. Durch den Wegfall des Verhüttungsprozesses entstehen Energieeinsparungen und Senkung der Transportkosten von mehr als 50%. Da bei der Schrottverarbeitung die Legierungsbestandteile in der Kupferlegierung wie aluminiumhaltige Bronzen (zu denen auch Schiffspropellerlegierungen gehören) erhalten bleiben, entfallen die für die Verhüttung typischen Umweltbelastungen durch Schwermetalle. Die typische Legierung enthält neben Kupfer ca. 9 % Aluminium, 4,5 – 5 % Nickel, 3,5 % Eisen und 2 % Mangan. Im Rahmen des Projektes wird beispielhaft eine Technologie zur Reinigung und genaueren Klassifizierung des Schrottes zur Propellerlegierungsherstellung untersucht und ein Verfahren zur Verarbeitung von verunreinigtem Kupferschleifstaub entwickelt.

Die Verarbeitung von Schrott in der Gießereitechnik ist von mehreren Faktoren abhängig, wie z. B. Ofengröße, Schmelzart, usw. Bisherige Forschungsergebnisse über die Möglichkeiten der selektiven Entfernung von störenden Elementen aus Schrott, die im Rahmen dieses Projektes untersucht werden, und die praktischen Erfahrungen im Gießereibetrieb sind Voraussetzung für die Erweiterung des Einsatzspektrums von Schrotten, die zur Verarbeitung zu hochwertigen Legierungen eingesetzt werden können. Die selektive Raffination der Schmelze in der Gießerei mit unkomplizierten technologischen Verfahren ist ein weiteres Ziel dieser Untersuchungen.

In der Gießerei selbst fallen durch die Bearbeitung von Gussstücken Schleifstäube an, deren Metallinhalte zum großen Teil den bearbeiteten Legierungen entsprechen. Durch magnetische Trennung lässt sich der Anteil unerwünschter, schädlicher Elemente (z. B. Silizium und Zirkonium), um fast 80 % reduzieren. So vorbereitetes Material wird durch eine Lanze mittels einer speziell konstruierten Vorrichtung direkt in die Schmelze eingeblasen. Anschließend wird eine Gasraffination durchgeführt, wobei es zu einer intensiven Durchmischung der Schmelze kommt. Somit besteht die Möglichkeit, den Schleifstaub ohne Verhüttungsprozess und auf niedrigerem Aufbereitungsniveau wieder dem Wirtschaftskreislauf zurückzuführen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden direkt bei der Mecklenburger Metallguss GmbH zur Anwendung kommen und können Anlass sein, auch in anderen Schwermetallgießereien verstärkt Schleifstaub bzw. Späne einzusetzen.

**Leichtgranulate aus Mauerwerkbruch**  
**Dipl.-Ing. Matthias Reinhold und Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller**  
(Bauhaus-Universität Weimar)

Die Wiederverwertung von Bauabfällen auf hohem Qualitätsniveau, die Substitution hochwertiger Primärrohstoffe sowie der Aufbau eines nachhaltigen Baustoffkreislaufs sind nur durch hochwirksame Aufbereitungsverfahren zu erreichen. Die wichtigsten mechanischen Aufbereitungsschritte sind dabei die Zerkleinerung und die Klassierung. Entsprechend der granulometrischen und physikalischen Anforderungen verschiedener Verwertungsstrategien können die Eigenschaften der klassierten Fraktionen variiert werden. Verursacht durch die zumeist feinststoffreichen Sieblinien der Zerkleinerungsprodukte ist die gemeinsame Verwertung der gesamten zerkleinerten Bauabfallcharge in hochwertigen Anwendungen kaum möglich. Daher wird eine KorngröÙenselektive Verwertung einzelner Siebfraktionen zur Einstellung bestmöglicher Materialeigenschaften für die verschiedenen Einsatzgebiete angestrebt. Es sollen Methoden zur Verwertung von Mauerwerkbruch, insbesondere der Sande von Porenbetonabfällen und von Ziegelbruch vorgestellt werden.

Bei der Zerkleinerung von Porenbeton in den bekannten Brechaggregaten entsteht zum überwiegenden Teil Sand. Außerdem können mit geringerer Ausbeute gröÙere Fraktionen gewonnen werden, deren Kornform kantig gebrochen und deren Oberflächen durch die hohe Porosität des Ausgangsmaterials zerklüftet erscheinen. Die einzelnen Fraktionen weisen KorngröÙenabhängig hohe Porositäten auf, woraus sich die Werkstoffeigenschaften geringe Rohdichte und Festigkeit, geringe Wärmeleitfähigkeit sowie hohes Wasseraufnahmevermögen ableiten. Bei der Verwertung heterogenen Mauerwerkbruchs können diese Materialeigenschaften in Kombination mit dem oft erhöhten Sulfatgehalt im Porenbeton die Verwertungsmöglichkeiten der gesamten Charge in Frage stellen. Daher wird Porenbeton getrennt erfasst oder aussortiert. Für die aufbereitete Grobfraktion derartig sortenrein erfassten Porenbetons bzw. für Produktions- und Verarbeitungsabfälle existieren bereits eingeführte Verwertungswege, welche überwiegend das hohe Saugvermögen des Materials für Produkte wie Tierstreu oder Ölbinder nutzen. Die Sandfraktion kann teilweise als Sandersatz bei der Produktion von Porenbeton verwertet werden. Die Einsatzpotentiale der genannten Verwertungswege sind mengenmäßig jedoch begrenzt, so dass weitere Verwertungsmöglichkeiten untersucht wurden, welche nach Möglichkeit die günstigen physikalischen Eigenschaften des Porenbetons erhalten und mit denen anderer Bauabfälle, wie Mauerwerkssand, kombinieren.

