



Gesellschaft für Verfahrenstechnik
UVR-FIA e.V.
Freiberg



Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie



Jahrestagung 2014 „Aufbereitung und Recycling“

12. und 13. November 2014

Freiberg

Veranstalter:

Gesellschaft für Verfahrenstechnik UVR-FIA e. V. Freiberg

Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie

Jahrestagung „Aufbereitung und Recycling 2014“

Veranstalter:

**Gesellschaft für Verfahrenstechnik UVR-FIA e.V. Freiberg
und**

Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF)

Veranstaltungsort:

Tagungszentrum Alte Mensa, 09599 Freiberg, Petersstraße 5

Inhaltsverzeichnis

Vortragsprogramm	Seite 2 - 3
Posterprogramm	Seite 4 - 5
Kurzfassungen der Vorträge	Seite 6 - 36
Kurzfassungen der Poster	Seite 37 - 58
Adressen der Autoren der Tagung „Aufbereitung und Recycling“	Seite 59 - 62
Vorankündigung der Tagung „Aufbereitung und Recycling 2015“	Seite 63

Schwerpunkte der Tagung

- Rückblick und Perspektive von Aufbereitung und Recycling aus Anlass des 60. Jahrestages der Gründung des **Forschungsinstituts für Aufbereitung**
- Aufbereitung von mineralischen Rohstoffen und Erzen
- Aufbereitung von Baustoffen, Schlacken und Aschen
- Aufbereitung nachwachsender Rohstoffe
- Recycling von Abfällen für die stoffliche oder energetische Verwertung
- Verfahren und Maschinen für Zerkleinerung, Klassierung und Sortierung

Mittwoch 12.11.2014

ab 8.00 Uhr	<i>Registrierung der Teilnehmer</i>
9.00 Uhr	Rückblick und Perspektiven von Aufbereitung und Recycling aus Anlass des 60. Jahrestages der Gründung des FIA Freiberg <i>Referenten: Hanspeter Heegn (UVR-FIA e.V. Freiberg) und Henning Morgenroth (UVR-FIA GmbH)</i>
9.30 Uhr	Models and their Validation in Mineral Processing <i>Referent: Kari Heiskanen (Aalto Universität Esbo - Finnland)</i>
10.00 Uhr	Drei Jahre Helmholtz-Institut Freiberg - Status und Ausblick <i>Referent: Jens Gutzmer (Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie)</i>
10.30 Uhr	Mongolische Goldlagerstätte Boroo - Rolle des ehemaligen FIA <i>Referent: Dieter Mucke (GEOMONTAN GmbH)</i>
11.00 Uhr	<i>Kaffeepause</i>
11.30 Uhr	Verfahren zum Recycling und deren Anwendungen - ein Überblick über die Forschung in Eindhoven <i>Referent: Chris Straub (Technische Universität Eindhoven)</i>
12.00 Uhr	The characterization of MSWI bottom ash from two Dutch waste-to-energy plants <i>Referentin: Pei Tang (Technische Universität Eindhoven)</i>
12.30 Uhr	Sustainable production of nano-silica using beneficiated waste dunite <i>Referentin: Katrin Schollbach (Technische Universität Eindhoven)</i>
13.00 Uhr	<i>Mittagsimbiss</i>
14.00 Uhr	Rückgewinnung und Separation von Seltenen Erden aus entsorgungspflichtigen Leuchtstoffabfällen <i>Referenten: Martin Seifert und Tom Lorenz (TU Bergakademie Freiberg - ITC)</i>
14.30 Uhr	Mikrobielle Laugung von Seltenen Erden aus Leuchtpulver <i>Referentin: Stefanie Mey (Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie)</i>
15.00 Uhr	Flüssig-flüssig Extraktion von Indium aus polymetallischen Lösungen mit Cyanex 923, Cyanex 272 und DEHPA <i>Referent: Radek Vostal (TU Bergakademie Freiberg - ITC)</i>
15.30 Uhr	<i>Kaffeepause</i>
16.00 Uhr	<i>P O S T E R S C H A U</i>
16.30 Uhr	Das Gipsrecyclingkonzept der deutschen Gipsindustrie <i>Referent: Jörg Demmich (Knauf Gips KG)</i>
17.00 Uhr	Einsatz europäischer Kalzium-Bentonite in Kunststoffcompounds <i>Referentin: Elke Krischey (Montanuniversität Leoben -AuV)</i>
17.30 Uhr	Anreicherung von Wertkomponenten aus der Schwarzmasse vorzerkleinerter Li-Ionen Batterien mit Hilfe der Magnetscheidung <i>Referentin: Martha Gellner (TU Bergakademie Freiberg - MVTAT)</i>
19.00 Uhr	<i>Abendveranstaltung in den Tagungsräumlichkeiten</i>

Donnerstag: 13.11.2014

9.00 Uhr	Kupferlaugung aus Kupferschiefer mit organischer Säure <i>Referentin: Sophia Kostudis (Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie)</i>
9.30 Uhr	Energieeffiziente Abscheidung von Feinstäuben mit dem Rotationsentstauber <i>Referent: Michael Rutz (Fachhochschule Nordhausen)</i>
10.00 Uhr	MopaLIBS - Einsatz von Inline-Elementanalysatoren in Recyclinganlagen <i>Referentin: Angelika Feierabend (SECOPTA GmbH)</i>
10.30 Uhr	Kaffeepause
11.00 Uhr	Die Partikelform in Abhängigkeit vom Zerkleinerungsverfahren und ihr Einfluss auf Fließeigenschaften und Entnahmemassestrom <i>Referent: Christian Fürll (Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim)</i>
11.30 Uhr	Selbstähnlichkeit in der Zerkleinerungstechnik <i>Referent: Michael Klichowicz (TU Bergakademie Freiberg - IAM)</i>
12.00 Uhr	Selektiver Aufschluss definierten Betonbauschutts mittels Walzenschüsselmühle in Verbindung mit trockener Sortierung <i>Referent: Andreas Jungmann (CALA Aufbereitungstechnik GmbH & Co. KG)</i>
12.30 Uhr	Mittagsimbiss
13.30 Uhr	Prüfung auf Aufbereitbarkeit gebrauchter MgO-C Feuerfeststeine Investigations on the Processability of Spent MgO-C Refractories <i>Referentin: Sandra Strubel (Montanuniversität Leoben - AuV)</i>
14.00 Uhr	Materialverbünde auftrennen durch mikrowelleninduziertes Grenzflächenversagen <i>Referent: Steffen Liebezeit (IAB – Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH)</i>
14.30 Uhr	Optimierung des Molybdänausbringens aus Porphyry-Kupfer-Erzen in Chile <i>Referent: Thomas Heinig (Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie)</i>
15.00 Uhr	Schlusswort

Posterprogramm

Tagung Aufbereitung und Recycling am 12. und 13. November 2014

Brett, B.*; Schrader, D.**; Räuchle, K.*; Heide, G.**; Bertau, M.*

(*TU Bergakademie Freiberg, *Institut für Technische Chemie; **Institut für Mineralogie*):

Thermische und chemische Behandlung von Kraftwerksaschen zur Rückgewinnung strategisch wichtiger Metalle

Schrader, D., Heide, G.

(*TU Bergakademie Freiberg, Institut für Mineralogie*):

Mineralogische Charakterisierung und thermische Behandlung von Braunkohlekraftwerksaschen

Leißner, T.*; Matos Camacho, S.**; Atanasova, P.**; Kamptner, A.***; Bachmann, K.**;

Mütze, T.*; Rudolph, M.**; van den Boogaart, K. G**; Gutzmer, J.**; Peuker, U. A.*

(**TU Bergakademie Freiberg, Institut für MVTAT; **Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, ***UVR-FIA GmbH Freiberg*):

Beitrag zur Kennzeichnung des Aufschluss- und Trennerfolgs

Linß, Elske *; Landmann, Mirko **; Karrasch, Andrea ***; Kaiser, Ferdinand ****

(**Bauhaus-Universität Weimar, F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde, **Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH,*** LLA Instruments GmbH; **** S+S Separation and Sorting Technology GmbH*):

Sortierung von Bauschutt mit hyperspektraler Nahinfrarot-Sensorik

Lorenz, Tom

(*TU Bergakademie Freiberg, Institut für Technische Chemie*):

Recycling Seltener Erden aus Leuchtstoffen

Eisenlauer, Moritz

(*Technische Hochschule Nürnberg, Mechanische Verfahrenstechnik*):

Aufbereitung nachwachsender Rohstoffe durch Feinzerkleinerung

Nitzbon, Ivonne

(*TU Bergakademie Freiberg, Institut für Technische Chemie*):

Neuer Ansatz zum Recycling von Sägeflüssigkeiten auf Polyethylenglykolbasis aus Waferingprozessen

Martin, Gunther

(*TU Bergakademie Freiberg, Institut für Technische Chemie*):

Gewinnung von Lithium aus Zinnwaldit

Schulz, Tabea

(*Bauhaus-Universität Weimar, FIB*):

Thermisch aktiviertes Schiefermehl als Zusatzstoff für Mörtel und Beton

Bischoff, Sonja Stefanie

(Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologien e. V. - GMBU):

Bioleaching zur Aufbereitung von Leiterplattenschrott

Weiß, Adriana

(Bauhaus-Universität Weimar):

r³ - Fördermaßnahme Aufschluss von Verbundbaustoffen durch mikrowelleninduziertes Grenzflächenversagen" (Teil: Aufschluss von Beton)

Müller, Hagen

(Haver Engineering GmbH, An-Institut der TU Bergakademie Freiberg):

HAYER Friction-Clean – ein neues Verfahren zur Aufbereitung schwer löslicher Verunreinigungen

Kleeberg, Kirstin

(TU Bergakademie, Institut für Wirtschaftswissenschaften):

Bewertung der Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz von innovativen Technologien – Theoretische und praktische Implikationen

Ulbricht, Axel

(Eurofins Umwelt Ost GmbH):

Analytik von Rohstoffen, Abfällen, Brennstoffen und Aufbereitungsprodukten

Palitzsch, Wolfram; Schönherr, Petra und Loser, Ulrich

(Loser Chemie GmbH Langenweißbach):

Kraftwerksasche als Sekundärrohstoff für die Wasserhilfsmittelproduktion?

Hennig, Manuel; Teipel, Ulrich

(Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Fakultät Verfahrenstechnik):

Dynamische Modellierung von Siebklassierprozessen

Schwarz, S.; Petzold, G.; Mende M.

(Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V., Abteilung Polyelektrolyte und Dispersionen):

Biopolymere wie Stärke, Pektin und Chitosan: Charakterisierung und Anwendung

Rückblick und Perspektive von Aufbereitung und Recycling aus Anlass des "60. Jahrestages der Gründung des Forschungsinstituts für Aufbereitung und der Neugründung des Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie"

Hanspeter Heegn und Henning Morgenroth

UVR-FIA GmbH Freiberg

- Historie der Aufbereitung in Freiberg

In der Region Sachsen lebende historische Persönlichkeiten Agricola (1494–1555) [**Agricola 1556**] und Balthasar Rösler (1605-1673) [**Rösler 1700**] beschreiben bereits in ihren Werken neben dem Bergbau auch die Aufbereitung bergbaulicher Rohstoffe. Nach der 1765 erfolgten Gründung der Bergakademie ist 1781 ein erster Nachweis einer speziellen Behandlung der Aufbereitung in Werners (1749-1817) Bergbaukunde-Vorlesung zu finden [**von Beust 1866, 1867**]. Gätzschnann fasste seine umfangreichen Kenntnisse zur Aufbereitung in einem zweibändigen Werk [**Gätzschnann 1864, 1872**] zusammen. Ab 1871 übernahm Kreisler (1834–1891) den Lehrstuhl für Bergbau und Aufbereitungskunde. Dessen Nachfolger Treptow (1854-1935) hält eigenständige Vorlesungen über Aufbereitung und Entwerfen von Aufbereitungsanlagen. Nachfolger wurde Madel (1887-1939), der von 1924 bis 1939 Direktor des „Institutes für Aufbereitung und Bergbaukunde“ war. 1927 wurde ein nach Madels Plänen gestaltetes Aufbereitungslabor in der Agricolastraße in Betrieb genommen wurde. Der Physikochemiker Petersen, war von 1931–1937 Privatdozent für Aufbereitung und beschreibt in seinem Buch „Schwimmaufbereitung“ die Flotation der Mineralien. 1942 wird Gründer (1902-1962) Professor für Aufbereitungskunde und nach dessen Abberufung Helmut Kirchberg (1906-1983) ab 1947 bis 1960 Professor für Aufbereitung. 1949 initiierte er eine eigene Fachrichtung (Studiengang) Aufbereitung. 1953 erschien sein Buch „Aufbereitung bergbaulicher Rohstoffe“. Ausführlich ist die Entwicklung der Aufbereitungstechnik und Mechanischen Verfahrenstechnik an der TU Bergakademie Freiberg von Prof. Schubert [**Schubert 2009**] dargestellt worden.

- Geschichte des Forschungsinstituts für Aufbereitung (FIA)

In den Publikationen [**Volke 1999, Volke und Uhlig 2000**] wurde bereits ein Abriss der Entwicklung des Instituts dargestellt. Danach hatte Prof. Kirchberg Anfang der 1950iger Jahre Ideen für ein außerhalb der universitären Forschung angesiedelte Forschungseinrichtung für das Gebiet der Aufbereitung mineralischer Rohstoffe. Die Gründung des FIA erfolgte am 01.01.1954 und den Baubeginn 1955 auf einem 4 ha großen Gelände an der Chemnitzer Straße 40 (damals Straße des Friedens). Im Frühjahr 1956 wurde der Laborflügel des Hauptgebäudes von ersten Mitarbeitern bezogen. Danach erfolgte bis 1960 der weitere Ausbau mit der großen Versuchshalle, dem Kleinmaschinenlabor, der Waggonentladung u.a.

Das FIA gehörte in den Anfangsjahren zum Ministerium für Schwerindustrie der DDR (ab 1955 Ministerium für Berg- und Hüttenwesen) und ab 13.02.1958 zur Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (1972 in „ Akademie der Wissenschaften der DDR“ umbenannt). In den 1950iger Jahren stand die klassische Aufbereitung bergmännisch gewonnener Rohstoffe im Vordergrund. Ab den 1960iger Jahren wurden verstärkt Probleme der Verarbeitung industriell hergestellter Feststoffe mit Verfahren der mechanischen

Verfahrenstechnik sowie des Stoffrecyclings bearbeitet. In den 1980iger Jahren kamen Aufgaben aus dem Bereich des Umweltschutzes hinzu. Die Mitarbeiterzahl stieg kontinuierlich auf mehr als 400 Personen (davon etwa 100 Wissenschaftler). Durch die Ausbildung von Fachleuten am Institut für Aufbereitung der Bergakademie Freiberg unter Leitung von Prof. Heinrich Schubert waren sehr günstige Bedingungen für die Entwicklung des FIA gegeben.

Bei der Gründung des FIA waren die Abteilungen nach Rohstoffgruppen gegliedert (Erze, Nichterze, Kohle, Salze). 1960 erfolgte die Gliederung in Abteilungen entsprechend den wichtigen Prozesseinheiten der mechanischen Verfahrenstechnik (Zerkleinern und Klassieren, nassmechanische Prozesse, Flotation, elektrische und magnetische Aufbereitung) sowie nach Querschnittsaufgaben (Aufbereitungs-wirtschaft, Mineralogie, Maschinenentwicklung und Regeltechnik, Dokumentation). Neben Anwendungsforschung gehörte zunehmend Grundlagenforschung zu den Aufgaben des Instituts, was durch mehr als 30 Dissertationen belegt ist. 1990 wurden die Bereiche Partikeltechnologie und Umweltverfahrenstechnik gebildet.

Direktoren des Instituts waren Prof. Helmut Kirchberg von 1954 bis 1971, Prof. Edelhard Töpfer von 1972 bis 1986 und Prof. Dieter Uhlig von 1986 bis 1991.

- Aktivitäten des FIA in Grundlagen- und Anwendungsforschung

Basis für die Forschungs- und Entwicklungstätigkeit waren die 1958 eingeweihte große Halle für halbtechnische Versuche, die verfahrenstechnischen Labor-einrichtungen im Kleinmaschinenlabor sowie die chemischen, mineralogisch-petro-graphischen, granulometrischen und physikalischen Laboratorien im Hauptgebäude.

Hier soll nur auf einige langjährige Arbeitsgebiete mit ausgewiesenen Ergebnissen [**Uhlig 2004, Dokumentation FIA-Forschungsberichte bis 1991**] hingewiesen werden. Bei Erzen und mineralischen Rohstoffen waren dies die Aufbereitung feinverwachsender armer Zinnerze, die Flotation komplex zusammengesetzter und feinverwachsender Flussspathaufwerke, Aufbereitungsverfahren zur Gewinnung hochwertiger Glassande und Quarzrohstoffe und die nassmechanische Klassierung und Hochgradientenmagnetscheidung von Kaolinen.

Die mechanische Verfahrenstechnik industrieller Prozesse betraf die Optimierung von Zementanlagen, die mechanische Verfahrenstechnik bei Konstruktions- und Funktionskeramik, die Schleifmittelpräparation, die Optimierung der Zerkleinerung von Elektrodenkoks für Spezialelektroden. Im Umweltschutz und beim Stoffrecycling die Verfahrensoptimierung in der Akkuschrottaufbereitung, die Ölabtrennung aus Schleifrückständen, die technologische Verbesserungen in Bodenwaschanlagen, die Quecksilber-Abscheidung aus belasteten Materialien.

Auf dem Gebiet der Grundlagenforschung wurden auch international beachtete Ergebnisse gewonnen, z. B. zur Zerkleinerung von Körnerkollektiven unter definierten Beanspruchungsbedingungen, zur Quantifizierung des Zerkleinerungs- und Transportverhaltens von Feststoffen in Trommelmühlen und zur Wirkung von Mahlhilfsmitteln, zur mechanischen Aktivierung von Feststoffen in Mühlen, zu physikalischen und physikochemischen Vorgängen beim Flockungsprozess, zum Haftvorgang Teilchen/Blase bei der Flotation und der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Dreiphasenkontaktes, zu Trennvorgängen bei der Hochgradientenmagnetscheidung und Magnetfilterung, zum Einfluss des Wandreibungswinkels auf den Fließzustand von Schüttgütern in Bunkern, zur Modellierung der Kreislaufschaltung Mühle-Sichter und von mehrstufigen Flotationsanlagen und Zellschaltungen.

Bekannt sind auch Apparateentwicklungen und Eigenkonstruktion von Laborapparaten (z. B. Siebkugelmöhlen, Grobsiebanalyse, Flotationszellen, Trübenprobenteiler, Fließrinne, Hydrozyklontechnik)

-Publikationstätigkeit und internationale Ausstrahlung des FIA

Im Laufe der Jahre wurden im FIA auch zahlreiche Forschungsprojekte für die Aufbereitung von ausländischen Rohstoffen bearbeitet. Dazu gehören z. B. Cr-Erz (Albanien), Pb-Zn-Erz und W-Erz (Algerien), Fe-Erz und Mn-Erz (Bulgarien), Phosphate und Kassiterit (China), Magnesit (CSSR), Sn-Konzentrat Portugal (Frankreich), Fe-Erz und Magnesit (Indien), Zirkonkonzentrat (Korea), Chromiterz und Quarzsand (Kuba), Pb-Zn-Pyrit-Erz (Marokko), Schwermineralsande, Golderz, Tantalierz und Steinkohle (Mosambik), W-Erz und Golderz (Mongolei), Mn-Erz (Peru), Feldspat und Quarzit (Rumänien), Magnetiterz, Kola-Perovskit und Kieselgur (UdSSR), Zn-Erz, Apatit, Ni-,Cu-,Zn-Pb-Erz, Cr-Ni-Erz und SE-Erze (Vietnam). Neben der Forschungstätigkeit war das FIA Freiberg international auch im westlichen Ausland durch die als Leitstelle für Information und Dokumentation für das Fachgebiet „Aufbereitung“ bis 1991 im ehemaligen FIA im Auftrag des Zentralinstituts für Information und Dokumentation der DDR herausgegebene Kartei bekannt. Basis war die kontinuierliche Auswertung aller relevanten deutschen und ebenso internationalen Fachzeitschriften aus denen wesentliche Artikel referiert wurden. Mindestens 120 derartige Referate wurden monatlich gedruckt und an über 100 Abonnenten verkauft. Die Veröffentlichungen von Mitarbeitern des FIA wurden chronologisch erfasst und eine Anzahl von mehr als 1800 ausgewiesen.