Den erarbeiteten Verwertungsvarianten gemeinsam sind die Art der hergestellten Produkte und die Ausbildung der Festigkeit durch einen thermischen Schritt im Drehrohrofen. In drei unterschiedlichen Lösungsansätzen wurden Methoden zur Herstellung leichter und fester Granulate im KorngröÙenbereich 4 - 8 mm zum Einsatz als Leichtzuschlag für Beton oder konstruktive Leichtschüttungen entwickelt.

- **Variante 1: Coating von Porenbeton mit Ziegelmehl**

Durch diesen Lösungsansatz wird die zerklüftete Oberfläche der Fraktion 4 – 8 mm des gebrochenen Porenbetons mit einer festigenden und dichtenden Schicht aus Gesteinsmehl, welches durch Aufmahlen von Ziegelbrechsand hergestellt wurde, egalisiert. Durch einen nachfolgenden thermischen Prozess wird die Coatingschicht fest auf die Oberfläche des Porenbetonkerns gebrannt. Die im Ausgangsmaterial enthaltenen Poren bleiben weitgehend erhalten. Das Coating des Porenbetons erfolgt auf einem Granulierteller. Mit dem Verfahren kann ein Leichtzuschlag mit einer Rohdichte von 1,1 g/cm<sup>3</sup> und einer Wasseraufnahme von etwa 25 M.-% hergestellt werden. Die Herstellungstechnologie ist relativ einfach und stabil. Die bei der

Porenbetonaufbereitung anfallenden Mengen der Fraktion 4 – 8 mm betragen allerdings nur etwa 20 – 25 % des Ausgangsgutes, weshalb weitere Varianten zur Verwertung des hohen Sandanteils entwickelt wurden.

- **Variante 2: Aufbaugranulierung von Porenbetonsand und Coating mit Ziegelmehl**

Der bei der Aufbereitung von Porenbeton anfallende Sand wird durch Aufbaugranulierung bis zur gewünschten Korngröße agglomeriert. Zur Verbesserung der Festigkeit und zur Verringerung der Wasseraufnahme wird auf den Porenbeton eine Coatingschicht aufgebracht, die durch einen nachfolgenden thermischen Prozess verfestigt wird. Der beträchtliche Anteil des bei der Zerkleinerung von Porenbeton anfallenden Sandes kann mit dieser Variante ohne weitere Aufbereitung verwertet werden. Die Rohdichte des Materials ist mit  $1,6 \text{ g/cm}^3$  vergleichsweise hoch. Die Wasseraufnahme liegt mit  $\leq 10 \text{ M.-%}$  im für Leichtzuschläge üblichen Bereich. Die Herstellungstechnologie beruht auf zweifacher Granulierung und ist daher aufwendiger und störanfälliger als die der anderen Varianten.

- **Variante 3: Aufbaugranulierung aus den aufgemahlten und gemischten Rohstoffen**

Mit dieser Variante wurde eine Methode zur Herstellung mineralischer Leichtgranulate mit variabel einstellbaren bautechnischen Eigenschaften entwickelt. Die bei der Aufbereitung der untersuchten Bauabfälle anfallenden Sande werden soweit aufgemahlen, dass sie ohne Zugabe von Bindemitteln auf dem Granulierteller agglomeriert werden können. Beim Mischen der Komponenten wird ein Blähhilfsmittel zugegeben. In einem nachfolgenden thermischen Prozess wird das Granulat aufgebläht und verfestigt. Durch die Aufmahlung entstehen homogene Ausgangsstoffe mit guter Granulierfähigkeit, was zu einem stabilen Herstellungsprozess führt. Die Granulate besitzen sehr gute bautechnische Eigenschaften und können durch die Dosierung des Porosierungsmittels an die gestellten Aufgaben angepasst werden. Die Kornrohdsichten nehmen Werte zwischen  $0,5$  und  $1,8 \text{ g/cm}^3$  an. Die Wasseraufnahmen liegen zwischen  $2,3$  und  $15 \text{ Masse-%}$ . Diese Baustoffkenngrößen sind denen anderer mineralischer Leichtzuschläge ebenbürtig.

In der Phase der Methoden- und Rezepturenentwicklung wurden die bautechnischen und die verfahrenstechnischen Parameter in einem iterativen Prozess untersucht und optimiert. Zur Charakterisierung der hergestellten Granulate kam außer den konventionellen Verfahren zur Bestimmung der Kornrohdsichte, der Wasseraufnahme, der Kornfestigkeit sowie der Korngrößenverteilung auch ein optisches Korngrößen- und Kornformanalysengerät zum Einsatz. Neben der Einsparung manueller Arbeit und der Verringerung subjektiver Messfehler wurde aufgrund der geringen mechanischen Beanspruchung auch das Vermessen der mechanisch wenig stabilen Grüngranulate möglich. Dadurch konnte die Kornform- und Korngrößenänderung der Granulate durch das Coating sowie die Wirkung der unterschiedlichen Porosierungsmittelarten und -dosierungen untersucht werden.

Die optimierten Granulate der Varianten 1 und 3 sowie ein Blähton als Referenzmaterial wurden bezüglich ihrer Zuschlageigenschaften nach DIN EN 1097, DIN 4226-2 und DIN 52104-N geprüft und in einem halbtechnischen Versuch zur Betonwarenherstellung in einem Betonwerk eingesetzt. In der Tabelle sind die bei der Zuschlagprüfung ermittelten Parameter zusammengestellt. Die Versuchsbetone wurden auf Festigkeit, Rohdichte, Frostbeständigkeit und Wärmeleitfähigkeit geprüft und mit den mit Blähton hergestellten Referenzbetonen verglichen. Als Ergebnis des Applikationsversuchs

stehen Produktmuster zur Verfügung, welche den Anforderungen an Leichtbeton - Mauersteine gerecht werden.

**Tabelle: Parameter der Granulate**

	Variante 1	Variante 3	Blähton
Brenntemperatur [°C]	1250	1250	1150
Kornrohichte [kg/m <sup>3</sup> ]	1106	780	700
Schüttdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	644	540	330
Wasseraufnahme [M.-%]	26	14	27
Frostbeständigkeit [M.-%]	0,04	0,03	n.b.
Kornfestigkeit [kN]	24,21	12,72	n.b.
Raumbeständigkeit [M.-%]	0,06	0,33	n.b.

## **Klaubung – ein „altes“ Verfahren in neuen Anwendungsgebieten**

**Prof. Dr.-Ing. Thomas Pretz und Dipl.-Ing. Stefan Mutz**

(Institut und Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe (I.A.R.),  
RWTH Aachen)

Unter dem Begriff Sortieren versteht man in der Aufbereitungstechnik das Trennen eines Stoffgemisches in zwei oder mehrere Produkte entsprechend unterschiedlicher stofflicher Eigenschaften. Das älteste Sortierverfahren, das „Klauben“ von Hand, wird aufgrund des beträchtlichen personellen Aufwandes und den strengen Hygienevorschriften an den Arbeitsplätzen in Europa immer seltener zur Separation verschiedenster Stoffgemische verwandt. Grundsätzlich lassen sich mit der manuellen Sortierung Trennaufgaben lösen, die maschinell bislang nicht zu realisieren waren. Das Klauben ist das eines der trennschärfsten Aufbereitungsverfahren.

Die Fortschritte in der Computer- und Sensortechnik ermöglichen heute jedoch den Aufbau automatischer Klaubeeinrichtungen, deren Leistungsfähigkeit weit über die Möglichkeiten des händischen Klaubens hinausgeht. Das automatische Klauben wird deshalb zukünftig nicht nur bei den schon gebräuchlichen Anwendungen wie die Altglassortierung nach Farben, sondern auch bei der Sortierung komplexer Materialgemische wie z.B. geshredderten Alautos Anwendung finden. Die „Automatische Klaubung“, unterstützt durch leistungsstarke Rechnersysteme und neuartige Sensorentechnik, gewinnt also in vielen Bereichen der Aufbereitung mehr und mehr an Bedeutung.

Um die Anwendung der automatischen Sortierverfahren auf die komplexen Stoffströme des Recyclings einzubinden, besteht allerdings noch ein erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Der Wunsch der Anwender ist es, immer umfangreicher werdende Massenströme mit immer größerer Materialvielfalt zu sortieren. Gleichzeitig steigt aber auch der Anspruch der Genauigkeit des Erkennens und Austragens der Einzelkörner dieses Massenstromes.

Dieser Vortrag bildet das Verfahren der Handklaubung vor den aktuellen Anwendungsgebieten der Aufbereitung ab und spannt somit den Bogen von einem längst in Vergessenheit geratenem Verfahren bis zum heutigen Stand der Technik im Bereich der automatischen Klaubung. Neben den möglichen Technologien werden Einsatzgebiete und zukünftige Potentiale dieser Technologie aufgezeigt.