Für das Fachgebiet Aufbereitung waren auch die im Hörsaal des Instituts stattgefundenen 5 internationalen Kolloquien und 2 internationalen Fachtagungen von Bedeutung.

- Probleme im Zusammenhang mit der Wiedervereinigung Deutschlands

Die Akademie der Wissenschaften der DDR wurde nach 1990 in ihrer bisherigen Form nicht weitergeführt, so dass auch für das FIA eine neue Zuordnung angestrebt wurde. Leider scheiterte trotz intensiver Bemühungen und zahlreicher positiver Ansätze der Versuch einer Eingliederung in die Fraunhofer Gesellschaft durch ein negatives Votum der für Evaluierung der Institute der AdW eingesetzten Kommission des Wissenschaftsrates, wobei die damalige Ausrichtung der Volkswirtschaft weg von einer produzierten Wirtschaft zu einer Dienstleistungsgesellschaft sowie erst kurz vor der Einheit in den alten Bundesländern neu geschaffene Forschungseinrichtungen (z.B. CUTEC Clausthal) mit als Ursachen angesehen werden müssen. Die Arbeitsverhältnisse der Mitarbeiter endeten am 31.12.1991. Die Empfehlung an die Landesregierung Sachsen gingen dahin, einige Forschungsgruppen der Bergakademie Freiberg bzw. einem neuen Max-Planck-Institut für Kolloidchemie zuzuordnen, was schließlich im Rahmen des so genannten Wissenschafts-Integrations-Programms (WIP) erfolgte. Der Vorschlag, den Kernbereich des Instituts in eine „Bodenentsorgungsanstalt“ umzuwandeln, war völlig illusorisch.

- Weiterführung als gemeinnützige Forschungseinrichtung und GmbH

Nach Schließung des FIA ergriffen ehemaliger Mitarbeiter des Instituts die Initiative und führten unter dem Dach eines von der Stadt Freiberg und den Landkreisen gebildeten und in der Immobilie des FIA ansässigen Gründer- und Innovationszentrums (GIZeF) wesentliche Aufgabengebiete in eigenverantwortlicher Regie weiter. Dazu erwarben die beiden noch 1991 gegründeten gemeinnützigen Vereine GVT-FIA und UVR einen großen Teil der Forschungsausrüstungen zum Zeitwert vom Land und mieteten die Versuchshalle sowie das

Laborgebäude für kleintechnische Versuche. Die beiden Vereine, die sich 2010 zum UVR-FIA e.V. vereinigten, sind alleinige Gesellschafter der 1996 gegründeten UVR-FIA GmbH, die 2002 den Status eines An-Instituts der TU Bergakademie Freiberg zugesprochen bekam. Dr. Christoph Cichos als Geschäftsführer und Dr. Wolfgang Scheibe als Prokurist führten von 1996 bis 2005 die GmbH. Als privatwirtschaftlich geführte ingenieurtechnische Einrichtung mit einem begrenzten Mitarbeiterstab konnte die GmbH natürlich nicht in der Breite tätig sein wie das ehemalige FIA. Außerdem hat sich die Ausrichtung der Tätigkeitsfelder in den Jahren des Bestehens der UVR-FIA GmbH den Anforderungen aus der Wirtschaft angepasst. So ist die Bedeutung der Umweltschutzverfahrenstechnik, die in den ersten Jahren nach der Unternehmensgründung eine große Rolle spielte, in den letzten Jahren zugunsten der Rohstoffverfahrenstechnik zurückgegangen. Einige der anfänglichen Tätigkeitsfelder wie Gefährdungsabschätzung und Bodensanierung wurden vollständig aufgegeben. Geblieben sind die Aktivitäten auf dem Gebiet des Recyclings. In den letzten Jahren haben die Aufgaben zur Aufbereitung mineralischer Rohstoffe wieder zugenommen und in diesem Zusammenhang auch neben Zerkleinerung und Klassierung besonders Dichtesortierprozesse und Flotation. Die UVR-FIA GmbH ist bestrebt, die vorhandene, fast alle Prozesse der mechanischen Verfahrenstechnik umfassende Ausrüstung als Grundlage für ihre Tätigkeit zu erhalten und anzuwenden, gleichzeitig aber ist das Unternehmen an einer Ausweitung der Arbeitsgebiete und an der Einbeziehung von Prozessen aus anderen Bereichen der Verfahrenstechnik interessiert. Geschäftsführer sind seit 2006 Dr. Andre Kemptner und Dr. Henning Morgenroth.

Neben der wirtschaftlichen Tätigkeit als Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen wurde durch die Nachfolgeeinrichtungen des FIA die Durchführung von Fachtagungen als eine wesentliche Aufgabe angesehen. Tagungsaktivitäten nach 1992 waren: Aufbereitungstechnik und Recycling 1992, Leistungen und Möglichkeiten der mechanischen Verfahrenstechnik bei der Lösung von Umweltproblemen 1993, Aufbereitung von Reststoffen und Abfällen 1994 und bisher 17 Tagungen "Aufbereitung und Recycling" 1998-2014.

- Perspektiven mit dem Helmholtz-Institut für Ressourcentechnologie

Nachdem in Deutschland über nahezu zwei Jahrzehnte die Problematik der Rohstoffversorgung vernachlässigt wurde, was sich durch die Schließung des FIA Freiberg aber auch zum Beispiel die Nichtbesetzung des Lehrstuhls für "Aufbereitungstechnik und Recycling" an der TU Bergakademie dokumentierte [Schubert 2009], wurde 2011 die späte Konsequenz gezogen und das Helmholtz-Institut für Ressourcentechnologie gegründet [Pressemitteilung 2011]. Als nationale Forschungsinstitution sollen wissenschaftliche Grundlagen geschaffen und neue Technologien entwickelt werden. Das neue Institut soll sich der Entwicklung von Technologien zur effizienten Erkundung, Gewinnung und Nutzung mineralischer und metallhaltiger Rohstoffe widmen. Weiterhin soll es sich mit Fragen des Recyclings befassen. Die Ausbildung von Fachkräften im Rohstoffsektor sowie die Förderung der Aus- und Weiterbildung ausländischer Fach- und Führungskräfte im Ressourcensektor sind ein dritter wichtiger Schwerpunkt.

Mit der Gründung dieses Instituts am Standort des ehemaligen Forschungsinstituts für Aufbereitung (FIA) besteht die Hoffnung, dass die UVR-FIA GmbH und die Gesellschaft für Verfahrenstechnik UVR-FIA e.V. Freiberg mit zu einer erfolgreichen Arbeit des Instituts beitragen können. Damit findet die durch die Initiative von Prof. Kirchberg Anfang der 1950iger Jahre in Freiberg etablierte außeruniversitäre Forschung zur Rohstoffnutzung eine würdige Fortsetzung am traditionellen Standort.

- Literatur:

[Agricola 1556] Georgius Agricola (1494–1555) „De re metallica libri XII“

[von Beust 1866] Beust von, Scherrer u.a.: Die Geschichte und die jetzigen Verhältnisse der Bergakademie. Festschrift zum hundertjährigen Jubiläum der königlich sächsischen Bergakademie zu Freiberg am 30. Juli 1866, Dresden

[von Beust 1867] Beust von, Braunsdorf, Breithaupt u.a.: Die Fortschritte der berg- und hüttenmännischen Wissenschaften in den letzten hundert Jahren als zweiter Teil der „Festschrift zum hundertjährigen Jubiläum der königlich sächsischen Bergakademie zu Freiberg“, Freiberg 1867

[Cichos 2004] Cichos, Christoph; Scheibe, Wolfgang: Aktuelle Arbeitsgebiete der UVR-FIA GmbH Vortrag "Tagung Aufbereitung und Recycling 2004"

[Dokumentation FIA-Forschungsberichte bis 1991] Archiv UVR-FIA GmbH

[Gätzschnann 1864, 1872] Gätzschnann, Moritz Ferdinand: Die Aufbereitung, Zwei Bände. Leipzig: Verlag Arthur Felix 1864 und 1872

[Kirchberg 1953] Kirchberg, Helmut: Aufbereitung bergbaulicher Rohstoffe. Jena 1953.

[Petersen 1936] Petersen, W.: Schwimmaufbereitung. Verlag von Theodor Steinkopf, Dresden 1936, Reihe "Wissenschaftliche Forschungsberichte - naturwissenschaftliche Reihe" Band XXXVI herausgegeben von Raphael Ed. Liesegang.

[Pressemitteilung 2011] Neue Gründung: Helmholtz-Institut Freiberg: Gemeinsame Pressemitteilung von Helmholtz-Gemeinschaft, TU Bergakademie Freiberg und dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf vom 06.06.2011

[Rösler 1700] Balthasar Rösler (1605-1673) Hell-polierter Berg-Bau-Spiegel

[Schubert 2009] Schubert, Heinrich: Zur Entwicklung der Aufbereitungstechnik und Mechanischen Verfahrenstechnik an der TU Bergakademie Freiberg. Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg 16. Jahrgang 2009 S. 71-79

[Uhlig 2004] Uhlig, Dieter: Forschung und Entwicklung im ehemaligen Forschungsinstitut für Aufbereitung. Vortrag "Tagung Aufbereitung und Recycling 2004"

[Volke 1999] Volke, Klaus: "45. Gründungsjubiläum des Forschungsinstituts für Aufbereitung (1)". Blick (Freiberg) Nr. 36, 08.09.1999; "Das ehemalige Forschungsinstitut für Aufbereitung (2), Die 60-er, 70-er und 80-er Jahre des Instituts". Blick (Freiberg) Nr. 37, 15.09.1999; "Das ehemalige Forschungsinstitut für Aufbereitung (3), Das Forschungsinstitut in der Wende- und Nachwendezeit". Blick (Freiberg) Nr. 39, 29.09.1999

[Volke, Uhlig 2000] Volke, Klaus; Uhlig, Dieter: Das ehemalige Forschungsinstitut für Aufbereitung: 1954 gegründet, 1991 geschlossen. Mitteilungen des Freiburger Altertumsvereins 86. Heft 2000, S. 134-166.

Models and their Validation in Mineral Processing

Kari Heiskanen

Aalto Universität Esbo - Finnland

The paper discusses two model developments, namely comminution and flotation. Both processes are vital not only technically for the smooth operation of a processing plant but also are central for economy and environmental impact of said plants.

There is a marked similarity in development of comminution and flotation models from simple regression and phenomenological models towards more complex model structures. Here the use of numerical models has become a mainstream choice due to rapidly increasing computing power. The paper discusses some of features on which the earlier models have been based upon and how some of these features have been carried to the models we are using today.

There are some very fundamental shortcomings in the models we are using, which are discussed in the paper. These are very difficult to address, as will be argued.

The validation of the models is a very difficult task, which deserves much more rigour. The role of laboratory and pilot plant work will be discussed as model validation tools. The main challenge is the complexity of the three-phase system or even a multidimensional system if different minerals are considered as separate phases. Models that have been developed using simplified systems are tested against real process complexity. A further challenge is the integrative nature of a comminution or flotation experiment/industrial operation. The experimental outcome is always a combination of several unit processes often with non-linear responses to variables like size, mineralogical suite etc.

Drei Jahre Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie Status und Ausblick

Jens Gutzmer

Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie

Mit der Gründung des Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) am 29. August 2011 schließen das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) und die TU Bergakademie Freiberg gemeinsam eine wichtige Lücke in der außeruniversitären Forschungslandschaft Deutschlands. Das neu gegründete Institut befasst sich mit der Entwicklung innovativer Technologien für Gewinnung, Nutzung und Recycling mineralischer und metallhaltiger Rohstoffe. Durch einen wertstoffkettenübergreifende Forschungsansatz beschreiten das Institut neuartige Wege, die die energie- und ressourceneffiziente Verarbeitung komplexer Rohstoffe realisieren soll und den Ressourcenstandort Freiberg fördert. Dabei lag der Schwerpunkt der ersten Jahre in der Ausprägung international sichtbarer Kompetenzfelder vor allem in den Bereichen Flotation, Biohydrometallurgie und Geometallurgie. Durch die Zusammenarbeit von Experten dieser Felder aus Freiberg und Dresden ist ein Netzwerk entstanden, das eine integrative Forschung für die Verarbeitung von mineralischen und metallischen Rohstoffen ermöglicht. Nach nun drei Jahren des Aufbaus ist das HIF auf eine beachtliche Größe von fast 100 Mitarbeitern angewachsen. Erste Laborinfrastrukturen haben ihren Betrieb aufgenommen, Forschungsprojekte zeigen wichtige Resultate und auch die Sanierungsarbeiten in der Chemnitzer Straße 40 – am endgültigen Standort des Instituts – schreiten voran. Die Zeit ist reif für einen Statusbericht und einen vorsichtigen Ausblick auf das Entwicklungspotenzial der kommenden Jahre.

Three years Helmholtz Institute Freiberg - Status and Perspectives

The establishment of the Helmholtz Institute Freiberg for Resource Technology (HIF) on the 29th of August 2011 has closed a large gap within the national non-university research landscape. The institute, which belongs to the Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf and collaborates with the TU Bergakademie Freiberg aims to develop innovative technologies to explore, process, use and recycle much-needed metalliferous raw materials. By focusing research on the entire value chain the institute seeks new opportunities to process complex raw materials in an energy- as well as resource-efficient manner and to promote the resource expertise in Freiberg. Within the first years the focus has been to shape internationally visible competencies, especially in the fields of flotation, biohydrometallurgy and geometallurgy. As a result of the interaction between experts of different disciplines in Freiberg and Dresden a network has been created that enables interdisciplinary research and development of innovative technologies for the beneficiation of metalliferous raw materials. Today, three years after the establishment, the HIF has grown to a considerable size of almost 100 staff members. New laboratories have started to operate, research projects yield important results and the development of the institute's new headquarter in Chemnitzer Straße 40 is progressing well. Time has thus come to report the current status and take a look ahead at opportunities for the Helmholtz Institute Freiberg for Resource Technology.

Rolle des Forschungsinstituts für Aufbereitung bei der Erkundung der mongolischen Goldlagerstätte Boroo

Dieter Mucke und Rolf Kumann

*GEOMONTAN - Gesellschaft für Geologie und Bergbau mbH & Co. KG Sachsen
Großschirma ST Rothenfurth*

Nur wenige Forschungseinrichtungen können stolz darauf sein, an der Erschließung einer Lagerstätte aufbereitungsseitig mitgewirkt zu haben, aus der dann in den sieben Jahren von 2004 bis 2010 46 t Gold produziert wurden, die beim gegenwärtigen Goldpreis einen Wert von 1,38 Mrd. € verkörpern. Das hatte sowohl dem Betreiber des Goldbergwerks, der kanadischen Centerra, hohe Gewinne beschert als auch in der Betriebszeit das Bruttoinlandsprodukt der Mongolei um fünf bis sieben Prozent anwachsen lassen und vielen Mongolen Arbeit gegeben.

In den 60er Jahren hatten sich DDR-Geologen erstmalig mit der Goldlagerstätte Boroo beschäftigt, gegen Ende der 80er Jahre wurden die Vorratsberechnungen abgeschlossen. Daran war auch ich als Rohstoffwirtschaftler des FIA beteiligt, wobei die bis dahin durch Erzprojekt Leipzig erarbeiteten Bergbaukonzepte und die vom FIA Freiberg konzipierte Aufbereitungstechnologie für die ökonomische Bewertung Berücksichtigung fanden. Es wurden ca. 30 t gewinnbares Gold berechnet - allerdings mit hohen Kosten für Gewinnung und Aufbereitung insbesondere durch einen nur im Tiefbau gewinnbaren Reicherzkörper. Zu den damaligen niedrigen Weltmarktpreisen hätte keine wirtschaftliche Nutzung dieser Vorräte erfolgen können.

Mit der Wende bemühte sich 1990 die aus dem VEB Kombinat Geologische Forschung und Erkundung Halle gebildete GFE GmbH um eine Zusammenarbeit mit der AMAX Gold Inc./Denver(USA). Der bei dieser Gesellschaft langjährig tätig gewesene Geologe V. Spieth/Hannover organisierte eine Exkursion einiger mit Gold Boroo beschäftigter Mitarbeiter von GFE, Erzprojekt Leipzig und FIA Freiberg (Schulz und Mucke). In mehreren Goldgruben und Ingenieurbüros vor allem der AMAX Gold in Nevada und Kalifornien erhielten wir Einblick in Erkundung, Bewertung, Gewinnung, Aufbereitung und Verhüttung von Golderzen. Wesentliche Erkenntnis war, dass in allen Lagerstätten nur die Primärerze nassmechanisch aufbereitet wurden, die Erze der Oxydationszone jedoch auch schon mit sehr geringen Goldgehalten durch Natriumcyanid-Laugung des bergmännisch gewonnenen und vorzerkleinerten Haufwerks.

Solche Verfahren waren für Boroo bis dahin nicht in Erwägung gezogen worden. Gemeinsam mit meinem Mitarbeiter Rolf Kumann untersuchte ich nun 1990 die aus den Erkundungsstrecken im Raum Boroo ordentlich auf Haufen gelagerten Erze und wir entnahmen fünf Container Erzproben mit einer Masse von ca. 20 t, die dann von dort aus in zwei Waggons verladen und auf die Bahnreise nach Freiberg geschickt wurden. Im FIA angekommen wurde das Erz auf die in den amerikanischen Goldgruben angewendeten Korngrößen zerkleinert und im Technikum Laugungsversuchen unterzogen.

Eine Gruppe von Spezialisten aus GFE, FIA, Erzprojekt und Gewerkschaft Wilhelm/Hannover wertete die Ergebnisse aus und konzipierte neue Bergbau- und Aufbereitungstechnologien. Unter meiner Federführung – inzwischen als Geschäftsführer der GEOMONTAN - wurde 1991 die Prefeasibility-Studie Gold Boroo erarbeitet. Sie wies unter Verzicht auf die teuren, nur im Tiefbau zu gewinnenden Erze und unter Einbeziehung von bis dahin nicht zum Abbau vorgesehener Armerze der Oxydationszone wiederum ca. 30 t

gewinnbares Gold aus, die beim Preis von 285 \$/Feinunze nun auch zu den damaligen immer noch niedrigen Goldpreisen einen wirtschaftlichen Abbau erlaubt hätten.

Die Bundesregierung zeigte sich am ursprünglich vorgesehenen gemeinsamen deutsch-mongolischen Nutzungskonzept für die Goldlagerstätte Boroo nicht interessiert und überließ sie der GFE GmbH. 1991 wurde der mongolischen Regierung in Ulan Bator die genannte Prefeasibility-Studie übergeben, der erfolgreiche Abschluss der Erkundungsarbeiten festgestellt und die gemeinsame Geologenexpedition DDR-MVR Boroo nach zehnjähriger Tätigkeit aufgelöst. Die von der DDR für die Erkundung aufgewendeten Millionen transferabler Rubel wurden von der BGR Hannover als Entwicklungshilfe deklariert. Die mongolische Regierung suchte nach Investoren und erteilte letztlich 2004 der CENTERRA Gold Inc./Toronto die Bergbaulizenz. Diese nutzte die Lagerstätte entsprechend unseres Konzeptes einschließlich der Haufenlaugung der ausgewiesenen Armerze. Bis Ende 2010 waren 46 t Gold gewonnen worden und die Haufenlaugung wird noch fortgesetzt.