## Ausgewählte Poster

### **Mechanische Aktivierung und mechanisches Legieren von Metallen**

**Dr.-Ing. Edith Reinsch, Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Husemann**

(TU Bergakademie Freiberg, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und  
Aufbereitungstechnik)

**Prof. Dr. rer. nat. habil. Hanspeter Heegn**

(UVR-FIA GmbH Freiberg)

Eine mechanische Beanspruchung von Feststoffen bewirkt in der Regel zunächst reversible elastische Deformationen und bei stärkerer Intensität auch irreversible inelastische Veränderungen. Dabei kommt es zu Strukturdefekten im Kristallgitter und zum Bruch von Partikeln, wobei die Bruchflächen eine erhöhte Reaktivität aufweisen. Den Gesamtkomplex der erzeugten Stoffänderungen bezeichnet man als mechanische Aktivierung. Ein mit der Aktivierung vergleichbarer Prozess, bei dem durch mechanische Beanspruchung im Festkörper komplexe Stoffänderungen bewirkt werden, ist das mechanische Legieren.

Das mechanische Legieren entwickelte sich seit den ersten grundlegenden Untersuchungen von Benjamin in den 60iger Jahren des vorigen Jahrhunderts sehr rasch. Es ist ein Verfahren, das die Herstellung neuer Werkstoffe durch intensive mechanische Beanspruchung von Pulvermischungen ermöglicht. Prozess-bestimmend sind die Verformung, der Bruch und das Verschweißen von Partikeln. Durch die mechanische Beanspruchung können Legierungsstrukturen erzeugt werden, die durch einfaches Mischen oder Schmelztechnologien nicht erreicht werden.

Zum mechanischen Legieren existiert eine umfangreiche Literatur, die sich hauptsächlich auf die Beschreibung der verbesserten Eigenschaften spezieller Pulvermischungen, die Kinetik der Phasenneubildung und die Aufklärung der Vorgänge an den Phasengrenzen konzentriert, während den erforderlichen Beanspruchungsvorgängen bisher erst in letzter Zeit mehr Beachtung geschenkt wird. Der Charakter der mechanischen Beanspruchung wird von mehreren Faktoren, wie z. B. von der Art, der Intensität und der Geschwindigkeit der Beanspruchung sowie der Anzahl der Beanspruchungsereignisse bestimmt.

Im vorliegenden Poster wird über erste im Rahmen eines DFG-Projektes erhaltene Untersuchungsergebnisse zu stofflichen Veränderungen beim mechanischen Legieren in Abhängigkeit von den Beanspruchungsbedingungen und der Energieabsorption berichtet. Für die Untersuchungen werden eine Scheibenschwingmühle und eine Modellapparatur eingesetzt, die nach dem Kugelwälmühlenprinzip arbeitet. In dieser Modellmühle können Beanspruchungsintensität und Beanspruchungsgeschwindigkeit getrennt variiert werden. Die spezifische Energie wird durch Messung von Drehmoment und Drehzahl an der Antriebswelle bestimmt. Um Reaktionen der Mahlprodukte mit dem Umgebungsmedium zu verhindern, werden die Mahlungen unter Schutzgas (Argon) durchgeführt.

Als Modellstoffsysteme werden Eisen, Titan, Kupfer und die entsprechenden Zweistoffgemische Fe-Ti, Ti-Cu und Fe-Cu untersucht.

**Pilotanlage zur Aufbereitung von Bremsbelägen**  
**Dr. Frank Birkeneder, Dr. Christoph Cichos, Gerhard Kretschmer**  
(UVR-FIA GmbH Freiberg)

Nach Feststellung namhafter Bremsbelaghersteller sind mit der Zumischung von Recyclingreibbelag zur Neuware keine Qualitätsverluste bei der Bremsbelagproduktion verbunden.

Damit wird die Möglichkeit zur Rückgewinnung des teuren Reibgranulats aus Produktionsabfällen bzw. aus Altbremsbelägen wirtschaftlich sinnvoll.

Aufbauend auf vorhandenen Erfahrungen bei der Aufbereitung von Produktionsabfällen für einen sächsischen Bremsbelaghersteller wurde von der UVR-FIA GmbH 1997 eine Pilotanlage zur Aufbereitung von gebrauchten Altbremsbelägen errichtet, die Technologie dabei verbessert und bis zum Jahre 2000 unter Produktionsbedingungen betrieben. Verarbeitet wurden Scheiben- und Trommelbremsbeläge.

**Zielstellung für die Aufbereitung war:**

- Gewinnung eines absolut metallfreien Reibgranulats mit einer vorgegebenen engen Korngrößenverteilung
- Verkaufsfähige Stahl- und Buntmetallprodukte

**Hauptverfahrensstufen**

- Vorzerkleinerung (Zerkleinerung I)
- Zweistufige Siebklassierung (Klassierung I und II)
- Magnetscheidung (Sortierung I)
- Nachzerkleinerung (Zerkleinerung II)
- Zweifache Klassierung (Klassierung III und IV)
- Feinzerkleinerung
- Klassierung (Klassierung V)
- Buntmetallabtrennung aus Fertigprodukt (Luftherd, Sortierung II)

## **Recycling von Grafit-Tiegeln** **Dr.-Ing. Albrecht Tolke**

(UVR-FIA Verfahrensentwicklung - Umweltschutztechnik - Recycling GmbH Freiberg)  
Grafittiegel und weitere Grafit-Formteile aus der Züchtung von Einkristallen, insbesondere von Halbleiter-Silizium, können nur begrenzte Zeit eingesetzt werden. Sie werden bisher danach deponiert. Um das Grafit-Material durch Recycling weiter nutzen zu können, erfolgten Untersuchungen zu den durch Gebrauch auftretenden Verunreinigungen, zur Zerkleinerung, zur Sortierung mittels Dichtesortierung, Flotation und Magnetscheidung und zur Nutzung der Recycling-Grafit-Produkte.

Als Verunreinigungen treten vor allem Silizium, Silizium-Carbid,  $\text{SiO}_2$  verschiedener Varietäten sowie die Dotierungselemente, wie Antimon, Arsen, Bor und Gallium auf. Die Grobzerkleinerung gelingt in Backen- und Flachkegelbrechern. Für die Grobmahlung, z. B. für eine nachfolgend Sortierung sind Prallmühlen geeignet, zur Feinmahlung mehrstufige Kugelmühlen.

Gute Sortierergebnisse wurden erreicht mittels Herdsortierung für Korngrößen 0 - 1 mm bzw. 0,16 - 1 mm und Flotation des Anteils  $< 0,16$  mm. Die Produkte können auf  $< 1$  % Glührückstand gereinigt werden. Die Kosten für die in beiden Fällen nassarbeitenden Verfahren mit anschließender Trocknung sind jedoch hoch.

Wirtschaftlich günstiger erscheint die Nutzung des unsortierten Grafits für Fälle, bei denen die enthaltenen Verunreinigungen nicht stören:

- Der Einsatz in Feuerfestmaterialien erfordert ein enges Kornspektrum von 0,1 bis 0,4 mm, was die Kosten stark erhöht.
- Die Nutzung als Adsorbens wurde getestet. Bei der Aufmahlung  $< 63 \mu\text{m}$  ist aber die Sorptionskapazität zu klein im Vergleich mit Aktivkohlen. Deren Erhöhung erforderte einen sehr hohen Energieaufwand.
- Auf  $< 6$  mm gebrochenes Material kann an Hersteller von Schlichten für das Gesenkschmieden und für Gießformen zur Weiternutzung geliefert werden.
- In Kugelmühlen mehrstufig fein gemahlener Grafit (z. B.  $< 63 \mu\text{m}$ ) lässt sich in Grafit-Farben verwenden.

Die jährlich anfallenden Mengen sind relativ gering. Im Einzugsbereich Freiberg liegen bei nur max. 10 t/a. Hierfür ist eine gesonderte Anlage nicht sinnvoll. Unter Nutzung der Ausrüstung der UVR-FIA GmbH kann bei Sammlung größerer Chargen wirtschaftlich gearbeitet werden, wenn ein kostendeckender Preis zu erzielen ist.

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

Die Bauweise der abzureißenden Gebäude, das sind derzeit vorwiegend Gebäude aus dem 19. und Beginn des 20. Jahrhunderts, bestimmt die stoffliche Zusammensetzung des Mauerwerksabbruchs. Sortieranaysen von Mauerwerksabbruch zeigen, dass die stoffliche Zusammensetzung der heute abgerissenen Gebäude im Wesentlichen gleiche Bestandteile enthalten, diese aber zu sehr unterschiedlichen Anteilen. Hauptbestandteile sind Ziegel mit 31 bis 79 % , Mörtel mit 14 bis 49 % und Beton mit 1 bis 27 %. Ziegelanteile > 80 % erreicht man bei Dacherneuerungsarbeiten, selektivem Rückbau bzw. direkt aus Produktionsabfällen. Die Verwertungsquote und das Verwertungsniveau des Mauerwerksabbruchs hängen hauptsächlich von der Aufbereitung des Abbruchmaterials ab. Als Zielfunktion steht dabei für eine hochwertige Verwertung eine selektive Zerkleinerung, um die Ziegelbestandteile sortenrein zu gewinnen.

Für die Grobfraktionen > 8 mm stellt die Herstellung von Zierkies in einer Trommelmühle ohne Mahlkörper, derzeit untersucht im Chargenbetrieb, eine diesbezügliche Lösungsvariante dar. Entsprechend der auf einem Recyclingplatz nach der Grobzerkleinerung i.d.R. mit Prallbrechern vorliegenden Zwischenprodukten wurden zunächst 2 Herstellungstechnologien untersucht:

Technologie 1: Behandlung von vorzerkleinertem Mauerwerksabbruch z.B. Körnung 0/63 mm in der Trommelmühle und anschließende Klassierung in gewünschte Kornklassen und

Technologie 2: Klassierung des vorzerkleinerten Mauerwerksabbruchs in Kornklassen beispielsweise < 8, 8/16, 16/31,5 und 31,5/63 mm und dann Behandlung der Kornklassen > 8 mm jeweils separat in der Trommelmühle.