Verfahren zum Recycling und deren Anwendungen – ein Überblick über die Forschung in Eindhoven

Chris Straub, Miruna Florea und Jos Brouwers

Technische Universität Eindhoven / M2i

In der Gruppe um Prof. Brouwers forschen zurzeit 17 Promovenden, 4 Post-Docs, 2 Wissenschaftliche Mitarbeiter und 1 Professor an unterschiedlichen Projekten rund um das Thema Recycling. Der Focus richtet sich dabei auf Angewandte Forschung im Bereich Beton und Bindemittel in enger Zusammenarbeit mit der Industrie.

Es werden im Folgenden ausgewählte Projekte kurz skizziert.

-Die Deponierung von Müllverbrennungaschen wird mit steigenden Mengen und strengeren Umweltauflagen immer problematischer. Die Anwendung dieser Materialien im Beton erfordert zumeist eine vorgeschaltete Behandlung. Die verschiedenen Methoden werden hier kombiniert und optimiert.

-Die Substitution von Zement mit reaktiven Reststoffen aus der Industrie in Beton ist ein weiteres Forschungsfeld. Mehrere bis dato anderweitig oder ungenutzte Materialien konnten erfolgreich eingebracht werden. Somit kann der CO₂-Ausstoß vermindert und die Umwelt geschont werden.

- Die Herstellung von High-Tech Materialien aus Abfallstoffen ist Forschungsgegenstand mehrerer Projekte. So ist es zum Beispiel möglich, in faserverstärkten Ultra-Hochleistungsbetonen Aschen und Schlacken einzusetzen und dabei die Eigenschaften positiv zu verändern.

-Des Weiteren ist auch eine Kombination von mineralischen Reststoffen wie zum Beispiel Olivin (Residuum bei der Magnesit-Herstellung) mit Abfallsäuren aus diversen Industrieprozessen zur Herstellung von hochreaktiven Nano-Silika und Magnesiumsalzlösungen sowie deren Anwendungen ein weiterer Arbeitskomplex.

-Die Optimierung von Holz-Zement-Kompositmaterialien sowie deren Erweiterung auf andere Bindemittelsysteme bei gleichzeitigem Einsatz von Abfallstoffen ist ein weiteres Projekt, welches viele Forschungsgebiete miteinander verknüpft. Die Feuerfestigkeit und Pilzresistenz des Zements wird mit der hohen Flexibilität und Dämmeigenschaften des Holzes kombiniert.

-Die Anwendung von Aschen und Schlacken in zementgebundenen Werkstoffen ist bekannt und viel verwendet. Die Anwendung dieser Materialien in Alkali-aktivierten Baustoffen und Betonen sowie deren Optimierung sind Gegenstand mehrerer Projekte.

-Wie wird Beton recycelt? Über dieser Frage wird an einem neuartigen Brechverfahren geforscht, um die Zuschläge vom Bindemittel zu trennen. Besonders in Katastrophengebieten muss der alte Beton schnell verarbeitet und neu hergestellt werden. Mit diesem Verfahren minimiert man effektiv Transportwege, Deponierungen und Rohstoffkosten.

-Diverse natürliche und Industrieabfallstäube sind nur schwer für manche Prozesse nutzbar. In einem Projekt wird ihre Tauglichkeit für die Anwendung im Porenbeton untersucht. Dies hat den Vorteil, dass das aufwendige Mahlen der Rohstoffe entfallen kann und die Umwelt durch Minimierung von Deponierungen entlastet wird.

The characterization of MSWI bottom ash from two Dutch waste-to-energy plants

Pei Tang, Miruna Florea, P. Spiesz und Jos Brouwers

Building Physics and Services, Eindhoven University of Technology

Municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash has the potential to be used as building material. However, the salts and heavy metals it contains must be considered on behalf of the environment and human health. Besides, its physical and chemical properties should comply with the building material standards. In order to determine the properties of MSWI bottom ash, study the appropriate application methods of bottom ash in the building field, the properties of MSWI bottom ash from two plants in the Netherlands were investigated physically and chemically, and its leaching contaminants were also determined based on the seven-year leaching data analysis. The bottom ash particles under 2 mm were milled into powder and then was considered to be used as cement replacement, and its effect on cement hydration was studied. The bottom ash particles under 2 mm were used as sand replacement in mortar, its influence on mortar properties was investigated.

The results show that the physical and chemical properties of bottom ash from two plants are very similar despite of the different process procedures. The particle size distributions of the bottom ashes from both plants are very similar and stable. The water contents various in the range of 12% - 25%, and the density of the bottom ash is close to that of natural aggregate. The main components in bottom ashes are CaO, SiO₂, Al₂O₃ and Fe₂O₃. The leaching contaminants of bottom ashes from both plants are copper, chloride and sulphate according to the Dutch legislation. The calorimetric results show that the bottom ash is hydraulically inert and it retards the cement hydration. The high amount of sulphate contributes to the formation of secondary ettringite in the deceleration stage of cement hydration. The addition of bottom ash particles under 2 mm reduces the flowability dramatically, and the compressive and flexural strength were decreased with increasing amount of bottom ash. However, there are no visual cracks in the mortar samples are observed resulting from the metallic aluminum reaction, which may be due to the porous structure of mortar. Thus, the application of bottom ash fines as cement replacement is not suitable because of low reactivity and to increase the reactivity of the bottom ash is of more interest for future study. The application of bottom ash in dry mortar or concrete could be a possible method to avoid the damage of metallic aluminum in bottom ash.

Die Verwertung von Restlösungen der Nano-Silica Produktion aus Dunit - Production of nano-silica using beneficiated waste dunites

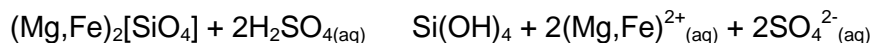
A. Lazaro*, K. Schollbach*, H. Turnier** und H. J. H. Brouwers*

*Technische Universität Eindhoven, Niederlande

**Centre of expertise water technology (CEW), Leeuwarden, Niederlande

The production of nano-silica by the dissolution of olivine is an interesting alternative to the existing commercial methods because of the good quality of the resulting silica and low energy requirements and CO₂ emissions. Furthermore, this process can use waste olivine materials for the production of nano-silica. The purpose of this study is to demonstrate that waste olivine (after beneficiation) can be used to produce nano-silica of high quality.

Two types of dunite materials were used in this study for the production of olivine nano-silica, one from Norway and another one from Greece. The dunite from Norway was a commercial material of high olivine content (>89%) and the dunite from Greece (PROMGM) was a byproduct from the magnesite mining activities. The dunite rocks from Greece were beneficiated by dense media separation, resulting in samples with doubled olivine content than the original material. The synthesis experiments were carried out at 90 °C with olivine particles of 125-600 µm in a stirred, thermostated reactor of one liter. The reagents used were 500 ml of 3M sulfuric acid and the stoichiometric amount of olivine according to the following reaction:



The neutralization reaction continued until the [H⁺] was below 0.1 mol/l. Then the suspension was separated from the solid residue by sedimentation. Subsequently, the remaining slurry was washed and filtered to obtain the clean amorphous nano-silica.

When the untreated waste dunite reacted with sulfuric acid, many problems were encountered during the production process, especially related to the separation of the components. The issues were likely due to presence of talc and the precipitation of gypsum in the slurry. But with beneficiated waste dunites no problems arose when the slurry was decanted and the silica was filtered. Thus, the beneficiated waste dunite (NS-GM-4, -8 and -10) gave excellent results producing a nano-silica of high purity and high specific surface area with similar properties than nano-silica produced using Norwegian olivine. From these results, it can be concluded that nano-silica of high purity and high specific surface area can be obtained from beneficiated waste dunite as long as the necessary cleaning procedure is carried out.

Table 1: Properties of olivine nano-silica produced using beneficiated waste dunite (NS-GM-4, -8 and -10) where SSA_{BET} is the specific surface area measured by BET and S is the sulfur content of the silica powder

Dunite	SSA_{BET} (m ² /g)	SSA_{MP} (m ² /g)	SSA_{E} (m ² /g)	S (%)
NS-GM-4	275.9	37.6	238.3	2.32
NS-GM-8	390.0	52.0	338.0	1.61
NS-GM-10	480.0	58.0	422.0	0.68

After the production of nano-silica it is also necessary to deal with the waste solution that is produced during the dissolution of the dunite. To this end the production of $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Epsomite) from the solution was investigated. Epsomite is used in the fertilizer and paper industry among other things.

In a first step it is necessary to remove the Fe^{2+} that is dissolved in the solution along with other metal ions such as Ni (Table 2). To achieve this, the pH value of the solution is raised until the bulk of the dissolved Fe precipitates and can be filtered out. In a second step the solution is filtered through a sand bed to remove any remaining iron. The clean solution is then concentrated until $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ crystallizes.

The iron precipitate that was filtered out and washed is almost completely amorphous and shows the typical broad peaks of ferrihydrite. It has a high surface area and XRF analysis shows that the Fe_2O_3 content is about 38 wt% and that NiO was concentrated to 2,3 wt%. For this reason a use of this precipitate as a Ni resource seems sensible.

This way it is possible to turn the waste solution into a resource and make the nano-silica production sustainable.

Table 2: Composition of waste solution from nano-silica production

SO_4	Mg	Fe	Ni	Al	Ca	Mn	Cr	Ti
143,8	27,64	4,8	0,23	68	60	60	<15	<8
<i>g/l</i>	<i>g/l</i>	<i>g/l</i>	<i>g/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>

Rückgewinnung und Separation von Selten Erden aus entsorgungspflichtigen Leuchtstoffabfällen

M. Seifert, T. Lorenz*, P. Fröhlich*, K. Jacob-Seifert**, M. Bertau***

** TU Bergakademie Freiberg, Institut für Technische Chemie*

*** FNE Entsorgungsdienste Freiberg GmbH*

Vor dem Hintergrund einer kontinuierlich wachsenden Nachfrage an Seltenen Erden für die Herstellung von Hightech-Produkten und der strategischen Rohstoffabhängigkeit von wenigen Förderländern, wie beispielsweise China unterliegt die Preisentwicklung für diese Elemente erheblichen Schwankungen. Die Etablierung eines Sekundärrohstoffmarktes für Seltene Erden könnte einen entscheidenden Beitrag zur Sicherung der Rohstoffverfügbarkeit und Unabhängigkeit von ausländischen Importen darstellen. Eine erfolgreiche Anwendung des zero-waste-Konzeptes stellt die Schließung des Stoffkreislaufes für seltenerdhaltige Leuchtstoffabfälle dar.

Die stoffchemische Kompetenz des Chemikers erlaubte die Entwicklung eines innovativen Verfahrens zur Separation und Rückgewinnung von Yttrium- und Europiumoxid aus Leuchtstoffpulvern, welche noch bis vor einigen Jahren als Sondermüll deponiert wurden. Integraler Bestandteil des Verfahrens sind die folgenden Prozessschritte:

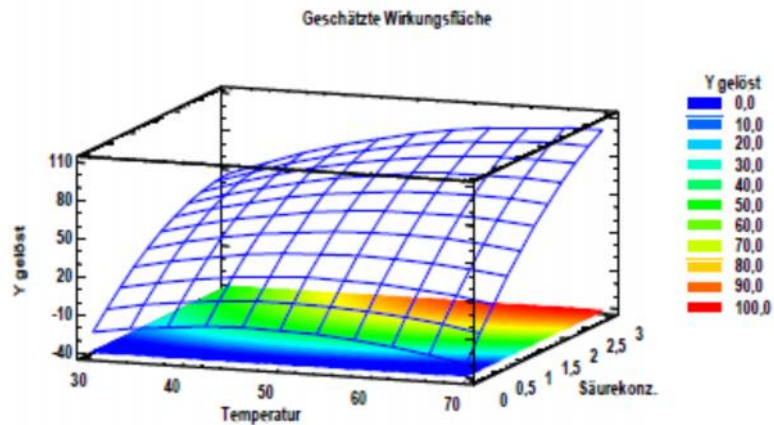
- Laugung des Leuchtstoffes in Säure
- Abtrennung von Störstoffen, wie Barium, Strontium und Calcium
- Säurerückgewinnung mittels Diffusionsdialyse
- Elektrochemische Trennung von Yttrium und Europium
- Fällung von Yttrium als schwerlösliches Yttriumoxalat
- Calcination der Produkte.

Von zentraler Bedeutung für das Funktionieren des Recyclingprozesses sind eine möglichst ganzheitliche Laugung der Seltenerd-Komponenten aus dem Abfallstoff und ein effizienter Einsatz der Laugungsmedien.

Wie aus den im Bild dargestellten Ergebnissen ersichtlich wird, ist es durch eine Optimierung der HCl-Laugungsparameter gelungen, 99 % der Yttrium- und 90 % der Europiumspezies dem Leuchtpulver zu entziehen.

Durch die Implementation eines Diffusionsdialyseschrittes, welcher sich der Laugung anschließt, wird eine Rückgewinnung der eingesetzten Salzsäure erzielt. Die Kreislaufführung der Säure stellt das Fundament einer positiven wirtschaftlichen Bilanz des Gesamtprozesses dar und bedingt eine erhebliche Ressourceneinsparung.

Bild: Anteil des gelösten Yttriums in Abhängigkeit der Temperatur und der Säurekonzentration



Die Separation der Verbindungen gelingt durch eine elektrochemische Reduktion des dreiwertigen Europiumanteils mit Zink und anschließender Fällung als Sulfat. Eine Isolierung der Komponente konnte mit einer Reinheit von 95 % erreicht werden

Das hier vorgestellte Verfahren eröffnet die Möglichkeit einer nahezu vollständigen Reintegration der vorhandenen Selten Erdenhaltigen Zielkomponenten in den Wirtschafts- und Rohstoffkreislauf unter wirtschaftlichen Bedingungen auch im Falle einer negativen Preisentwicklung für diese Rohstoffe. Die hier vorgestellten Ergebnisse sind Teil des Förderprojektes „SepSelsa“.

Leuchtstoffe aus Produktionsabfällen und End-of-Life-Leuchtstofflampen enthalten aktuell zwischen 6-18 Gew% an Y, Eu, Gd und Tb, welche ausnahmslos zu den strategischen Metallen gehören, deren zukünftige Versorgung als kritisch gilt. Auf Grund von Quecksilberbelastung und Mangels effektiver, preisgünstiger Recyclingstrategien werden diese jedoch bislang zum größten Teil deponiert. Die im zweiten Teil vorgestellte Feststoffchlorierung mit Ammoniumchlorid ist eine Aufschlussmethode abseits konventioneller, nasschemischer oder pyrometallurgischer Verfahren, welche besonders beim Recycling von Seltenen Erden neue Möglichkeiten der Prozessführung bietet. Auf die Leuchtstoffe angewandt, erlaubt diese einen selektiven Aufschluss des Y und Eu, welche den Hauptanteil unter den enthaltenen Seltenen Erden stellen. Im Rahmen erster eigener Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass gegenüber der Literatur die experimentellen Parameter erfolgreich optimiert wurden und mit der Feststoffchlorierung eine effektive und weniger chemikalienintensive Alternative für das Recycling von End-of-Life-Leuchtstoffen zur Verfügung steht.

Mikrobielle Laugung von Seltenen Erden aus Leuchtpulver

Stefanie Mey, Sabine Kutschke und Katrin Pollmann

Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie

Seltene Erden (SE) werden in fast allen neuen Technologien eingesetzt. Zudem hat China mit 94% Marktanteil (2011) [1] praktisch ein Monopol in der Produktion. Dennoch gibt es bis heute kein umweltfreundliches Recycling-Verfahren. Folglich steigt die Nachfrage nach neuen Recycling-Strategien um die Versorgung mit SE sicher zu stellen.

Jährlich fallen beim Recycling von Energiesparlampen und Leuchtstoffröhren in Deutschland rund 175 Tonnen Leuchtpulver als eigenständige Fraktion an [2, 3]. Bei vollständigem Recycling können daraus bis zu 17,5 Tonnen SE-Oxide gewonnen werden, die direkt für den Herstellungsprozess neuer Lampen eingesetzt werden können [4]. Pro Leuchtkörper werden 2 bis 4 g Leuchtpulver benötigt [5], sodass ca. 60 Millionen neue Lampen mit Recycling-SE hergestellt werden könnten.

In dieser Arbeit wurde deshalb die Rückgewinnung von SE aus Leuchtpulver mithilfe von biohydrometallurgischen Techniken untersucht. Aufgrund der elektrochemischen Randbedingungen, erscheint die Laugung mit organischen Säuren und metallbindenden Proteinen erfolversprechender, als Oxidations- oder Reduktionsreaktionen [6, 7]. Auf Grundlage dessen wurden verschiedene hetero- und autotrophe aerobe Mikroorganismen als Rein- und Mischkultur ausgewählt. Darunter befinden sich sowohl die „klassischen“ Laugungs-Mikroorganismen *Acidithiobacillus ferrooxidans* und *A. thiooxidans*, als auch die organische Säuren bildenden *Corynebacterium collunae* (Glutaminsäure) und die Hefe *Yarrowia lipolytica* (Zitronensäure), sowie der „Teepilz“ Kombucha. Alle Untersuchungen bezüglich der Eignung der Mikroorganismen SE aus Recycling-Leuchtpulver zu laugen wurden als Fed-Batch-Experimente durchgeführt.

Es konnte gezeigt werden, dass die Komplexbildung der Seltenen Erden durch mikrobielle Metaboliten zu wesentlich höheren SE-Konzentrationen im Überstand führte als in den jeweiligen Kontrollen. Demzufolge ist es möglich mikrobielle Prozesse für die Rückgewinnung von SE zu nutzen. Sie stellen somit eine potentielle umweltfreundliche Alternative zu den derzeit angewendeten Methoden dar.

1. Roskill, Rare Earths & Yttrium: Market Outlook to 2015. 14th Edition. 2011, London.
2. Gallenkemper, B. and J. Breer, Analyse der Datenerhebung nach ElektroG über die Berichtsjahre 2009 und 2010 zur Vorbereitung der EU-Berichtspflicht 2012, in Fachgebiet III 1.6 (Produktverantwortung), D. Horig (Editor) 2012, Umweltbundesamt: Dessau-Rosslau, Ahlen.
3. Lightcycle, Verwertbare Bestandteile von Altlampen, 2014, Riemann, Stephan.
4. Haucke, E., T. Huckenbeck, and R. Otto, Verfahren zur Rückgewinnung seltener Erden aus Leuchtstofflampen, Osram AG, Editor 2011: Germany.
5. Wojtalewicz-Kasprzak, A., Erzeugung von synthetischen Selten-Erd-Konzentraten aus Leuchtstoffabfällen. Technische Universität Clausthal, Fakultät für Energie- und Wirtschaftswissenschaften. 2007
6. Evans, C.H., Biochemistry of the Lanthanides. Biochemistry of the Elements, ed. E. Frieden. Vol. 1. 1990, New York, London: Plenum Press.
7. Morss, L.R., Yttrium, Lanthanum, and the Lanthanide Elements, in Standard Potentials in Aqueous Solution, A.J. Bard, R. Parsons, and J. Jordan, Editors. 1985, Marcel Dekker, Ink.: New York, Basel. p. 587-629.