Nach einer Behandlungsdauer von 30 bis 45 min entsteht in beiden Fällen ein ästhetisch aussehender sortenreiner Ziegelkies mit abgerundeter Kornform. Zur Charakterisierung der Kornform wird der Kennwert Sphärizität herangezogen, der für den Kreis den Wert 1 und für eine Ellipse mit  $D : d = 2,5 : 1$  einen Wert von 0,851 besitzt. Die Ermittlung erfolgt mit dem photooptischen Partikelanalysegerät HAVER-CPA 4. Dabei wird das Schattenbild der Teilchen aufgenommen und bildanalytisch die Korngröße und Kornform ausgewertet.

Die Produktqualität hinsichtlich der Kornform unterscheidet sich für die beiden Technologievarianten nur unwesentlich. Die erzeugte Produktmenge in den einzelnen Kornklassen bezogen auf die Menge der Kornklasse im Mühlenaufgabegut ist ebenfalls adäquat. Die absolute Gesamtmenge an „Abrieb“ < 8 mm bewegt sich dabei zwischen 55 und 70 % bei Ziegelanteilen > 80 % im Abbruchmaterial und hängt im Wesentlichen von dessen Eigenschaften ab. An den Abbruchziegeln anhaftende Mörtelreste werden durch die Behandlung in der Mahltrommel entfernt. Mit dieser einfachen Technologie ist es möglich, aus Mauerwerksabbruch ein hochwertiges Produkt mit einer Ausbeute von 30 bis 45 % zu erzeugen, das als Dränageschüttung und/oder als Zierkies für die Gartengestaltung eingesetzt werden kann. Ein erster Feldversuch bestätigt diese Aussage.

## **SIMUREC – eine Software für die Planung und den Betrieb von Abfall – Aufbereitungsanlagen**

**Prof. Dr.-Ing. Thomas Pretz, Dipl.-Ing. Christoph Beyer**

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

Aufgrund der vielfältigen Erfahrungen im Bereich der Planung und Bemessung von Aufbereitungsanlagen für feste Abfallstoffe bestand am Institut und Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe der RWTH Aachen (I.A.R.) der Wunsch, ein Software-Tool zu entwickeln, welches die grundlegenden Vorgänge des Anlagen-Engineerings unterstützen und erleichtern kann. Dabei kommt der Stoffstrombeschreibung des zu behandelnden Abfalls eine besondere Aufmerksamkeit zu. Eine hinreichend genaue Beschreibung der Rohstoffcharakteristika, die auf einer entsprechend abgesicherten Probenahme sowie einer ausreichend detaillierten Analytik beruht, ist eine unbedingte Voraussetzung für aussagekräftige Simulationsergebnisse.

Die Stoffstrombeschreibung der am I.A.R. geschaffenen Modellbibliothek **SimuRec** basiert auf einem 12 Stoffgruppen umfassenden Stoffgruppenkatalog, der einen Kompromiss zwischen detaillierter Differenzierung stofflicher Eigenschaften und einem möglichst kompakten und damit zeitextensiven Rechenmodell darstellt. Jede Stoffgruppe wiederum ist mit 15 Parametern belegt, die im Modell bequem vom Benutzer editiert werden können und neben den üblichen Parametern wie Glühverlust, Wassergehalt und Brennwert weitere verfahrenstechnisch relevante Größen wie die stoffgruppenspezifische Korngrößenverteilung beinhalten. Mit den in der Modellbibliothek implementierten verfahrenstechnischen Modellblöcken können vom Benutzer bequem mittels „drag and drop“ alle elementaren Grundtechniken der Aufbereitung wie Klassieren, Sortieren und Zerkleinern modellhaft abgebildet werden. Die Programmbibliothek bedient sich dabei semi-empirischer Modelle, die zum einen aus der Modellierung der Aufbereitung mineralischer Rohstoffe entlehnt sind, zum anderen auf einer Anzahl detaillierter Anlagenbilanzierungen, welche vom Institut durchgeführt wurden beruhen.

Ein weiterer Bereich, in dem sich die Modellbibliothek von einer herkömmlichen Rechnung zur Anlagenauslegung unterscheidet, ist der dynamische Aspekt der Simulation. So wird die Verfahrenstechnik der zu simulierenden Anlage zeitabhängig nachgefahren, was eine Abbildung von Speicherfunktionen einzelner Aggregate, Fördervorgängen, Verschmutzungseinflüssen und Standzeiten von wartungsintensiven Zerkleinerungsaggregaten möglich macht.