Flüssig-Flüssig Extraktion von Indium aus polymetallischen Lösungen mit Cyanex 923, Cyanex 272 und DEHPA

R. Vostal, P. Fröhlich und M. Bertau

Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Technische Chemie

Die Aufbereitung von Metallerzen erfolgt größtenteils über pyro- und hydrometallurgische Verfahren, wobei sich biohydrometallurgische Verfahren als besonders vorteilhaft bei Laugungslösungen mit geringen Metallgehalten erweisen. Das in Freiberg gegründete Biohydrometallurgische Zentrum (BHMZ) nutzt gezielt Mikroorganismen zur Indiumgewinnung aus Erzen, Halden und Recyclingmaterial. Nach der biohydrometallurgischen Laugung bleibt eine verdünnte Lösung zurück, die als Hauptkomponenten Eisen und Zink enthält sowie Indium, Cadmium und Kupfer als Nebenbestandteile. In einer Modelllösung wurde sich in Anlehnung an die chemische Zusammensetzung von Sphalerit auf ein Dreikomponentensystem bestehend aus Eisen (462, bzw. 5.500 mg/L), Zink (6.500 mg/L) und In (10 mg/L) beschränkt, um daran die Effizienz der Flüssig-Flüssig-Extraktion von Indium unter verschiedenen Prozessparametern zu untersuchen.

Es wurden drei industrielle Extraktionsmittel eingesetzt: Cyanex 272, Cyanex 923 und DEHPA (Bis(2-diethylhexyl)-phosphat). Cyanex 272 ist eine organisch substituierte Phosphinsäure und Cyanex 923 ein Gemisch organischer Phosphinoxide, die eigentlich zur Extraktion von Nickel, Cobalt und dreiwertigen Lanthanoiden eingesetzt werden. Die Modelllösung wurde jeweils mit einer 0,5 M Cyanex 272, 0,2 M Cyanex 923 und 0,05 M DEHPA-Lösung in Kerosin versetzt und extrahiert. Das Phasenverhältnis von organischer zu wässriger Phase lag bei der Extraktion bei 1:10. Nach der Phasenseparation wurde die Metallkonzentration in der wässrigen Phase durch Flammen-AAS bzw. über die Graphitrohrtechnik bestimmt. Die aus der Massenbilanz berechnete Metallkonzentration an Indium, Zink und Eisen in der organischen Phase wurde durch Reextraktion mit Schwefelsäure bestätigt. Die Extraktionseffizienz lag bei 95% für Indium, während hingegen Eisen nur zu 3% extrahiert wurde und keine Extraktion für Zink festgestellt werden konnte.

In der Tabelle sind die Ergebnisse der Extraktion von Eisen, Indium und Zink für alle drei Extraktionsmittel dargestellt. Es konnte gezeigt werden, dass Indium quantitativ von Zink mit Cyanex 272 extrahiert werden kann. Ein ähnliches Ergebnis wurde mit DEHPA als Extraktant erzielt. Indium wurde zu 95% mit DEHPA extrahiert. Cyanex 923 zeigte sich letztendlich als ungeeignet für die Separation, da mit gleicher Extraktionseffizienz für Eisen nur relativ geringe Extraktionseffizienz für Indium erzielt wurde. Wenn Eisen als Zweiwertige Ionen vorliegt ist keine Vorbehandlung der Laugungslösung notwendig, um Eisen zu maskieren. Dadurch kann die Extraktion in einem Extraktionsschritt durchgeführt werden. Im Fall von Eisen als Fe³⁺ ist entweder eine Reduktion des Eisens vor der Extraktion nötig oder eine nachfolgende reduktive Reextraktion durchzuführen.

Tabelle

Versuch	Metall	Basislösung mg/L	Extraktion in % bei Vo/Va = 1:10		
			0,05 M DEHPA	0,5 M Cyanex 272	0,2 M Cyanex 923
1	Zn	6,500	0	0	0
	Fe	462	0	0,5	3,4
	In	10	>95	>95	50
2	Fe	5,500	8,5	8,5	10
	In	10	>95	>95	50

Das Gipsrecyclingkonzept der deutschen Gipsindustrie

Jörg Demmich

Knauf Gips KG

Vor dem Hintergrund der zunehmend knapper werdenden Rohstoffe spielt das Thema Ressourceneffizienz sowohl auf europäischer als auch auf deutscher Ebene eine immer wichtigere Rolle. Die Schonung von Rohstoffressourcen nimmt dabei eine wesentliche Rolle ein. So wird in dem deutschen Ressourceneffizienzprogramm ProgRess (2012) der Bundesregierung ausgeführt, dass dem Baugewerbe eine wegen seiner großen Massenströme zentrale Bedeutung bei der Ressourceneffizienz zukommt. Der Bauwerksbestand sei ein bedeutendes Lager von Rohstoffen, die überwiegend dem Recycling und der Wiederverwertung zugeführt werden müssten.

Vor diesem Hintergrund hat die deutsche Gipsindustrie, zusammenschlossen im Bundesverband der Gipsindustrie e. V. (BV Gips), Berlin, Mitte 2012 ein Recyclingkonzept für Gipsplattenabfälle veröffentlicht und Ende 2013 überarbeitet. In dem Vortrag wird dieses Konzept erläutert und über den aktuellen Stand der Umsetzung berichtet. Im Einzelnen wird eingegangen auf

- die umweltpolitischen Zielsetzungen EU und Deutschland,
- Aufkommen und Verwertung/Recycling von Bau- und Abbruchabfällen,
- Herkunft von Gipsabfällen,
- die aktuellen Entwicklungen der rechtlichen Rahmenbedingungen zur Verwertung mineralischer Abfälle,
- Erläuterung des Recyclingkonzepts, bestehend aus den Elementen Zusammenarbeit Recycling- und Gipsindustrie, Qualitätsanforderungen an RC-Gips, annehmende Gipswerke und Annahmekapazitäten, Ende der Abfalleigenschaft von RC-Gips,
- Kurze Vorstellung des europäischen Recyclingprojekt (GTOG – Gypsum to Gypsum),
- Fazit und Ausblick.

Das BMUB unterstützt das verbandseinheitliche Recyclingkonzept, erste Projekte stehen kurz vor der Realisierung.

Einsatz europäischer Kalzium-Bentonite in Kunststoffcompounds

Elke Krischey, Helmut Flachberger und Karl-Heinz Ohrdorf

Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung, Montanuniversität Leoben, Österreich

Montmorillonit aus ausgereinigten, natürlichen und organophil modifizierten Natrium-Bentoniten ist ein Standardfüllstoff in Kunststoffcompounds. Die in Europa industriell verarbeiteten Bentonite treten allerdings ausschließlich als Kalzium-Bentonite auf. Der Montmorillonit-Gehalt dieser Lagerstätten variiert größenordnungsmäßig zwischen 65 % - 90 %, wobei die bisherigen Untersuchungen aufgezeigt haben, dass Montmorillonitgehalte jedenfalls > 90 % für den Einsatz in Kunststoffcompounds eine Grundvoraussetzung für diesen Einsatzfall darstellen.

Der Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung konzentriert seine Forschungsaktivitäten daher seit einigen Jahren in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro für Bentonit-Technologie Dipl.-Ing. Ohrdorf (I.B.O.) und den Lehrstühlen für Kunststoffverarbeitung und Chemie der Kunststoffe an der Montanuniversität Leoben auf die Entwicklung funktionaler Nanofüllstoffe aus europäischen Bentonitlagerstätten für Kunststoffcompounds, um deren mechanische Eigenschaften (z.B. Elastizitätsmodul, Steifigkeit, Druckfestigkeit) zu verbessern. Dazu ist es notwendig, diese Rohbentonite vorab alkalisch optimal nach I.B.O. zu aktivieren, d.h., sie den natürlichen Natrium-Bentoniten anzugleichen, die vorliegenden Montmorillonit-Schichtpakete in hochturbulenter Strömung zu delamellieren, die weitgehend vereinzelt Montmorillonit-Lamellen von unerwünschten Begleitmineralen zu befreien und anschließend organophil zu modifizieren. Um einen möglichst hohen Ausreinigungsgrad zu erzielen, werden dazu Hydrozyklone kleinster und modernster Bauart eingesetzt. Ein weiterer Schwerpunkt dieses Forschungsprojektes ist die Aufkonzentration und Entwässerung der ausgereinigten, kolloidalen Suspensionen in zwei Stufen: Sedimentation und Filtration. Um relevante Qualitätsmerkmale, wie etwa das Vorliegen von vereinzelt Montmorillonit-Lamellen sowie deren „aspect-ratio“ zu bestimmen, kommen TEM- und ESEM-Elektronenmikroskopie zum Einsatz.

Die Präsentation stellt einige der durchgeführten experimentellen Untersuchungen und die dabei erzielten Ergebnisse vor.

Anreicherung von Wertkomponenten aus der Schwarzmasse vorzerkleinerter Li-Ionen Batterien mit Hilfe der Magnetscheidung

Martha Gellner*, Hans-Georg Jäckel und Urs A. Peuker***

TU Bergakademie Freiberg

**Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik*

***Institut für Maschinenbau*

Die Bundesregierung (BMWi) sieht bis 2020 die Einführung mindestens einer Million Elektrofahrzeuge vor. Daraus ergibt sich ein zunehmender Einsatz an HV- Energiespeichern und resultierend eine Zunahme der Rücklaufmengen in einigen Jahren. Das Recycling dieser leistungsfähigen Speichermodule wird daher mittelfristig eine besondere Bedeutung erlangen. Die Elektrofahrzeuge unterliegen zudem der EU-Altfahrzeugrichtlinie, gemäß der ab 2015 die gesetzlich vorgeschriebene Verwertungsquote von 85/95 % (stoffliche/energetische Verwertung) für Elektro-Altfahrzeuge einzuhalten ist. Bei der mechanischen Aufbereitung der HV-Speicher fällt neben den Konstruktionswerkstoffen, und mit einem Anteil von bis zu 30 % der Gesamtmasse eine sogenannte Schwarzmasse-Fraktion (< 1 mm) an. Diese besteht aus dem Aktivmaterial der Elektroden, Elektrolyt-Rückständen, Speichermaterialien und dem Feinanteil der Konstruktionswerkstoffe.

Zum Erreichen der vorgeschriebenen Verwertungsquoten müssen auch die Wertstoffkomponenten der Schwarzmasse (z.B. Co, Mn, Ni, Cu, Al) zurückgewonnen werden. In bestehenden Recyclingprozessen wird sich derzeit meist nur auf ein bis zwei dieser Komponenten beschränkt. Durch Ausnutzung der verschiedenen Eigenschaften (Dichte, Suszeptibilität, Oberflächenbeschaffenheit,...) der einzelnen Materialkomponenten sollen alle Wertstoffe so angereichert werden, dass sie einer metallurgischen Weiterverarbeitung zugänglich gemacht werden können.

Im vorliegenden Beitrag werden die Ergebnisse der Magnetscheidung als trockener Prozess zur Anreicherung bestimmter Materialkomponenten des Forschungsprojekts ABattReLife vorgestellt.

Bei drei verschiedenen Feldstärken zwischen 0,5 T und 1,0 T wurden die Schwarzmasse-Fractionen (< 1,0 mm) aus einem Gemisch von Schwarzmassen unterschiedlicher Li-Ionen Batterien (Co > 20 %; Ni, Mn < 3 %) bzw. sortenreiner Li-Ionen Batterien (Ni, Mn, Co zw. 2 - 20 %) bzw. auf einen Bandringmagnetscheider aufgegeben und in ein magnetisches und ein nicht-magnetisches Produkt sortiert.

In den Versuchen konnte zunächst festgestellt werden, dass eine Anreicherung einzelner Materialkomponenten im magnetischen Produkt prinzipiell möglich scheint. Die Größe und Suszeptibilität der Schwarzmassepartikel scheint dabei eine Rolle zu spielen.

Kupferlaugung aus Kupferschiefer mit organischer Säure

**Sophia Kostudis, Kai Bachmann, Sabine Kutschke, Katrin Pollmann,
und Jens Gutzmer**

Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie

Die steigende Nachfrage an Basismetallen wie Kupfer, aber auch strategischen Elementen wie Gallium oder Molybdän, steht einer verringerten Qualität und erhöhter Komplexität vorhandener Erzressourcen gegenüber. Biotechnologische Ansätze wie die Biolaugung können auch mit diesem Ausgangsmaterial effiziente Abbauprozesse liefern. So konnten mithilfe von Schimmelpilzen und organischen Säuren vielversprechende Ergebnisse in der Kupferlaugung aus Kupferschiefer (Polkowice/Lubin, Polen) erzielt werden. Der europäische Kupferschiefer ist eine potente lokale Ressource und zeichnet sich durch hohe Anteile organischer Verbindungen und Carbonate, eine komplexe Matrix und maximalen Kupferkonzentrationen von ca. 5 % aus. Insbesondere der hohe Carbonatgehalt von ca. 18 % bringt die herkömmlichen Biolaugungsverfahren mit säureliebenden Bakterien an ihre Grenzen.

Der Beitrag zeigt die Auswirkungen der Säureeinwirkung auf die Mineralogie des Kupferschiefers. Vornehmlich wird Chalkosin gelaugt, aber auch Kupfereisensulfide wie Bornit und Chalkopyrit. Die Gesamtkupferausbeute liegt bei durchschnittlich 44 % in einfachen Ansätzen in Schüttelkolben.

Energieeffiziente Abscheidung von Feinstäuben mit dem Rotationsentstauber

Michael Rutz*, Sylvia Schade-Dannewitz*, J. Poerschke*, D. Barnstedt**

**Fachhochschule Nordhausen, Studiengang Umwelt- und Recyclingtechnik*

***Schulz & Berger Luft- und Verfahrenstechnik GmbH*

Filtrationsanlagen zur Entstaubung feststoffbeladener Aerosole finden in vielen Industriebereichen Anwendung. Bei höheren Rohgasstaubkonzentrationen kommen abreinigbare Oberflächenfilter zum Einsatz. Oft handelt es sich bei der Entstaubung um periphere Prozesse, denen trotz verhältnismäßig hoher Betriebskosten hinsichtlich Optimierung wenig Beachtung geschenkt wird. Neben diesen Anwendungen mit Staub als zu entsorgendem Produkt existieren auch zahlreiche Beispiele mit Staub als Wertprodukt. Eine möglichst vollständige Rückgewinnung ist somit ökonomisch anzustreben als auch auf Basis geltender Gesetzgebung ökologisch erforderlich.

Konventionelle Entstaubungskonzepte wie z.B. Schlauch-, Taschen- oder Patronenfilter sind seit Jahrzehnten etabliert und halten die geforderten Staubemissionsgrenzwerte in der Regel problemlos ein. Bei Anwendungen mit besonders feinen, schlecht agglomerierenden Stäuben wird allerdings der Effekt der zirkulierenden Staubanteile beobachtet. Dabei handelt es sich um bereits am Filtermittel abgeschiedene Staubanteile, die nach der Abreinigung nicht direkt aus dem Prozessraum ausgetragen werden sondern sich erneut am Filterelement anlagern. Hohe Verweilzeiten dieser Staubanteile im Prozess sind die Folge. Vereinzelt müssen aus diesem Grund Filteranlagen bzw. -teile vorübergehend abgeschaltet werden, um dem Staub den Austritt aus dem Prozessraum zu ermöglichen. Als Grund hierfür ist die geringe Sinkgeschwindigkeit feiner Partikel und die Tatsache zu nennen, dass der Staub allein unter Wirkung der Schwerkraft nach unten aus dem Filter ausgetragen werden muss. Diese zirkulierenden Staubanteile können die Energieeffizienz von Filteranlagen zum Teil erheblich reduzieren.

Ziel der Forschungsarbeiten an der Fachhochschule Nordhausen ist es, einen neuen Typ abreinigbarer Oberflächenfilter, genannt Rotationsentstauber, zu entwickeln. Dieser weist Prinzip bedingt Vorteile zur energieeffizienten Abscheidung problematischer Stäube (fein, schlecht agglomerierend) durch Vermeidung zirkulierender Staubanteile auf. Zur Entwicklung dieses Konzeptes wurden u.a. ein Filterprüfstand zur Charakterisierung des Filtrationsverhaltens abreinigbarer Oberflächenfilter (in Anlehnung an DIN ISO 11057) sowie eine kleintechnische Versuchsanlage des Rotationsentstaubers aufgebaut. Der Rotationsentstauber wird bedarfsgerecht auf Grundlage konkreter Anwendungsfälle entwickelt. Zum Nachweis der Leistungsfähigkeit erfolgt ein Benchmark mit einem konventionellen Oberflächenfilter unter praxisnahen Bedingungen. Bis zur Marktreife sind noch konstruktive und verfahrenstechnische Probleme zu lösen, bevor eine Maßstabsübertragung stattfinden kann.

MopaLIBS

Einsatz von Inline-Elementanalysatoren in Recyclinganlagen

Angelika Feierabend und Lothar Cordts

SECOPTA GmbH Berlin

Der Einsatz sensorgestützter Messsysteme für die Sortierung im Recycling ist gegenwärtig Stand der Technik. Im Wesentlichen werden hierfür Mess- und Analysesysteme genutzt, die Farb- und Formunterschiede erkennen oder auf Basis der Materialdichte klassifizieren. Oftmals reichen diese physikalisch basierten Stoffmerkmale nicht aus. Aufschluss über die chemische Zusammensetzung von Stoffströmen geben Messverfahren, die Materialien auf Grundlage ihrer molekularen oder atomaren Zusammensetzung bewerten. LIBS ("Laser Induced Breakdown Spectroscopy") ist ein laserspektroskopisches Messverfahren, mit welchem die elementare Zusammensetzung von Materialien analysiert wird. Der Fokus der Anwendungen lag bis vor wenigen Jahren hauptsächlich in den Bereichen Wissenschaft und Forschung. Die Entwicklung leistungsfähiger und robuster Laser war Grundlage dafür, dass diese Technologie inzwischen auch im industriellen Produktionsumfeld etabliert ist.

Die Firma Secopta GmbH entwickelt und produziert laserspektroskopische Systeme zur Elementanalyse auf Basis der LIBS-Technologie. Das Unternehmen vertreibt die Technik weltweit, vorzugsweise für den industriellen Einsatz zur Lösung unterschiedlicher Problemstellungen in den Bereichen Qualitätskontrolle, Recycling und Volumenstromanalyse. Für Anwendungen im Bereich Recycling werden die Multielement-Analysatoren vom Typ MopaLIBS zur Analyse und Sortierung von Metallen sowie mineralischen Industrieprodukten eingesetzt. Dabei wird neben der sortenreinen Trennung unterschiedlicher Materialtypen der Fokus auf die Erzeugung von Fraktionen mit quantitativ vordefinierten Anteilen an Legierungselementen gesetzt.

Im Rahmen des Vortrages sollen Funktion und Leistungsfähigkeit der inline arbeitenden MopaLIBSElementanalysatoren vorgestellt werden. Weiter soll sich das anvisierte Referat inhaltlich in drei Teile strukturieren:

1. Präsentation von zwei Fallbeispielen, die den Einsatz der MopaLIBS-Technik in automatisch arbeitenden Recyclinganlagen demonstrieren. Hierbei wird es sich um die Identifikation und nachfolgende Sortierung von NE-Metallen aus dem Haushaltsmüll sowie um die Analyse und Sortierung von Feuerfestmaterialien handeln.
2. Vorstellung weiterer, wirtschaftlich relevanter Anwendungsbeispiele, für welche der Einsatz der MopaLIBS-Technik gegenwärtig vorbereitet wird (Analyse und Sortierung von Aluminiumschrotten bzw. von niedrig legierten Stählen).
3. Last not least soll der Einsatz der Technik im Bereich Volumenstromkontrolle für mineralische Rohstoffe vorgestellt werden. Typische Anwendungen sind z. B. die Überwachung der Homogenität von Massenströmen oder die Bestimmung von unterschiedlichen Materialqualitäten auf Basis der Analyse ihrer chemischen Zusammensetzung.

Die Partikelform in Abhängigkeit vom Zerkleinerungsverfahren und ihr Einfluss auf Fließeigenschaften und Entnahmemassestrom

Christian Füll, Thomas Hoffmann und Jochen Mellmann

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim

Die Partikelform gehört zu den Basiseigenschaften von Schüttgütern. Für ihre Bestimmung existieren in der Literatur zahlreiche Vorschläge. In den durchgeführten Untersuchungen wurde in einer ersten Versuchsreihe als Formfaktor FF (Elongation) das Verhältnis von Partikellänge a zu Partikelbreite b gewählt. Aus den Messungen wurden als Verteilungsparameter einer logarithmischen Normalverteilung der Zentralwert $FF_{50;0}$, der Modalwert FF_h und die Standardabweichung FF bestimmt. In einer zweiten Versuchsreihe erfolgte die Kennzeichnung der Partikelform durch Bestimmen der fraktionären Dimension D . Sie wird ermittelt indem der tatsächliche Umfang eines Partikels durch die Länge L eines Polygonzuges mit der Seitenlänge angenähert wird:

$$L = K \cdot a^{1-D} \quad (1)$$

Die beiden Konstanten K und D charakterisieren die Unregelmäßigkeit der Partikelkontur. D liegt zwischen 1 und 2 und ist umso größer, je unregelmäßiger die Kontur ist.

In den durchgeführten Untersuchungen ergaben sich bei der Zerkleinerung verschiedener Getreidearten mit einer Hammermühle (Prall) und einem Walzenstuhl (Druck, Scherung) Unterschiede der Partikelform zwischen den Gutarten und vor allem in den Werten für die fraktionäre Dimension, die sich auf die Fließeigenschaften und den Entnahmemassestrom auswirken. Für zwei Partikelgrößenfraktionen, die im noch kohäsiven Bereich ($x = 0,2 \dots 0,5$ mm) liegen, nimmt mit Zunahme der Elongation bzw. der fraktionären Dimension die Zugfestigkeit zu und die Fließfähigkeit nach Jenike ab. Dies zeigte sich auch für eine Partikelgrößenfraktion ($x = 0,5 \dots 0,8$ mm) mit kohäsionslosen Eigenschaften. Dies bedeutet, dass ein Abweichen der Partikelform von der Kugelgestalt wie auch eine Zunahme der Rauheit von Partikeloberflächen zum Verschlechtern der Fließeigenschaften führt.

Da das Ausfließen von Schüttgütern aus Behältern als Strömungsvorgang betrachtet werden kann, bietet sich die Verwendung der Froudezahl Fr als dimensionslose Kennzahl an:

$$Fr = v \cdot (g \cdot L)^{-1/2} \quad (2)$$

v – charakteristische Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

g – Erdbeschleunigung [m/s^2]

L – charakteristische Länge [m].

Die Froudezahl verringert sich mit Zunahme des Formfaktors FF der Partikel sowie mit Zunahme der Standardabweichung von Formfaktorverteilungsfunktionen. Weiterhin besteht ein funktionaler Zusammenhang zwischen Froudezahl Fr und Fließfähigkeit ff_c . Mit Abnahme der Fließfähigkeit nehmen auch die Froudezahl und der Entnahmemassestrom ab.

Im Vortrag werden Ergebnisse präsentiert zu:

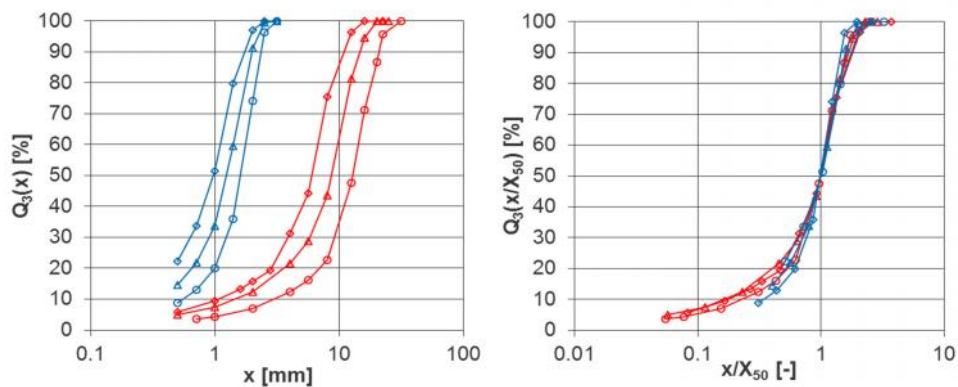
- Fließfähigkeit nach Jenike in Abhängigkeit von der Partikelform.
- Massestrom bei der Entnahme landwirtschaftlicher Schüttgüter aus einem Modellbehälter in Abhängigkeit von der Fließfähigkeit und der Partikelform
- Anwendung der Froudezahl als dimensionslose Ähnlichkeitskennzahl.

Selbstähnlichkeit in der Zerkleinerungstechnik

Michael Klichowicz, Mathis Reichert und Holger Lieberwirth

Institut für Aufbereitungsmaschinen, TU Bergakademie Freiberg

Selbstähnlichkeit beschreibt in der Aufbereitungstechnik ein Phänomen, welches unter bestimmten Voraussetzungen bei einer Vielzahl von Partikelgrößenverteilungen beobachtet werden kann. Charakteristisch für ähnliche Verteilungen ist, dass unabhängig von der tatsächlichen Größe der Partikel die dazugehörigen normierten Verteilungskurven übereinanderliegen. In der Zerkleinerungstechnik kann der ursprünglichen Definition folgend von selbstähnlichen Produktverteilungen gesprochen werden, wenn diese aus einem gleichbleibenden Aufgabegut heraus erzeugt werden.



Einer selbstähnlichen Verteilung eines Zerkleinerungsproduktes liegt dabei offensichtlich eine fraktale Rissstruktur zu Grunde, welche sich bei der Druckbeanspruchung spröder Stoffe ausbildet.

Selbstähnliche Partikelgrößenverteilungen konnten bisher insbesondere bei der Einzelpartikelzerkleinerung, der Gutbettzerkleinerung und der Mahlung in Kugelmöhlen nachgewiesen werden. Die dabei betrachteten Größenbereiche strecken sich von wenigen μm bis in den einstelligen Millimeterbereich. Mit Hilfe verschiedener Stempelpressen wurde das Bruchverhalten bei Einzelpartikelbeanspruchung von Quarzit-, Granodiorit- und Dolomitpartikeln in den Bereichen von 3 mm, 30 mm und 300 mm Aufgabepartikelgröße untersucht. Dabei konnte bei allen drei betrachteten Stoffen und Größenbereichen selbstähnliches Zerkleinerungsverhalten nachgewiesen und damit auch erstmals im Bereich des Grobzerkleinerns experimentell bestätigt werden.

Im Rahmen des Vortrags werden zunächst die Grundlagen und der Ursprung zur Selbstähnlichkeit von Zerkleinerungsprodukten erläutert. Weiterhin wird aufbauend auf aktuellen Versuchsergebnissen eine Möglichkeit aufgezeigt, Selbstähnlichkeit quantitativ zu beurteilen, womit die Praxisrelevanz dieser Thematik deutlich gesteigert werden kann.

Selektiver Aufschluss definierten Betonbauschutts mittels Walzenschüsselmühle in Verbindung mit trockener Sortierung

Andreas Jungmann*, Andreas Schiffers*, André Bätz, Holger Wulfert**,
und Paul Erwerth****

**CALA Aufbereitungstechnik GmbH & Co. KG*

***Loesche GmbH*

Es ist eine bekannte Tatsache, dass Sand und Kies in den Lagerstätten sehr selten in dem Verhältnis vorkommen, wie es der Hauptmarkt für diese Produkte (Beton/Transportbeton/Beton-Fertigteile) erfordert.

In den Niederlanden gibt es geologisch umfassende Lagerstätten an Sand aber sehr stark abnehmend nur noch geringe Mengen an genehmigungsfähigen abbaubaren Kiesen. Naheliegender Weise ist die Bereitschaft und das Interesse u. a. dort durchaus sehr groß, die im Beton verbrauchte Körnung selektiv und weitgehend zementsteinfrei zurück zu gewinnen.

In Deutschland sind im Norden (Mecklenburg Vorpommern und Schleswig Holstein) in den letzten Jahrzehnten immer wieder Untersuchungen angestellt worden, wie man dem natürlichen Mangel an Körnung durch sandreiche Betone und Beton aus körnigem RC-Material (Bauschutt/Schlacke) bzw. durch Brechkorn entgegen treten kann.

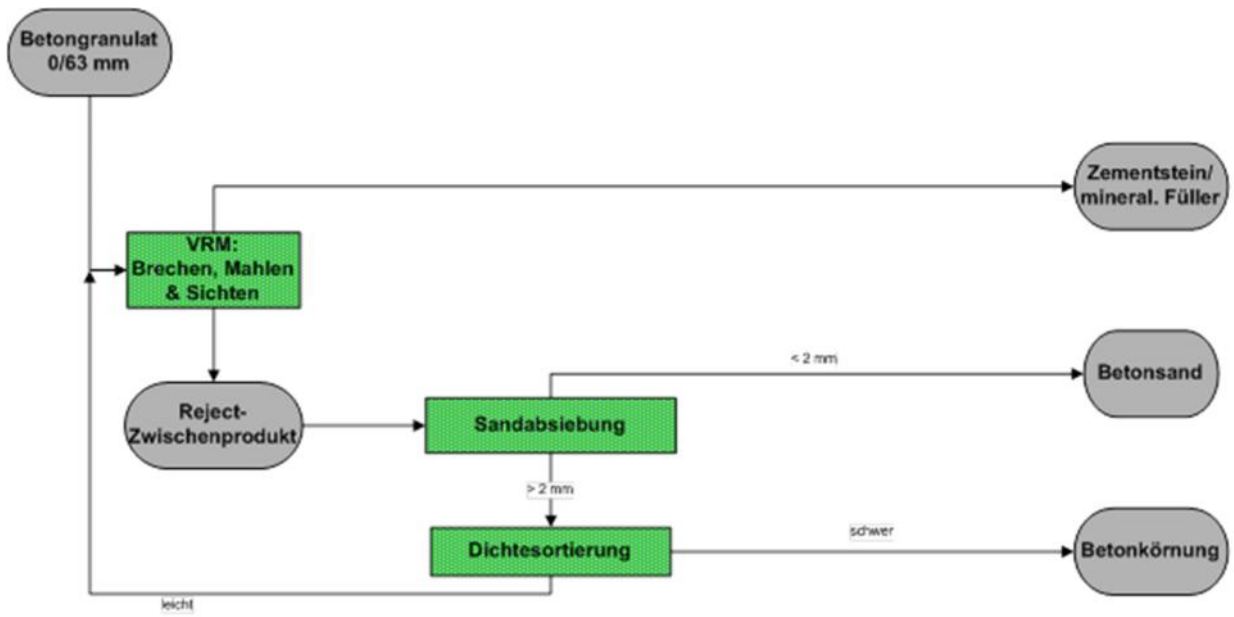
Setzt man klassierten und traditionell hergestellten Betonbruch als Zuschlag für Frischbeton ein, ist bekannt, dass nur eine Menge von etwa 10-15% der Körnung durch RC-Material ersetzt werden können. Erhöht man darüber hinaus den Anteil an RC-Körnung, steigt der Wasseranspruch und damit einhergehend der Zementbedarf, will man die Betonfestigkeit konstant halten. Steigender Zementbedarf ist aber wiederum wirtschaftlich unsinnig, zumal ja, egal wo in der Welt Beton hergestellt wird, in der Regel der Binder der bei weitem teuerste Rohstoff im Beton ist.

Im Rahmen der Präsentation wird ein gemeinsam von Loesche und CALA entwickeltes Verfahren und damit verbunden eine gezielte Optimierung bzw. Anpassung der Walzenschüsselmühle an den Zerkleinerungsvorgang vorgestellt.

Das Konzept hat zum Ziel, durch den selektiven Aufschluss von Betonbruch in die Fraktionen Sand, Kies und Mörtel/Zementstein, die einzelnen Produkte weitgehend vollständig und im Falle der Körnung oberflächengereinigt zurück zu gewinnen. Dabei ist der Trocken-Zerkleinerung eine Sortierung nach der Dichte nachgeschaltet, wo verwachsene Produkte abgetrennt werden und zurück in die Mühle gelangen. Es entstehen beim Prozess 3 Produkte: Sand, Körnung und ein Füller am Feingutaustrag der Mühle, auf dessen Korngrößenzusammensetzung nach Kunden-Spezifikation in weiten Grenzen Einfluss genommen werden kann.

Es werden Ergebnisse zur Aufbereitung, die im Pilotmaßstab erzielt wurden, sowie darüber hinaus Verwertungsversuche der Produkte für eine Neuverwendung im Beton vorgestellt.

Die Vorstellung eines Anlagenkonzeptes mit einer Walzenschüsselmühle als Kernkomponente für eine Anlage, die so ausgeführt ist, dass sie Hüttensand, Klinker, bzw. Betonbrechen und mahlen kann schließt den Vortrag ab.



Anlagenkonzept zur Aufbereitung von Betonbauschutt

Prüfung auf Aufbereitbarkeit gebrauchter MgO-C Feuerfeststeine Investigations on the Processability of Spent MgO-C Refractories

S. Strubel*, H. Flachberger*, R. Nilica**

**Montanuniversität Leoben, Austria; **RHI AG, Technology Center Leoben, Leoben, Austria*

Refractories are ceramic materials, which are used where extreme conditions dominate (e.g. temperatures $>1,200^{\circ}\text{C}$, aggressive media like gases and slags, mechanical stress). They are especially used in plants of the basic industry. The production of refractories is based on mineral raw materials. Main primary raw materials are magnesite, graphite and bauxite, which belong to the group of critical or potentially critical raw materials.

Presently, landfilling is the main type of disposal. Recycling of spent refractories is only possible to a limited extent and is mostly connected with “downcycling”. Up to now, for the production of new refractories only selected secondary raw materials in a certain quality and grain size can be applied, which are blended with primary raw materials. In order to ensure the re-quired properties of refractory products, the use of recycled refractory materials is limited.

The problem is that during service life a part of them is consumed (due to abrasion and chemical dissolution) while the remaining proportion is often useless for recycling issues due to strong physical and chemical alterations or a high level of contamination like adhering slags. The existence of impurities complicates the treatment of the material and increases the processing costs. As a consequence, compared to primary raw materials recycled materials are often uneconomic. Furthermore, high quality requirements for refractory products have to be achieved. In addition, recycled materials are also used in non-refractory applications (e.g. as road bed materials or slag conditioner).

The challenge is to develop technically and economically feasible processing techniques to re-cover valuable materials in high quality and sufficient quantity. For this reason investigations concerning the characterisation of raw materials are of special importance. Using the example of spent magnesia carbon refractories these investigations are described in more detail.

Materialverbände auftrennen durch mikrowelleninduziertes Grenzflächenversagen

Steffen Liebezeit, Anette Müller, Barbara Leydolph und Ulrich Palzer

IAB – Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH

Bauwerke bestehen aus Baustoffen, die zu Materialverbänden zusammengefügt und zusätzlich mit verschiedensten „Oberflächenbeschichtungen“ versehen sind. Im Sinne der Wiederverwertung ist es erforderlich, diese Verbände durch geeignete Verfahren aufzuschließen, um die Materialien dann voneinander zu trennen. So könnten die Voraussetzungen für eine stoffspezifische Verwertung bis hin zur Rückführung der Materialien in das Primärprodukt geschaffen werden.

Zu den herkömmlichen Methoden, Materialverbände aufzuschließen, zählt die mechanische Zerkleinerung, für die bei der Bauschutttaufbereitung Backen- und Prallbrecher verwendet werden. Der dabei erzielte Aufschlussgrad nimmt mit zunehmendem Zerkleinerungsgrad zu. Das bedeutet, dass ein hoher Aufschlussgrad mit der Entstehung von feinen Partikeln einhergeht, was die anschließenden Verfahrensschritte oder die Verwertung selbst erschweren kann. Als alternative Möglichkeit, einen hohen Aufschluss zu erreichen, bietet sich die Trennung entlang der Materialgrenzflächen, also ein Versagen der Verbände, an. In diesem Fall wären die Entstehung großer Feinkornmengen vermeidbar und eine anschließende Sortierung leichter realisierbar.

Für Betone wurde ein solches Grenzflächenversagen durch das elektrodynamische und das elektrohydraulische Verfahren [1], [2], [3] erreicht. Bei beiden Verfahren wird die Beanspruchung des Betons, der in einem Wasserbad liegt, durch eine Unterwasserfunkenentladung ausgelöst. Beim elektrodynamischen Verfahren werden sind die elektrischen Stellgrößen so gewählt, dass der Funkendurchschlag direkt durch den Beton erfolgt. Beim elektrohydraulischen Verfahren verläuft der Durchschlag durch das Wasser. Die dabei entstehenden Druckwellen wirken auf den Beton. Die elektrohydraulische Aufschlusszerkleinerung ist in der Lage, einen großen Prozentsatz zementsteinfreier Partikel zu erzeugen.

Eine weitere Möglichkeit, um den Aufschluss von Beton zu realisieren, ist die Anwendung von Mikrowellen. Von Akbarnezhad [4] wurde mit Hilfe von Modellrechnungen und experimentellen Untersuchungen nachgewiesen, dass sich die elektromagnetischen und thermischen Eigenschaften von Gesteinskörnungen und Zementmörtel ausreichend unterscheiden, um zwischen diesen Bestandteilen hohe thermische Spannungen an den Grenzflächen zu erzeugen. Das ermöglicht die Abtrennung des an den Oberflächen von rezyklierten Gesteinskörnungen anhaftenden Zementsteins und verbessert so die Qualität der Gesteinskörnungen. Auch Lippiatt [5] konnte eine Entfestigung von Beton und einen verbesserten Aufschlussgrad nachweisen, wenn der Beton vor der mechanischen Beanspruchung eine Mikrowellenbehandlung durchlief.

Unter dem Stichwort „Debonding on demand“ werden wiederlösbare Klebverbindungen entwickelt, die im Automobil- und Flugzeugbau, in elektronischen Bauelementen aber auch im Bauwesen Einsatz finden können [6]. Eine Variante, die verfolgt wird, widmet sich der Modifikation von Klebstoffen durch Additive, um das Ankoppeln von Mikrowellen zu ermöglichen. Geeignete Additive sind beispielsweise nanoskalige Ferrit-Füllstoffe oder Graphit. Angestrebt wird ein schadfreies Entfügen von Bauteilen, was Reparaturen aber auch das stoffliche Recycling am Produktlebensende erleichtern soll.

Im vorliegenden Beitrag wird über ein Forschungsprojekt berichtet, das die Trennung von Baustoffverbänden durch mikrowelleninduziertes Grenzflächenversagen zum Inhalt hat. Im Mittelpunkt steht die Trennung von Ausbaustoffen wie Putzen oder Fliesen, die mit tragenden Baustoffen verbunden sind und die dafür ggf. erforderliche Präparation der Grenzfläche. Die Wechselwirkungen zwischen mineralischen Baustoffen und Mikrowellen sind – mit Ausnahme des Betons – bisher nur selten Gegenstand der Forschung gewesen. Deshalb wurden zunächst im Sinne eines Screening unterschiedliche Baustoffe wie Ziegel, mineralisch gebundene Wandbaustoffe, Natursteine sowie Zement-, Kalkzement- und Gipsputze einer Mikrowellenbehandlung unterworfen, um anhand der Temperaturentwicklung baustoffspezifische Unterschiede zu ermitteln und die beobachteten Effekte zu dokumentieren und zu systematisieren. Der zweite Schwerpunkt galt der Untersuchung von Additiven, die sich für eine gezielte Präparation der Grenzflächen eignen könnten.