Die dynamische Simulationsumgebung ermöglicht auch die Einbindung eines Modells für die am Institut bereits in der Vergangenheit erfolgreich modellierte mechanisch-biologische Abfallbehandlung, da diese nur durch zeitabhängige Prozesse zu beschreiben ist. Darüber hinaus kann das Stromaufnahmeverhalten von Aufbereitungsaggregaten bei entsprechender Datenlage in das Anlagenmodell implementiert und somit optimale Betriebspunkte mittels Simulation ermittelt werden. An zwei Beispielen aus dem Bereich der Aufbereitung von Leichtverpackungen soll das Potential der Software hinsichtlich der dynamischen Simulation zur Auslegungsplanung und Betriebsoptimierung dokumentiert werden.

## **Aufbereitung von Müllverbrennungsschlacke in Hinblick auf den technischen Nutzen**

**Dipl.-Ing. Alexander Khoury, Dipl.-Ing. Christian Satlow, Prof. Dr.-Ing. Thomas Pretz**  
(Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe, RWTH Aachen)

Derzeit stehen in Deutschland 57 Müllverbrennungsanlagen (MVA), drei Hausmüll-Pyrolyseanlagen und eine Vergasungsanlage mit einer Kapazität von ca. 14 Mio. t/a Siedlungsabfällen. Daneben werden noch 29 MBA mit einem Gesamtdurchsatz von ca. 1,7 Mio. t/a betrieben. Ab Mitte 2005 wird das Aufkommen an Restabfall zur thermischen Behandlung nach Schätzungen von derzeit 11 Mio. t/a auf ca. 24 - 26 Mio. t/a ansteigen. Unter Berücksichtigung der vorangegangenen Schätzung steigt somit das Aufkommen, in Anbetracht der kompletten Umsetzung der „Technischen Anleitung Siedlungsabfall“ (TASi), um den Faktor 2,3. In Anbetracht der Neuerrichtungen und Stilllegung von thermischen Anlagen wird von einer verfügbaren Kapazität im Jahr 2005 von 16,4 Mio. t/a und innerhalb der mechanisch biologischen Anlagen von 2,6 Mio. t/a ausgegangen. Demzufolge fehlen ca. 5 - 7 Mio. t/a Verbrennungskapazität für Siedlungsabfälle. Des Weiteren würden sich angedachte Konzeptionsveränderungen im Bereich Sammlung, wie zum Beispiel die Zurücknahme der getrennten DSD Sammlung, in Form von Aufkommenssteigerungen darstellen.

Bei der Verbrennung des Siedlungsabfalls in Müllverbrennungsanlagen fallen bei einem mittleren Glührückstand von 25-35 % 3,3 Mio. t/a bzw. im Jahr 2005 von 7,2 - 7,8 Mio. t/a Müllverbrennungsschlacke bzw. Rostasche an. Die Kapazität der derzeit betriebenen Aufbereitungsanlagen für Rostasche liegt schätzungsweise bei ca. 2 Mio. t/a, wobei teilweise die Aufbereitung in Anlagen der Bauschutttaufbereitung erfolgt. In Anbetracht dessen, dass aktuell nur ca.  $\frac{2}{3}$  der Müllverbrennungsschlacke aufbereitet wird, kann davon ausgegangen werden, dass 2,5 - 3 Mio. t/a Müllverbrennungsschlacke unbehandelt deponiert werden.

Vor diesem Hintergrund sind Anlagenbetreiber darauf bedacht, die Müllverbrennungsschlacke so weit aufzubereiten, dass die einzelnen Stoffströme unter anderen Aspekten weiterverwendet werden können. Hierzu zählt vor allem die Anreicherung von NE- und Eisenmetallen.

Unter Berücksichtigung dieser Veränderungen und den ständig vorherrschenden ökonomischen Randbedingungen, denen die Betreiber ausgesetzt sind, wird eine ständige Optimierung bzw. Erweiterung von Aufbereitungsanlagen angestrebt.

Im Zuge verschiedener Projekte wurden Möglichkeiten erarbeitet, um den nutzbaren Metallanteil abzutrennen. Somit wird die zu deponierende Restfraktion verringert und die gesetzlich geforderte Kreislaufführung gefördert.

## **Entwicklung eines Verfahrens zur Trennung von Cenosphenen aus Flugaschen der Steinkohlenkraftwerke**

**Prof. Dr.-Ing. Halit Z. Kuyumcu**

(TU Berlin, Institut für Verfahrenstechnik, Fachgebiet Aufbereitung für Roh- und  
Reststoffe)

Bei der Verbrennung von Steinkohle in Kraftwerken bleiben die mineralischen Bestandteile als Aschepartikel übrig. Sie werden mit den Rauchgasen aus dem Verbrennungsraum ausgetragen und in Filteranlagen abgeschieden. In geringen Anteilen enthalten Flugaschen kugelförmige, dünnwandige Hohlkugeln, die Cenospheren. Wegen ihrer Partikelform und -festigkeit sowie wegen ihres großen Hohlraumanteils können Cenospheren als Füll- und Isolierstoffe genutzt werden. Künstlich hergestellte Partikel mit diesen Eigenschaften haben einen Marktwert von ca. 1.000 € pro Tonne.