Die Zusammenführung der Ergebnisse aus beiden Versuchsreihen soll genutzt werden, um den Haftverbund zwischen unterschiedlichen Baustoffen durch Zusätze so zu modifizieren, dass bei der Einwirkung von Mikrowellen ein selektives Versagen entlang der Grenzflächen erreicht wird.

Literatur

- [1] Müller, A.; Linß, E.; Wollenberg, G.; Scheibe, H.-P.: Elektrohydraulische Zerkleinerung von Altbeton – neue Ergebnisse und Perspektiven. Ratgeber Abbruch & Recycling 2004, S. 51 – 59. Stein-Verlag Baden-Baden GmbH, Iffezheim, 2004.
- [2] Linß, E.; Müller, A.: High performance sonic impulses – an alternative method for processing of concrete. Int. J. Miner. Process. 74 S, 2004, S. 199 – 208.
- [3] selFrag-Lab Laboratory Fragmentator. Firmenprospekt der Firma Ammann Schweiz AG. <http://www.ammann-group.com>.
- [4] Akbarnezhad, A.: Microwave Assisted Production of Aggregates from Demolition Debris. Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy. Department of Civil Engineering National University of Singapore. 2010.
- [5] Lippiat, N.: Investigation of fracture porosity as the basis for developing a concrete recycling process using microwave heating. Thesis, Université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse. 2013.
- [6] Debonding on Demand. Bericht zum Verbundvorhaben. Förderkennzeichen PB 2090. Teltow 2009.

Das Projekt wird im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „r³“ – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien gefördert. Informationen zu den Projektpartnern unter www.r3-innovation.de/de/16095

Optimierung des Molybdänausbringens aus Porphyry-Kupfer-Erzen in Chile

Thomas Heinig

Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie

Gegenstand der Forschung sind Erze aus sogenannten Kupfer-Porphyry-Lagerstätten und das aus ihnen mittels Flotationsprozessen hergestellte Konzentrat. Die Gewinnung von Molybdän als Nebenprodukt stellt den vorrangig auf Kupferminerale ausgelegten Anreicherungsprozess vor verschiedene technische Herausforderungen. Das Ausbringen des Molybdän-Erzminerals (Molybdänit) ist bei der rezent verwendeten Konfiguration generell niedrig. Ziel des Projektes ist es über einen geometallurgischen Ansatz die Dynamik der Mineralphasen innerhalb der Prozesskette zu charakterisieren, mögliche Ursachen für dieses geringe Ausbringen zu detektieren und Lösungsvorschläge für den Gewinnungsprozess abzuleiten.

Konventionelle Ansätze zielen auf eine Verbesserung der Zellen, des Mahlgrades oder des Reagenzregimes. Entsprechend dem geometallurgischen Ansatz werden nicht nur die chemische Zusammensetzung ‚grade‘ und die Korngrößen der Prozessprodukte bestimmt, sondern mittels automatisierter rasterelektronenbasierter Bildanalyse auch Mineralogie und räumliche Beziehungen von Mineralen im Erz, Zwischenprodukten und Konzentraten quantitativ charakterisiert. Untersucht werden hierbei die einzelnen Schritte des Flotationsprozesses vor Ort und von kinetischen Flotationsversuchen im Labormaßstab. Dadurch ist es möglich einzelne Partikel bzw. Mineralphasen und deren Eigenschaftsänderungen während des industriellen Anreicherungsprozesses bzw. in nachgestellten Laborversuchen zu ausgewählten Aufbereitungsschritten (z.B. Grundflotation) nachzuvollziehen. In dem vorliegenden Projekt werden vorrangig die Veränderung der Form und des Aufschlussgrades der relevanten Körner detaillierter betrachtet. Erste Ergebnisse belegen den Einfluss von Aufschlussgrad und Korngröße auf den Flotationserfolg. So sind Mineralphasen mit einem Aufschlussgrad von 30 % der Oberfläche oder niedriger vorwiegend im Bergematerial zu beobachten.

Poster

Thermische und chemische Behandlung von Kraftwerksaschen zur Rückgewinnung strategisch wichtiger Metalle

B. Brett*, D. Schrader, K. Räuchle*, G. Heide** und M. Bertau***

**Institut für Technische Chemie, TU Bergakademie Freiberg*

***Institut für Mineralogie, TU Bergakademie Freiberg*

Die Verknappung natürlicher Ressourcen erfordert eine intelligenteren sowie effektivere Nutzung sekundärer Rohstoffe. Nur auf diese Weise können rohstoffarme Industrienationen, wie Deutschland, langfristig die Versorgungssicherheit strategisch wichtiger Metalle gewährleisten.

Einen wirtschaftlich vielversprechenden Ansatz stellt die Wertstoffgewinnung aus Braunkohlekraftwerksaschen dar. Diese enthalten unterschiedliche Mengen an Schwer-, Edel- und Spurenmetallen, wie auch an Seltenen Erden.

Allein in Deutschland fielen 2013 16 Mio. Tonnen Kraftwerksasche an, die aufgrund fehlender Verarbeitungstechnologien hauptsächlich im ausgekohlten Tagebau zur Verfüllung von Hohlräumen bzw. zur Gestaltung von Folgelandschaften verwendet werden.

Eine Problematik beim Recycling von Aschen ist, dass diese zum Teil in Mineralsäuren unlösliche Bestandteile, wie Alumosilikate, aufweisen. Ein innovativer Lösungsansatz ist der Aufschluss dieser Aschekomponenten unter hydrothermalen Bedingungen mit überkritischem CO₂, entsprechend einer künstlichen Verwitterung (Carbonatisierung). Darüber hinaus lassen sich durch gezieltes Tempern schwer- bzw. unlösliche Aschekomponenten in lösliche überführen, sei es durch Phasenumwandlung oder Rekristallisation amorpher Bestandteile.

Erste Versuche im Labormaßstab haben gezeigt, dass durch diese Vorbehandlungen eine Steigerung der Säurelöslichkeit bezogen auf die Metalle Eisen, Aluminium, Calcium und Magnesium um bis zu 60 % erreicht werden konnte. Zudem ist davon auszugehen, dass die Kombination der thermischen Aschevorbehandlung mit einer sich anschließenden Carbonatisierung und Säurelaugung im Idealfall eine nahezu vollständige Extraktion definierter Wertmetalle bewirkt.

Poster

Mineralogische Charakterisierung und thermische Behandlung von Braunkohlekraftwerksaschen

D. Schrader und G. Heide

Institut für Mineralogie, TU Bergakademie Freiberg

Die bei der Verbrennung von Braunkohle anfallende Asche enthält einen hohen Anteil an Schwer-, Edel- und Spurenmetallen, sowie seltene Erdenelemente. Eine Vielzahl dieser Elemente wird als Rohstoffe in der Industrie und Forschung benötigt. Somit stellt diese Asche eine wichtige Quelle dieser strategischen Elemente dar. Zu den strategischen Elementen gehören derzeit bspw. Magnesium, Wolfram, Chrom und Molybdän. Doch bis heute wird die Braunkohlenasche zu einem hohen Anteil ungenutzt auf Halden oder in Restlöcher eingebracht, dabei gehen viele Metalle und Elemente ungenutzt verloren. Da jedoch die Nachfrage genau dieser Metalle und Elemente stetig steigt, gewinnt auch das Recyceln immer mehr an Bedeutung. Es ist jedoch nicht so einfach diese Elemente aus der Asche zu Gewinnen.

Die anfallende Asche wird mineralogisch charakterisiert indem verschiedene Verfahren, wie z. B. XRD (qualitative und quantitative Phasenanalyse), REM-EDX und Lichtmikroskopie, angewendet werden. Die so gewonnenen Informationen werden genutzt, um die kristallinen Phasen von dem amorphen Anteil (Glasphase) zu unterscheiden. Für eine genauere Untersuchung des amorphen Anteils wird dieser thermisch behandelt. Um eine Kristallisation der Glasphase zu ermöglichen wird zunächst der Sinterpunkt mittels Erhitzungsmikroskopie bestimmt, damit im nächsten Schritt die Asche bis unter diesem erhitzt werden kann. Ist dies erfolgt, kann auch diese Fraktion mineralogisch charakterisiert werden. Für erste Versuche wurde Haldenmaterial verwendet, dieses wurde klassifiziert und dann mittels XRD und REM-EDX untersucht.

Eins der gewonnenen Ergebnisse ist, dass ein unterschiedlicher Phasengehalt in den verschiedenen Korngrößenfraktionen auftritt, z. B. je kleiner die Aschepartikel sind, desto weniger Quarz enthalten diese. Parallel dazu wurde auch „frische“ Filterasche untersucht, um die Verwertbarkeit der Haldenasche herauszustellen. Es wird davon ausgegangen, dass die Haldenasche, welche einer mehrjährigen Verwitterung ausgesetzt war, viel von den wertvollen Rohstoffen verloren hat und somit nur noch begrenzt von Nutzen sein kann, während die „frische“ Filterasche noch reich an diesen Rohstoffen und somit besser zur Wiederverwertung geeignet ist.

Poster

Zur Kennzeichnung des Aufschluss- und Trennerfolgs

T. Leißner*, **S. Matos Camacho****, **P. Atanasova****, **A. Kamptner*****,
K. Bachmann**, **T. Mütze***, **M. Rudolph****, **K.G. van den Boogaart****,
J. Gutzmer** und **U. A. Peuker***

**Technische Universität Bergakademie Freiberg*

***Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie*

****UVR-FIA GmbH Freiberg*

Moderne automatische Messverfahren für die Partikel- und Mineralanalyse basierend auf Körnerpräparaten haben die Möglichkeiten zur Beschreibung von Aufbereitungsprodukten entscheidend erweitert. Systeme wie der Mineral Liberation Analyzer (MLA) machen Informationen über Aufschluss- und Verwachsungsverhältnisse oder den Modalbestand relativ schnell verfügbar. Mithilfe solcher Messverfahren können Modelle zur Beschreibung des Aufbereitungserfolgs herangezogen werden, die aufgrund des erforderlichen Messaufwandes in der Vergangenheit keine große Anwendung gefunden haben.

Ein solches Modell ist die Berechnung einer Sortierkennzahl auf Basis von Flächenvergleichen in der Auftragung vom Wertstoffausbringen über dem Bergeausbringen. Die Berechnung war auf den Vergleich der Sortiererfolgsfläche mit einer theoretisch maximalen Fläche (gekennzeichnet durch vollständigen mechanischen Aufschluss des Wertstoffs) beschränkt, da die real vorliegenden Verwachsungsverhältnisse nicht bekannt waren. Durch die direkte Messung der Verwachsungskurve mittels MLA kann der Sortiererfolg in Abhängigkeit zu den limitierenden Aufschlussverhältnissen dargestellt werden. Dies ermöglicht das Zerlegen des Anreicherungsenerfolgs (Sortierkennzahl) in einen aufschlussbeeinflussten und einen trennprozessbeeinflussten Anteil.

Ermittelt man die Kennwerte an Partikelgrößenfraktionen, kann der Verlauf beider Kennzahlen über der Partikelgröße dargestellt werden. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit, einen Aufbereitungsprozess als Kombination von Zerkleinerung (mechanischen Aufschluss) und Anreicherung (Klassier- und Sortierprozesse) zu optimieren.

Das Poster stellt das erweiterte Modell und die mit ihm berechneten Kennzahlen anhand des Beispiels der Magnetscheidung zweier unterschiedlicher Erze dar.

Poster

Sensorgestützte Sortierung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle mit hyperspektraler Nahinfrarot-Sensorik

Elske Linß*, Mirko Landmann, Andrea Karrasch*** und Ferdinand Kaiser******

**Bauhaus-Universität Weimar, F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde*

*** Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH*

**** LLA Instruments GmbH*

***** S+S Separation and Sorting Technology GmbH*

Mineralische Bau- und Abbruchabfälle sind in ihrer Zusammensetzung stark heterogen, was eine stoffliche Verwertung erschwert. Der stark zunehmende Einsatz von mineralischen Materialverbänden und Gipsbaustoffen in den letzten Jahrzehnten verstärkt diese Problematik. Ist die Herstellung sortenreiner Materialfraktionen nicht möglich, verbleibt die Deponierung als einzige Alternative.

Innerhalb des vorgestellten Forschungsprojektes wird ein optisches Sortierverfahren auf Basis hyperspektraler NIR-Sensorik und der erforderlichen Erkennungssoftware entwickelt. Mittels Nahinfrarot-Sensorik ist es möglich, die einzelnen Baustoffarten (Ziegel, Beton, Kalksandstein, Porenbeton, Leichtbeton, Gips, ...) anhand ihrer chemisch-mineralogischen Eigenschaften zu erkennen. Unter Nutzung von Einzelkornsortiermaschinen können auf dieser Grundlage unerwünschte Fremd- und Störstoffe aus den Materialfraktionen abgetrennt werden. Hierbei soll auch die Erkennung und Abtrennung von Verbundpartikeln ermöglicht werden, die sich durch herkömmliche in der Baustoffrecyclingindustrie dominierenden Zerkleinerungsverfahren nicht vermeiden lassen. Insbesondere Gipsputz-Anhaftungen müssen auch in geringeren Konzentrationen erkannt und von der Wertstoff-Fraktion abgetrennt werden.

In Zusammenarbeit mit den Firmen S+S Separation and Sorting Technology GmbH und LLA Instruments GmbH wird eine Sortieranlage entwickelt, welche die Sortierung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle unter praktischen Gegebenheiten ermöglicht.

Die Hyperspektralkamera bietet aufgrund des eingesetzten Flächensensors eine wesentlich höhere Ortsauflösung bei einer sehr hohen Bildwiederholrate (mögliche Messfrequenz) von bis zu 270 Hz. Hierdurch lassen sich bereits sehr kleine Partikel unter einer sehr hohen Transportgeschwindigkeit erkennen und sortieren.

Mittels eines Demonstrators sollen die Leistungsgrenzen dieses Verfahrens erprobt werden. Begleitende ökonomische Untersuchungen sollen helfen, diese Technologie im Baustoffrecycling erfolgreich zu etablieren und somit Stoffkreisläufe zu ermöglichen.

Poster

Recycling Seltener Erden aus Leuchtstoffen

T. Lorenz, P. Fröhlich und M. Bertau

Institut für Technische Chemie, TU Bergakademie Freiberg

Leuchtstoffe aus Produktionsabfällen und End-of-Life-Leuchtstofflampen enthalten aktuell zwischen 6-18 Gew% an Y, Eu, Gd und Tb, welche ausnahmslos zu den strategischen Metallen gehören, deren zukünftige Versorgung als kritisch gilt. Auf Grund von Quecksilberbelastung und Mangels effektiver, preisgünstiger Recyclingstrategien werden diese jedoch bislang zum größten Teil deponiert. Die mit dem Poster und Vortrag vorgestellte Feststoffchlorierung mit Ammoniumchlorid ist eine Aufschlussmethode abseits konventioneller, nasschemischer oder pyrometallurgischer Verfahren, welche besonders beim Recycling von Seltenen Erden neue Möglichkeiten der Prozessführung bietet. Auf die Leuchtstoffe angewandt, erlaubt diese einen selektiven Aufschluss des Y und Eu, welche den Hauptanteil unter den enthaltenen Seltenen Erden stellen. Im Rahmen erster eigener Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass gegenüber der Literatur die experimentellen Parameter erfolgreich optimiert wurden und mit der Feststoffchlorierung eine effektive und weniger chemikalienintensive Alternative für das Recycling von End-of-Life-Leuchtstoffen zur Verfügung steht.

Poster

Aufbereitung nachwachsender Rohstoffe durch Zerkleinerung

Moritz Eisenlauer und Ulrich Teipel

Technische Hochschule Nürnberg, Mechanische Verfahrenstechnik

Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe, außerhalb des Bereiches der energetischen Nutzung, gewinnt in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung. Durch die Entwicklung neuer und innovativer Technologien sollen in Zukunft nachwachsende Rohstoffe zur Produktion von Vorprodukten und Plattformchemikalien für die chemische Industrie eingesetzt werden. Ein wesentliches Element bei der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen stellt neben dem Aufschluss, welcher die Trennung der drei Hauptkomponenten Cellulose, Hemicellulose und Lignin bezeichnet, die Zerkleinerung dar. Für die effiziente Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und um diese konkurrenzfähig gegenüber der Petrochemie zu machen, ist eine Steigerung der Rohstoffeffizienz von größter Bedeutung. Daher wurde im Rahmen dieser Arbeit die Zerkleinerung von nachwachsenden Rohstoffen am Beispiel von Holz durch verschiedene Trockenzerkleinerungsprozesse untersucht. Holz kann als orthotropes Material beschrieben werden. Es besitzt unterschiedliche und unabhängige mechanische Eigenschaften in Richtung der drei Hauptachsen- longitudinale, radiale und tangential Achse. Die longitudinale Achse verläuft parallel zur Faser, die radiale Achse senkrecht und die tangential Achse tangential zu den Wachstumsringen. Des Weiteren unterscheiden sich nachwachsende Rohstoffe mit ihren außergewöhnlichen Materialeigenschaften stark untereinander und gravierend von klassischen Materialien, welche meist ein sprödes Materialverhalten aufweisen. Durch eine optimierte und zielgerichtete Feinzerkleinerung nachwachsender Rohstoffe kann nicht nur die Ausbeute der Aufschlussverfahren gesteigert werden, sondern auch der Energiebedarf für die Zerkleinerung signifikant gesenkt werden. Ein besonderes Augenmerk wurde in dieser Arbeit auf Zerkleinerungsmaschinen mit Prall als Hauptbeanspruchungsart und Hölzern mit unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften gelegt.

Poster

Neuer Ansatz zum Recycling von Sägeflüssigkeiten auf Polyethylenglykolbasis aus Waferingprozessen

I. Nitzbon, U. Šingliar und M. Bertau

Institut für Technische Chemie, TU Bergakademie Freiberg

Die im Drahtsägeprozess zum Sägen von Siliciumwafern eingesetzte Sägeslurry, bestehend aus dem Abrasivmittel Siliciumcarbid und der Suspendierflüssigkeit Polyethylenglycol (PEG) reichert sich während des Prozesses zunehmend mit Siliciumabrieb an. Infolgedessen ändern sich die Eigenschaften der Slurry, so dass sie regelmäßig erneuert werden muss. Eine vollständige Aufbereitung der verbrauchten Slurry wird nach dem derzeitigen Stand der Technik nicht durchgeführt. Sowohl aus ökologischen als auch aus ökonomischen Gründen erscheint dies jedoch sinnvoll. Deshalb wurde ein Verfahren entwickelt, welches eine Trennung der Komponenten der Slurry dahingehend ermöglicht, dass diese nach dem No-Waste-Prinzip in den Wertschöpfungsprozess zurückgeführt werden können.

Das entwickelte Verfahren besteht aus zwei Teilschritten, der Abtrennung des PEG und der darauffolgenden chemischen Trennung des Sägerückstandes, bestehend aus Siliciumcarbid und elementarem Silicium. Die Abtrennung des PEG wird durch Druckfiltration unter Verwendung eines Filtrationshilfsmittels (Aceton) und nachfolgender Entfernung des Lösungsmittels durch N₂-Strippung realisiert. Dabei kann das PEG mit hoher Reinheit gewonnen werden. Vergleichsanalysen mit ungebrauchtem PEG weisen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Viskosität, pH-Wert, Brechungsindex, Dichte und Wassergehalt auf, so dass eine Rückführung des recycelten PEG in den Sägeprozess erfolgversprechend ist. Im zweiten Teilschritt des Aufbereitungsprozesses erfolgt die Trennung des Si/SiC-Gemisches über die selektive Umwandlung des enthaltenen elementaren Siliciums in Chlormethylsilane gemäß der Müller-Rochow-Synthese. Da aufgrund der geringen Korngröße des Si/SiC-Gemisches keine Reaktion in der Wirbelschicht möglich ist, wurde ein Festbettreaktor mit Ankerrührer entwickelt. Das Siliciumcarbid wird frei von elementarem Silicium erhalten und kann nach Abtrennung des zur Reaktion benötigten Katalysators verwertet werden. Eine Rückführung in den Sägeprozess ist nach weiteren Klassierschritten möglich. Die Chlormethylsilane stellen Vorstufen zur Herstellung von Polysiloxanen (Silikonen) dar und können ebenfalls verwertet werden.

Poster

Gewinnung von Lithium aus Zinnwaldit

Gunther Martin, C. Pätzold, P. Fröhlich und M. Bertau

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Technische Chemie

Lithium ist eines der strategischen Metalle, das als essentiell für Zukunftstechnologien gilt. Dabei stehen vor allem die Elektromobilität sowie dezentrale Energiespeichersysteme für regenerative Energien auf der Basis von Lithium-Ionen-Akkumulatoren im Blickpunkt des Interesses. Die erwartete Nachfragesteigerung für das wichtigste Lithiumderivat Li_2CO_3 wird sehr unterschiedlich bewertet und reicht von derzeit ca. 100.000 t/a bis auf 320.000 t im Jahr 2020^[1].

Etwa 75 % der weltweiten Li-Produktion erfolgt gegenwärtig aus den Salaren Südamerikas (Chile, Argentinien). Die restlichen 25 % verteilen sich auf wenige andere Länder der Erde (z. B. Australien) und werden neben Salaren aus lithiumhaltigen Mineralen, wie beispielsweise Spodumen oder Lepidolith, gewonnen. Diese Ungleichverteilung der Ressourcen birgt enorme wirtschaftliche und politische Risiken, insbesondere da Recyclingstrategien noch nicht ausgereift und flächendeckend vorhanden sind.

Vor diesem Hintergrund gilt es das regional im Grenzgebiet D/CZ bei Zinnwald/Cínovec vorkommende Mineral Zinnwaldit (ZWD) als Lithiumressource zu nutzen. Hierbei handelt es sich um einen lithiumhaltigen Glimmer der allgemeinen Zusammensetzung $\text{KLiFe}^{2+}\text{Al}[(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}](\text{F},\text{OH})_2$ mit einem Li_2O -Anteil zwischen 2,0 und 5,0 Gew.-%^[2].

Einer der Lösungsansätze bestand darin, einen hydrometallurgischen Aufschluss unter Verwendung von Mineralsäuren durchzuführen, wobei sich Salzsäure als am erfolgversprechendsten herausstellte. Durch die Optimierung des chemischen Aufschlusses konnten Li-Laugungsraten von 95 % bei einer Reaktionsdauer von 3 h, Temperatur von 105 °C und einer Säurekonzentration von 9 mol_{HCl}/L erreicht werden.

Da die Säure hierfür im mindestens dreifachen Überschuss eingesetzt werden muss, ist für einen ökonomischen Gesamtprozess eine Säureregeneration zwingend erforderlich. Durch eine destillative HCl-Abtrennung in Verbindung mit Frischwassernachführung während des Aufschlusses, sowie einer nachgeschalteten Gaswäsche zur Absorption von Chlorwasserstoff konnte der Säurebedarf von 27,0 mol_{HCl}/kg_{ZWD} auf 5,3 mol_{HCl}/kg_{ZWD} gesenkt werden, wodurch die Aufschlusskosten drastisch von über 3 €/kg_{Li2CO3} auf 0,60 €/kg_{Li2CO3} reduziert werden konnten.

Bei der anschließenden Verarbeitung der lithiumhaltigen polymetallischen Aufschlusslösung konnte nicht nur das Hauptprodukt Lithiumcarbonat gewonnen werden. Vielmehr gelang es mittels intelligenter Lösungsansätze nach dem Zero-Waste-Konzept weitere vermarktungsfähige Nebenprodukte, wie Calciumfluorid und Aluminiumhydroxid abzutrennen und durch die einhergehende Minimierung der anfallenden Abfallströme, die Prozessökonomie weiter zu steigern. Somit kann auf hydrometallurgischem Wege ein Lithiumcarbonat erhalten werden, dessen Herstellungskosten bei etwa 3.500 USD/t liegen und verglichen mit aus Salaren (2.000 USD/t) bzw. silikatischen Lithiumerzen (4.000 USD/t) gewonnenen Qualitäten konkurrieren kann.

- [1] J. S. Lavallée, "Lithium: A Critical Element", [http://www.machine-controlonline.com/PDF/MachineControlMagazine_Lavallee-LithiumACriticalElementVol 3 No1.pdf](http://www.machine-controlonline.com/PDF/MachineControlMagazine_Lavallee-LithiumACriticalElementVol3No1.pdf), 2013.
- [2] J. Jandová, H. N. Vu, T. Belková, P. Dvo ák, J. Kondás, *Ceramics - Silikáty* 2009, 53, 108-112.

Poster

Thermisch aktiviertes Schiefermehl als Zusatzstoff für Mörtel und Beton

Tabea Schulz, Christoph Kulle, Lothar Goretzki und Horst-Michael Ludwig

Bauhaus-Universität Weimar, F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde

Bei der Herstellung von Schiefersplitt für die Bitumendachbahnenindustrie fallen trotz optimierter Aufbereitungstechnik große Mengen an Reststoffen an. In Brecheranlagen wird der Rohschiefer gebrochen und vom Quarz durch Magnetabscheider getrennt. Es entstehen zwangsläufig Feinfraktionen ($< 0,5$ mm), die ungenutzt auf Halden abgelagert werden müssen.

Im Rahmen eines laufenden Forschungsprojektes am F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität Weimar wird derzeit untersucht, ob sich Schiefermehl als Rohstoff für einen puzzolanischen Zusatzstoff im Beton eignet und so beispielsweise in Kompositzementen verwendet werden kann. Dafür soll das Material thermisch aktiviert und die Reaktivität durch Mahlungen optimiert werden. Dazu ist es notwendig, die Aufbereitungstechnologie zu optimieren. Mahl- und Brennvorgänge sollen so aufeinander abgestimmt werden, dass ein qualitativ hochwertiges, marktfähiges Produkt entsteht.

Erste Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung des gebrannten Materials ab einer Temperatur von 1000 °C prinzipiell möglich ist. Dazu notwendige Materialeigenschaften werden innerhalb des Projektes nachgewiesen.

Poster

Bioleaching zur Aufbereitung von Leiterplattenschrott

Sonja Stefanie Bischoff

GMBU e.V. Halle

Die fortschreitende Technisierung der Welt bringt eine große Menge anfallenden Elektronikschrotts mit sich. Die enthaltenen Metalle und seltenen Erden stellen bereits in der heutigen Zeit eine bedeutende Rohstoffquelle dar. Um diese zu gewinnen, werden die Leiterplatten nach einem Zerkleinerungsschritt durch verschiedene Separationsprozesse in eine Metallfraktion, eine metallfreie Fraktion und eine metallhaltige Fraktion aufgetrennt. Die metallhaltige Fraktion wurde bisher zur Gewinnung der Metalle und seltenen Erden verbrannt, wodurch die weiteren Wertstoffe verloren gehen. Als Alternative dazu wurde ein Leachingverfahren entwickelt, bei dem durch zwei Stufen eine fast vollständige Wiedergewinnung der Metalle erreicht werden kann. In der ersten Stufe erfolgt die Solubilisierung von Nickel, Blei und Zink durch Leaching mit *Penicillium simplicissimum* und in der zweiten Stufe erfolgt hauptsächlich ein Auflösen des Kupfers durch Leaching mit *Acidithiobacillus thiooxidans*. Um ein Absterben der Mikroorganismen durch toxische Metallkonzentrationen zu vermeiden, ist in den Stufen ein Prozesskreislauf mit alternierender Metallionenabtrennung und Rückführung der abgereicherten Leachinglösung integriert.

Zusätzlich bietet sich zukünftig die Möglichkeit die nach diesem Verfahren metallabgereicherte Fraktion zusammen mit der metallfreien Fraktion auf enzymatischem Wege in Polymerbruchstücke und Monomere der Ausgangsstoffe zu überführen, um diese ebenfalls als wiedergewonnene Wert- oder Füllstoffe in der chemischen Industrie oder Elektro- und Bauindustrie zu nutzen.

Als Beispiel sollen im Folgenden die Ergebnisse eines Versuchs mit 50 g Leiterplattenmaterial in 1 L der jeweiligen Leachinglösung dienen. Um den Gesamtmetallgehalt in den Leiterplatten zu ermitteln, wurden nach dem zweistufigen Leachingverfahren die Reste der Leiterplatten mit Königswasser aufgeschlossen und die Summe aus dem Gehalt der Metallionen der zwei Stufen und dem Königswasseraufschluss gebildet.

Setzt man in der Tabelle den Gehalt der Metallionen nach der 1. Leachingstufe bzw. nach der 2. Leachingstufe in Beziehung zum Gesamtmetallgehalt, dann wurden in der ersten Stufe 56% des gesamten Nickels, 0,7% des Bleis und 0,3% des Zinks gelöst. Es lösten sich 28% des Kupfers. In der darauf folgenden Stufe lösten sich der größte Teil des Kupfers – 68%. Zusätzlich lösten sich 36% des Nickels, 0,5% des Bleis und 0,7% des Zinks. Insgesamt konnten 95% der in den Leiterplatten enthaltenen Metalle heraus gelöst werden.

Tabelle: Zusammenstellung des Ionengehalts von Cu, Ni, Pb, Zn und deren Summe nach der jeweiligen Leachingstufe, und nach Addition dieser beiden mit dem Ionengehalt nach Königwasseraufschluss als Gesamtmetallgehalt – Ionengehalt nach Königwasseraufschluss nicht mit angegeben; Werte gerundet –

Element	Gehalt nach 1. Stufe [mg/L]	Gehalt nach 2. Stufe [mg/L]	Gesamtmetallgehalt [mg/L]
Cu	3001	7304	10783
Ni	42	27	76
Pb	0,04	0,03	4,95
Zn	0,04	0,08	11,85
Summe	3043	7331	10876

Poster

Aufschluss von Verbundbaustoffen durch mikrowelleninduziertes Grenzflächenversagen

Adriana Weiß*, Horst-Michael Ludwig* und Anette Müller**

**Bauhaus-Universität Weimar, F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde;*

*** Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH*

Das Projekt „Grenzflächen“ wird von einem Forschungsverbund aus 6 Partnern mit Kompetenzen auf dem Gebiet der Mikrowellentechnik, der Aufbereitungstechnik und der Baustoffentwicklung sowie -anwendung bearbeitet. Koordiniert wird das Projekt von der Professur Werkstoffe des Bauens der Bauhaus-Universität Weimar.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Rezyklierbarkeit von Verbundbaustoffen zu verbessern. Dazu sollen aus mehreren Komponenten bestehende, mittels mineralischer Kleber zusammengefügte Verbundbaustoffe so vorbereitet werden, dass sie bei ihrem Rückbau oder bei der anschließenden Aufbereitung getrennt werden können. Die Verbindungen sollen durch Zugabe mikrowellensensibler Bestandteile modifiziert werden, um sie anschließend durch eine entsprechende Behandlung vor Ort oder in entsprechenden Anlagen trennen zu können. So kann das bei Verbundbaustoffen bis heute überwiegend praktizierte Downcycling überwunden und eine nachhaltige Kreislaufführung auch dieser Materialien erreicht werden. Parallel zu dem Einsatz auf dem Recyclingsektor könnte das zu entwickelnde Verfahren auch bei der Sanierung von Bauwerken genutzt werden.

In Vorversuchen konnten erste Erfahrungen bezüglich der Mikrowellenbehandlung, der Probekörperherstellung und der Eignung verschiedener Suszeptoren gesammelt werden. Es wurden Zementmörtelprismen mit und ohne Mikrowellenszeptor hergestellt. Nach der Mikrowellenbehandlung lagen die suszeptorfreen Prismen unzerstört vor, während die suszeptorhaltigen Prismen zerstört waren. Ebenso wurde ein mineralischer Fliesenkleber mit einem Suszeptor versetzt und damit Fliesen auf einem Ziegel verklebt, die nach der Mikrowellenbehandlung per Hand vom Untergrund abgenommen werden

Im Rahmen einer Studienarbeit wurde der Verbund zwischen Gipskartonplatte + Fliese untersucht. Hierfür wurde auf drei Suszeptoren Graphit, Eisen(III)-Oxid und Siliciumcarbid zurückgegriffen, die wiederum dem Fliesenkleber zu unterschiedlichen Prozentsätzen zugegeben wurden. . Ab einer Dosierung von 5 Ma.-% und einer Strahlungseinwirkzeit bis zu einer Minute kam es bis auf wenige Ausnahmen regelmäßig zum Grenzflächenversagen.

Für die Untersuchungen von Verbundsystemen mit Tragfunktion wurden Betonwürfel als Versuchsmuster hergestellt. Für alle hergestellten Betone gelten die gleichen Parameter, lediglich der Suszeptor und dessen Konzentration variiert. Die besten Zerkleinerungsergebnisse der Betonwürfel nach der Mikrowellenbehandlung liegen schon bei 5 Ma.-% Suszeptor vor.

Poster

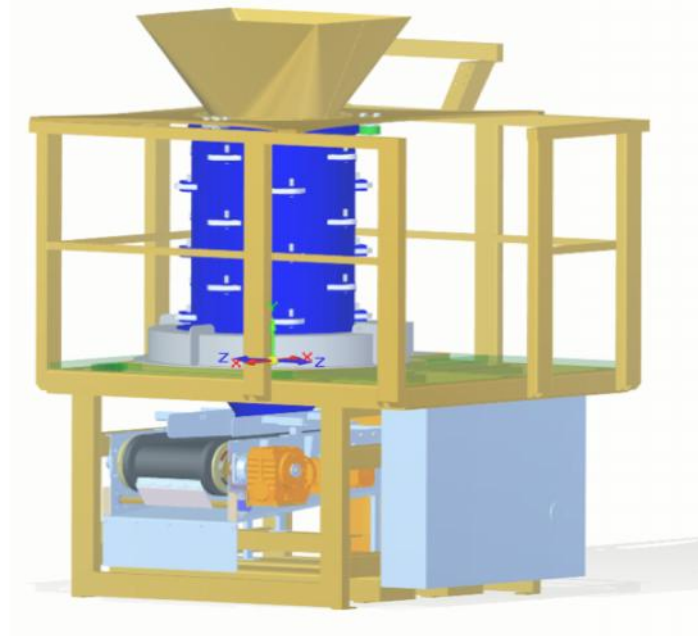
HAYER Friction-Clean – ein neues Verfahren zur Aufbereitung schwer löslicher Verunreinigungen

Hagen Müller

*HAYER ENGINEERING GmbH
An-Institut der TU Bergakademie Freiberg*

In vielen Betrieben zur Rohgipsgewinnung müssen stark lehmig-tonig verunreinigte Partien selektiv gewonnen und ausgehaldet werden. Geeignete Möglichkeiten zur Aufbereitung der Materialien fehlen in den meisten Fällen und bestehende Verfahren stoßen angesichts von Schad-Störstoffanteilen bis zu 60% schnell an ihre Grenzen.

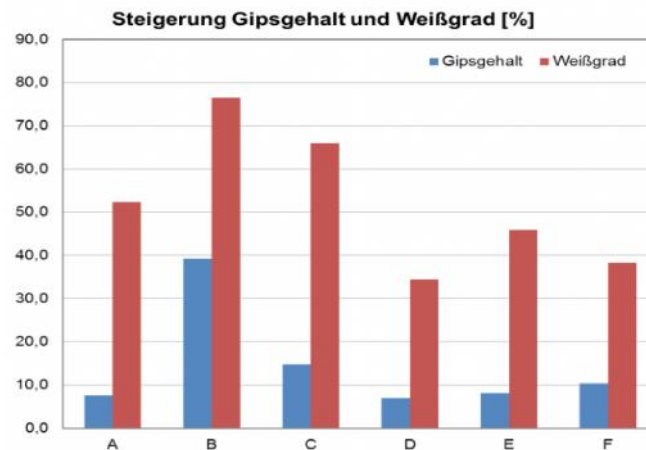
In Zusammenarbeit mit Knauf wurde im Steinbruch Dorste eine Pilotanlage zum Aufbereiten schwer verunreinigter Materialien aufgebaut. Kernstück der Anlage ist der von HAYER Engineering entwickelte Friction-Clean FC 600. Diese völlig neuartige Maschine ist in der Lage durch die rotierende Außentrommel Scherkräfte in den gesamten Prozessraum einzutragen, dadurch erfährt das gesamte Materialbett eine intensive Beanspruchung ohne Totzonen. Die Auswahl der Arbeitsorgane erfolgt zur Sicherstellung der optimalen Beanspruchungsintensität in Abhängigkeit der Schad-/Störstoffeigenschaften. Durch die feststehende, innere Welle und deren speziell ausgebildeten Arbeitsorganen erfährt das Aufgabematerial eine Zwangsförderung und zusätzliche Beanspruchung. Die Arbeitsorgane sind aus verschleißfestem Material gefertigt, in der rotierenden Außentrommel sorgen Materialtaschen für einen effektiven Verschleißschutz.



HAYER Friction-Clean FC 600



Versuchsmaterial vor und nach der Aufbereitung



Steigerung von Gipsgehalt und Weißgrad

Während der Versuche konnte das Aufgabematerial erfolgreich aufbereitet werden. Die für die Gipsverarbeitung wichtigen Kennzahlen Gipsgehalt und Weißgrad wurden signifikant gesteigert und somit wurde aus dem Abfallprodukt ein Verkaufsprodukt gewonnen.

Vorteile im Überblick:	Technische Daten:
<ul style="list-style-type: none"> • Spezifischer Wasserbedarf 0,08 m³/t • Spezifischer Energiebedarf 0,7 kWh/t • Brauchwassereinsatz möglich • Autogener Verschleißschutz • Variation der Beanspruchungsdauer und -intensität 	<ul style="list-style-type: none"> • Trommeldurchmesser 600 mm • Max. Aufgabegutgröße 80 (120) mm • Durchsatz 15 t/h • Antriebsleistung 22kW

Poster

Bewertung der Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz von innovativen Technologien – Theoretische und praktische Implikationen

Kirstin Kleeberg und Katja Schneider

Professur für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre speziell Unternehmensführung und Personalwesen Prof. Dr. Michael Nippa, TU Bergakademie Freiberg

Die Bedeutung einer übergreifenden Bewertung der tatsächlichen Wirksamkeit der Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz von Technologien ist als grundsätzliche Anforderung an die Forschung stetig gestiegen. Die Professur für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Unternehmensführung und Personalwesen an der Technischen Universität Bergakademie setzt sich federführend in einem BMBF-Verbundvorhaben mit der Erarbeitung eines solchen ganzheitlichen Bewertungsansatzes auseinander. Die vom Lehrstuhl entwickelte Herangehensweise führt gemäß eines Bottom-Up Ansatzes ausgehend von der Erarbeitung projektspezifischer und genereller Herausforderungen sowie grundlegender methodisch-konzeptioneller Überlegungen zu einer problemadäquaten, integrativen Lösung. Im Rahmen des Posterbeitrages wird die grundsätzliche Methodik der ganzheitlichen Bewertung in Form eines Schemas dargestellt. Darauf aufbauend werden ausgewählte Ergebnisse in Beispielen dargestellt. Diese resultieren u.a. aus Recherchen internationaler Literatur zur Nachhaltigkeitsbewertung sowie aus vom Lehrstuhl durchgeführten projektspezifischen Workshops zur Bewertung von Technologieentwicklungen für eine Steigerung der Ressourceneffizienz. Das fundierte Anwendungsfeld, aus dem erste Erkenntnisse gewonnen werden konnten, bieten 26 Verbundvorhaben der r3-Fördermaßnahme des BMBF, die mit unterschiedlichen, vorwiegend technologischen Lösungen in den Feldern Recycling, Urban Mining und Substitution zur Verbesserung der Ressourceneffizienz beitragen sollen.