Die Aufgabe besteht nun darin, ein großtechnisch realisierbares Verfahren zu entwickeln, mit dem die Cenospheren von den übrigen Aschebestandteilen abgetrennt werden können. Dabei muss berücksichtigt werden, dass

- der Cenospherenanteil in der Flugasche sehr gering ist (ca. 5 %),
- die Flugaschepartikel sehr fein sind ( $< 500 \mu\text{m}$ ),
- die übrigen Bestandteile der Flugasche nicht nass werden dürfen, da sie ansonsten nicht verwertbar sind.

Cenospheren sind auf Grund ihrer Hohlräume leichter als die kompakten Aschepartikel mit der gleichen Größe. Deshalb wurde ein Sortierverfahren entwickelt, das eine Kombination von Klassierung und Dichtentrennung darstellt und aus folgenden Prozessen besteht:

- Strömungstrennung (Sichtung) - Abtrennung Feinstfraktion,
- Siebklassierung - Abtrennung Grobfraktion,
- Mehrstufige Dichtentrennung in Sichern - Abtrennung Schwerfraktion.

Als Produkte des Sortierverfahrens werden eine cenospherenarme Flugasche und Cenospheren gewonnen.

**Entwicklung eines Probenahmeverfahrens für  
heterogene Abfälle mit geringer Schüttdichte  
Prof. Dr.-Ing. Halit Z. Kuyumcu, Dipl.-Ing. Bertram Zwisele**

(TU Berlin, Institut für Verfahrenstechnik, Fachgebiet Aufbereitung für Roh- und  
Reststoffe)

Für die Probenahme von körnigen Schüttgütern (z.B. Kohle) existieren schon länger verlässliche Probenahmeverfahren. Im Gegensatz dazu ist die repräsentative Probenahme heterogener Abfälle und Abfallgemische zur Beurteilung der physikalischen, chemischen und technologischen Eigenschaften bisher nicht befriedigend gelöst. Die gegenwärtige Praxis bei der Beprobung von Abfällen sind entweder "Hausrezepte" oder Probenahmestrategien, die nur unter bestimmten Voraussetzungen anwendbar sind. Deshalb wird im Rahmen des Vorhabens ein als Standard geeignetes Probenahmeverfahren für die mathematisch-statistisch gesicherte Beprobung von heterogenen Abfällen und Abfallgemischen geringer Schüttdichte entwickelt. Dabei wird von der Grundidee ausgegangen, eine größere Probemenge in einer geometrisch definierten Form so zu kompaktieren, dass der entstandene Abfall-Formkörper einer Teilung in mehreren Stufen bis hin zur Gewinnung einer Analysenprobe unterzogen werden kann.

Schritt 1: Entnahme einer hinreichend großen Probe aus dem zu untersuchenden Abfallgemisch

Schritt 2: Herstellung eines formstabilen Würfels mit definierten geometrischen Maßen durch Verdichten des Abfallgemisches in einer Verdichtungsrichtung mit hydraulischer Presse

Schritt 3: Teilung des Würfels durch Schneiden in N Einheiten in einer Teilungsvorrichtung

Schritt 4: Auswahl von n Proben nach dem Zufallsprinzip

Schritt 5: Zerkleinerung der ausgewählten n Einheiten mit einer Schneidmühle auf eine Partikelgröße  $< 0,5$  mm

Schritt 6: Bestimmung des interessierenden Merkmals durch chemisch-physikalische Analyse.

## **Vorankündigung der Jahrestagung 2003**

**Die nächste Vortragsveranstaltung unter dem Leitthema:**

### **Aufbereitung und Recycling**

**findet voraussichtlich am 13. November 2003 im GIZEF Freiberg statt.**

Terminplan:

- Ende April 2003: Einladung mit der Aufforderung zur Voranmeldung und zur aktiven Teilnahme mit Vorträgen
- Ende Juli 2003: Registrierung der Voranmeldungen und Fertigstellung des Tagungsprogramms
- Ende August 2003: Versand der Einladung mit Tagungsprogramm und der Anmeldung für Poster und Präsentationen
- Ende September 2003: Schlusstermin der Einreichung der Vortragskurzfassungen

Es sind wieder mündliche Vorträge, Poster- und Firmenpräsentationen vorgesehen.

### **Veranstalter:**

Gesellschaft für Umweltverfahrenstechnik und Recycling e.V. Freiberg - UVR  
und  
Wiss.- techn. Gesellschaft für Verfahrenstechnik Freiberg - FIA - e.V.  
und  
Gesellschaft für Aufbereitungstechnik und Recycling e.V. Freiberg – GAR

### **Tagungsorganisation:**

UVR-FIA GmbH  
Prof. Dr. rer. nat. habil. Hanspeter Heegn  
Chemnitzer Str. 40  
09599 Freiberg  
Telefon und Fax 03731797249  
e-mail: [heegn@uvr-fia.de](mailto:heegn@uvr-fia.de)  
internet: [www.uvr-fia.de](http://www.uvr-fia.de)