Das breite Feld an Lösungsansätzen –beispielsweise zu Recyclingtechnologien oder zur Gewinnung strategischer Rohstoffe aus deponierten Abfalldeponien– ermöglicht Entwicklung und kritische Prüfung des Bewertungsvorgehens. Zusammenfassend ist es Ziel des Beitrages, einerseits auf aktuelle Herausforderungen der Bewertung aufmerksam zu machen sowie andererseits ein systematisches, anwendungsorientiertes Vorgehen mit der Untersetzung durch ausgewählte Beispiele vorzustellen. Hintergrund ist das Integrations- und Transferforschungsprojekts INTRA r3+ unter der Leitung des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) und fünf weiteren Partnern (weitere Informationen unter www.r3-innovation.de).

Poster

Analytik von Rohstoffen, Abfällen, Brennstoffen und Aufbereitungsprodukten

Axel Ulbricht

Eurofins Umwelt Ost GmbH, Niederlassung Freiberg

1. Problemorientierte Planung

Neben den routinemäßigen Umwelt- und Brennstoffproben werden in Freiberg auch Rohstoffe und Produkte analysiert. Dies bedarf einer genauen Absprache mit dem Auftraggeber. Problemorientiert muss entschieden werden:

- Was ist zu analysieren (Welche Elemente)?
- Wie liegen die Elemente vor (Welche Matrix)?
- Gibt es Erwartungen (Hohe Gehalte)?

2. Metallanalytik

2.1 Aufschluss

Ein Aufschluss dient zur Überführung der Feststoffprobe in eine messfertige Lösung. Unter Einfluss von Säuregemischen werden die Metalle in Lösung gebracht und die Matrix zerstört. Aufschlüsse sind nicht immer vollständig, das Resultat ist abhängig von der Matrix und der Bindungsform der Metalle.

- Königswasseraufschluss

Routinemethode mit hohem Probendurchsatz, kein vollständiger Aufschluss, Extraktion der Schwermetalle, viele Edelmetalle / Seltene Erden werden erfasst, hohe Einwaage möglich, somit auch für inhomogene Proben geeignet (z.B. Elektronikschrott)



- Mikrowellendruckaufschluss (klassisch)

Aufschluss bei hoher Temperatur (200 °C) mit Flusssäurezusatz möglich, Silikate und viele Oxide werden aufgeschlossen, nur geringe Einwaage möglich (0,05 bis 0,5 g), durch geschlossene Gefäße kein Verlust an Analyten möglich, viele Seltene Erden bilden schwerlösliche Fluoride



- Mikrowellendruckaufschluss (Autoklav)

Aufschluss bei hoher Temperatur (300 °C) mit Flusssäurezusatz möglich, kürzere Aufschlusszeiten, nur geringe Einwaage möglich (0,05 bis 0,5 g), viele Seltene Erden bilden schwerlösliche Fluoride



- Schmelzaufschlüsse

Im automatisierten Schmelzaufschlussgerät bei 1050 °C mit einem geeigneten Schmelzmittel, z.B. Lithiummetaborat, vollständiger Aufschluss der Probe, Geringe Einwaage (0,05-0,2 g), Proben werden in Lösung ausgegossen, auch Herstellung von Schmelztabletten für die RFA mgl., Probe muss mineralisch vorliegen (oder vorher verascht werden), Verlust einiger flüchtiger Verbindungen aufgrund der hohen Temperatur, Seltene Erden werden vollständig erfasst.



2.1 Messung

- ICP-MS

Hohe Empfindlichkeit für alle Elemente Bestimmungsgrenzen bis 0,01 mg/kg möglich, Multielementmethode zur Bestimmung von:

- Seltenen Erden (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)
- Spurenelementen (z.B. As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn),
- Refraktionärelementen (z.B. Nb, Ta, Zr, Hf)
- Edelmetallen (z.B. Ag, Au, Pt, Pd)



- ICP-OES

Weniger empfindlich als ICP-MS, Messbereich wenige mg/kg bis wenige Ma-%, Routinemethode zur Zusammensetzung von Gesteinen (Hauptelemente), Multielementmethode zur Bestimmung der Hauptelemente (Al, Si, Ca, Fe, Mg, K, Na, P, Ti, Mn, Ba, S), Hohe Gehalte von Spurenelementen in Erzen und Aufbereitungsprodukten



Weitere Analysenmethoden:

- Gravimetrie
- Volumetrie

Diese Methoden sind für höhere Gehalte im %-Bereich sehr genau. Sie erfordern oft eine aufwendige Vorbereitung der Probe, z.B. einen speziellen Aufschluss und die Abtrennung störender Verbindungen.

Beispiele: Ca und Mg im Kalk, Fluorid im Flussspat, Zn im Zinkerz



3. Brennstoffanalytik

- Bombenverbrennung

- Verbrennung der Probe im Sauerstoff unter adiabatischen Bedingungen
- Bestimmung Brennwert
- Bestimmung von Chlor, Brom, Schwefel, Fluor aus Verbrennungsprodukten mittels Ionenchromatographie



- Ionenchromatographie

- Bestimmung von Chlor, Brom, Schwefel, Fluor aus Verbrennungsprodukten
- Trennung der Elemente anhand ihrer Ladung

- SC- Analysator

- Hochtemperaturverbrennung im Sauerstoffstrom bei > 1300°C
- Bestimmung von C und S durch Infrarotdetektion der Verbrennungsgase

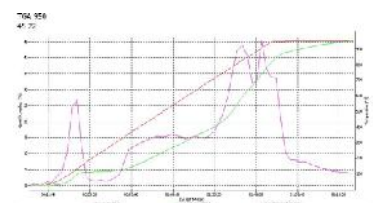


- Thermo – Gravimetrie - Analysator

- Bestimmung von Wassergehalt und Aschegehalt bei verschiedenen Temperaturen
- Aufnahme von Temperatur- und Gewichtsverläufen

<http://www.eurofins-umwelt-ost.de>

info_freiberg@eurofins.de



Poster

**Kraftwerksasche als Sekundärrohstoff für die
Wasserhilfsmittelproduktion?**

Wolfram Palitzsch, Petra Schönherr und Ulrich Loser

Loser Chemie GmbH Langenweißbach

Kraftwerksasche kann als Rohstoff für die Herstellung von Hilfsmitteln für die Papier- und Wasserindustrie dienen. Bei der Herstellung von Produkten wie Aluminiumsulfat, Aluminiumchlorid oder auch Polyaluminiumchlorid wird Aluminiumhydroxid ($\text{Al}(\text{OH})_3$), welches aus Bauxit gewonnen wird, mit einer Mineralsäure umgesetzt. Um Rohstoffe zum Einen einzusparen und zum Anderen die Erzeugung von Abfällen zu vermeiden, ist es wichtig, Sekundärrohstoffe zu finden, die Primärrohstoffe bei der Herstellung von aluminiumhaltigen Produkten ersetzen können.

Ansätze und Ergebnisse aus dem Vorhaben „Chemisch – biotechnologische Gewinnung von Wertstoffen aus Braunkohlenkraftwerksasche“, Kurztitel „urban mining“ Kraftwerksasche, im Rahmen der Projektförderung „r3 – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz“ werden vorgestellt.

Poster

Dynamische Modellierung von Siebklassierprozessen

Manuel Hennig und Ulrich Teipel

Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Fakultät Verfahrenstechnik

Es wird das dynamische Verhalten des Trenngrades von Schwingsieben bei Änderung des Massenstroms und der Partikelgrößenverteilung des Aufgabeguts untersucht. Als Modellsiebmaschine wird ein Kreisschwingsieb in halbtechnischen Maßstab eingesetzt. Auf der Basis vorhandener Modelle für den statischen Betrieb soll das dynamische Verhalten anhand der sich ergebenden, zeitabhängigen Trennfunktion analysiert werden. Die vorliegende Arbeit wird im Rahmen eines DFG-Teilprojektes des SPP 1679 „Dynamische Simulation vernetzter Feststoffprozesse“ an der Technischen Hochschule Nürnberg durchgeführt. Ein Aufgabenschwerpunkt ist hierbei die Betrachtung der Partikelbewegung auf dem Siebboden. Die Einzelpartikel werden mittels einer Hochgeschwindigkeitskamera „getrackt“, das heißt eine Bahnkurve zugeordnet und deren Einfluss der Eingangsparameter auf die Trennfunktion analysiert. Dabei wird mittels eines elektrodynamischen Schwingerregers eine horizontal ausgerichtete Platte vertikal in Schwingung gebracht. Die Bewegungen der Einzelpartikel werden mittels Hochgeschwindigkeitskamera in Draufsicht und von der Seite analysiert. Die Aufnahmen mit der Hochgeschwindigkeitskamera ermöglichen das zweidimensionale Tracking von mehreren Partikeln auf der Siebbodenoberfläche gleichzeitig. Für die Parameterstudie wird das Kreisschwingsieb Rekord Typ V 3/10/I Labor der Firma Siebtechnik GmbH eingesetzt. Untersucht wird der dynamische Einfluss bei sprunghafter und stetiger Änderung des Massenstroms und der Dispersitätseigenschaften des Aufgabegutes. Ziel ist eine zeitabhängige Analyse des Trenngrades $T(x)$ anhand der Partikelgrößenverteilung des Feingutes in stetigen Abständen bzw. Intervallen. In Kombination mit der Bewegungsanalyse wird ein kinetisches oder wahrscheinlichkeitstheoretisches Modell für den dynamischen Betrieb ermittelt.

Poster

Biopolymere wie Stärke, Pektin und Chitosan: Charakterisierung und Anwendung

S. Schwarz, G. Petzold und M. Mende

Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V., Abteilung Polyelektrolyte und Dispersionen

Natürliche Polysaccharide wie Stärke, Pektin und Chitosan sind als Rohstoffe in großen Mengen verfügbar und lassen sich aus nachwachsenden Rohstoffen mit geringen Kosten gewinnen. Sie stellen damit eine ökologisch sinnvolle Alternative zu synthetischen Polymeren dar. Biopolymere sind preiswert und praktisch unbegrenzt verfügbare natürliche Polymere. Biopolymere besitzen beste Voraussetzungen zur Funktionalisierung der Hydroxylgruppen. Solche Argumente sprechen dafür, gerade diese Biopolymere als Adsorbentien für Schwermetallionen oder als Flockungsmittel in der Fest/Flüssigtrennung einzusetzen.

Stärke und ihre Derivate werden seit langem im industriellen Maßstab erfolgreich eingesetzt, so dass verschiedenste Stärketypen und Stärkemodifizierungen kommerziell verfügbar sind. Der Einsatz hydrophob modifizierter Stärkeprodukte wurde insbesondere bei der Abtrennung von Stickies untersucht [1-4].

Der Naturstoff **Pektin**, der auch aus Nebenprodukten wie z.B. Nasstrester der Fruchtsaftindustrie gewonnen werden kann, ist ein Polyanion mittlerer Ladungsdichte, vergleichbar mit kommerziellen synthetischen Polyanionen [5].

Chitin und Chitosanprodukte können sowohl im Kilogramm- als auch im Tonnen-Maßstab hergestellt werden [6]. Chitin ist ein leichter, aber mechanisch hoch belastbarer Baustoff in den Außenskeletten von Krustentieren und Insekten sowie in den Zellwänden von Pilzen. Durch Abspaltung der N-Acetylgruppen wird Chitin zu Chitosan modifiziert, das als kationisches Polysaccharid eine Reihe von interessanten Eigenschaften besitzt, die ein breites Anwendungsspektrum in der Wasser- und Abwasserbehandlung [7-8], der Landwirtschaft, der Papier- und Textilindustrie und im Bereich der Bioplastics eröffnen.

[1] Bratskaya, S.; Genest, S.; Petzold-Welcke, K.; Heinze, T.; Schwarz, S.: Flocculation efficiency of novel amphiphilic starch derivatives: a comparative study, *Macromolecular Materials and Engineering* 299 (2014) 722-728

[2] Petzold, G.; Wustrack, K.; Schwarz, S.: Wie Polymere das Papierrecycling verbessern, *GIT Labor-Fachzeitschrift* (2013) 776-778

[3] Genest, S.; Schwarz, S.; Petzold-Welcke, K.; Heinze, T.; Voit, B.: Characterization of highly substituted, cationic amphiphilic starch derivatives: dynamic surface tension and intrinsic viscosity, *Starch/Stärke* 65 (2013) 999-1010

[4] Petzold, G.; Petzold-Welcke, K.; Qi, H.; Stengel, K.; Schwarz, S.; Heinze, T.: The removal of stickies with modified starch and chitosan - highly cationic and hydrophobic types compared with unmodified ones, *Carbohydrate Polymers* 90 (2012) 1712-1718

[5] Schwarz, S.; Petzold, G.; Bohrisch, J.: pH-abhängige Bestimmung von Ladung und Oberflächenspannung von wässrigen Pektinlösungen, *gwf Wasser Abwasser* 9 (2014) 970-976

[6] <http://www.biolog-heppe.de/>

[7] Schwarz, S.; Ponce-Vargas, S. M.; Licea-Claverie, A.; Steinbach, C.: Chitosan and mixtures with aqueous biocompatible temperature sensitive polymer as flocculants, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 413 (2012) 7-12

[8] Schwarz, S.; Hans, C.; Kühn, V.; Petzold, G.; Schütze, S.; Heppe, A.: Vergleich der Wirksamkeit natürlicher und synthetischer Flockungsmittel mit Blick auf das Düngemittelgesetz: GWF : Wasser, Abwasser 153 (2012)

Adressen von Autoren der Tagung „Aufbereitung und Recycling“ 2014

Heegn, Hanspeter (UVR-FIA e.V. Freiberg)
heegn@uvr-fia.de

Morgenroth, Henning (UVR-FIA GmbH)
morgenroth@uvr-fia.de

Heiskanen, Kari (Aalto Universität Helsinki, Finnland)
kari.heiskanen@aalto.fi

Gutzmer, Jens (Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie)
j.gutzmer@hzdr.de

Mucke, Dieter (GEOMONTAN Gesellschaft für Geologie und Bergbau mbH & Co. KG,
Rothenfurt)
geomontan@t-online.de

Straub, Chris (TU Eindhoven, Niederlande)
c.straub@tue.nl

Tang, Pei (TU Eindhoven, Niederlande)
P.Tang@tue.nl

Schollbach, Katrin (TU Eindhoven, Niederlande)
k.schollbach@tue.nl

Seifert, Martin (FNE Entsorgungsdienst Freiberg)
Martin.Seifert@chemie.tu-freiberg.de

Lorenz, Tom (Institut für Technische Chemie, TU Bergakademie Freiberg)
tom.lorenz@chemie.tu-freiberg.de

Mey, Stefanie (Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie)
s.mey@hzdr.de

Vostal, Radek (Institut für Technische Chemie, TU Bergakademie Freiberg)
vostal@mailserver.tu-freiberg.de

Demmich, Jörg (Knauf Gips KG)
demmich.joerg@knauf.de

Krischey, Elke (Montanuniversität Leoben, Österreich)
Elke.Krischey@unileoben.ac.at

Gellner, Martha (Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik, TU Bergakademie Freiberg)
martha.gellner@mvtat.tu-freiberg.de

Kostudis, Sophia (Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie)
s.kostudis@hzdr.de

Rutz, Michael (FH Nordhausen)
rutz@fh-nordhausen.de

Feierabend, Angelika (SECOPTA GmbH Berlin)
angelika.feierabend@secopta.de

Fürll, Christian (Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim)
christianfuerll@gmx.de

Klichowicz, Michael (Institut für Aufbereitungsmaschinen TU Bergakademie Freiberg)
Michael.Klichowicz@iam.tu-freiberg.de

Jungmann, Andreas (CALA Aufbereitungstechnik GmbH & Co. KG, Aachen)
a.jungmann@cala-aufbereitung.de

Strubel, Sandra (Montanuniversität Leoben, Österreich)
Sandra.Strubel@unileoben.ac.at

Liebezeit, Steffen (IAB – Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH)
s.liebezeit@iab-weimar.de

Heinig, Thomas (Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie)
t.heinig@hzdr.de

Adressen von Autoren der Poster

Brett, Beate (Institut für Technische Chemie, TU Bergakademie Freiberg)
beate.brett@chemie.tu-freiberg.de

Schrader, Daniel (Institut für Mineralogie, TU Bergakademie Freiberg)
Daniel.Schrader@mineral.tu-freiberg.de

Leißner, Thomas (Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik, TU Bergakademie Freiberg)
thomas.leissner@mvtat.tu-freiberg.de

Dr.-Ing. Linß, Elske (Bauhaus-Universität Weimar)
elske.linsz@uni-weimar.de

Lorenz, Tom (Institut für Technische Chemie TU Bergakademie Freiberg)
tom.lorenz@chemie.tu-freiberg.de

Eisenlauer, Moritz (Technische Hochschule Nürnberg, Mechanische Verfahrenstechnik)
moritz.eisenlauer@th-nuernberg.de

Nitzbon, Ivonne (Institut für Technische Chemie, TU Bergakademie Freiberg)
ivonne.nitzbon@chemie.tu-freiberg.de

Martin, Gunther (Institut für Technische Chemie, TU Bergakademie Freiberg)
gunther.martin@chemie.tu-freiberg.de

Schulz, Tabea (Bauhaus-Universität Weimar, FIB)
tabea.schulz@uni-weimar.de

Bischoff, Sonja Stefanie (GMBU e.V. Halle)
bischoff@gmbu.de

Weiß, Adriana (Bauhaus-Universität Weimar)
adriana.weiss@uni-weimar.de

Müller, Hagen (Haver Engineering GmbH)
H.Mueller@haverengineering.de

Kleeberg, Kirstin (Institut für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, TU Bergakademie)
Kirstin.Kleeberg@bwl.tu-freiberg.de

Ulbricht, Axel (Eurofins Umwelt Ost GmbH, Niederlassung Freiberg)
AxelUlbricht@eurofins.de

Dr. Schönherr, Petra (Loser Chemie GmbH Langenweißbach)
petra.schoenherr@loserchemie.de

Manuel Hennig (Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Fakultät
Verfahrenstechnik)
Manuel.Hennig@th-nuernberg.de

Dr. Schwarz, Simona (Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.)
simsch@ipfdd.de

Vorankündigung der Jahrestagung 2015

**Die nächste Vortragsveranstaltung unter dem Leitthema:
Aufbereitung und Recycling**

**findet voraussichtlich am 11. und 12. November 2015
in Freiberg statt.**

Terminplan

- | | |
|------------------------|---|
| Ende April 2015: | Einladung mit der Aufforderung zur Einreichung von Vorschlägen für Tagungsbeiträge (Vortrag bzw. Poster) |
| Ende Juli 2015: | Ablauf der Einreichungsfrist für Tagungsbeiträge
Übermittlung der entsprechenden Kurzfassungen
(Vortrag bzw. Poster) |
| Anfang September 2015: | Versand der Einladung mit Tagungsprogramm und Freischaltung des online-Anmeldeformulars |

Es sind wieder mündliche Vorträge und Poster vorgesehen.

Veranstalter:

**"Gesellschaft für Verfahrenstechnik UVR-FIA e. V. Freiberg"
und
„Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie“**

Tagungsorganisation

UVR-FIA GmbH
Chemnitzer Str. 40, 09599 Freiberg
Telefon: 03731 1621220
Fax: 03731 1621299
E-Mail: info@uvr-fia.de
www.uvr-fia.de