

Tagung 2023

Aufbereitung und Recycling

16. und 17. November 2023

Tagungsband

UVR-FIA GmbH



VERFAHRENSTECHNIK
FÜR ROHSTOFFE

mit freundlicher Unterstützung von:



GESELLSCHAFT FÜR VERFAHRENSTECHNIK
UVR-FIA e.V. FREIBERG

HiF

HELMHOLTZ-INSTITUT FREIBERG
FÜR RESSOURCENTECHNOLOGIE



TUBAF

Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.

Schwerpunkte der Tagung 2023 sind:
Mineralische Rohstoffe – Wertstoffe aus Abfall

- A) Maschinen, Apparate und Sensoren
- B) Aufbereitung primärer Rohstoffe
- C) Aufbereitung sekundäre Rohstoffe/Recycling

sowie die Verleihung des Heinrich-Schubert-Preises

Inhalt Tagungsband:

	Seite
Vortragsprogramm	
• Donnerstag, 16.11.2023	3
• Freitag, 17.11.2023	4
Kurzfassungen der Vorträge und Poster	5 - 34
Organisatorisches	35

Programm

zur Tagung Aufbereitung und Recycling am 16. und 17.11.2023 in Freiberg
Version: 15.11.2023

Die Tagung findet im Hörsaal (HIF) auf der Chemnitzer Str. 40 in 09599 Freiberg als Präsenzveranstaltung statt.
Ihre Anmeldung ist nur online unter www.uvr-fia.de (bis die Höchstgrenze der Teilnehmerzahl erreicht ist) möglich.

Veranstalter:

UVR-FIA GmbH - Chemnitzer Str. 40 - 09599 Freiberg
in Zusammenarbeit mit
der Gesellschaft für Verfahrenstechnik UVR-FIA e. V. Freiberg,
dem HZDR-HIF und der TU Bergakademie Freiberg

Donnerstag – 16.11.2023

		8:00	9:00	Registrierung
		9:00	9:15	Begrüßung und Organisatorisches
1	A	9:15	9:40	<i>Grafit für die Elektromobilität - Aufbereitungsuntersuchungen zur Lagerstätte Amitsoq (Grönland)</i> Irina Bremerstein – UVR-FIA GmbH – Freiberg
2		9:40	10:05	<i>Zur flotativen Trennung von Lithium haltigen Mineralphasen in "engineered slag systems"</i> Martin Rudolph – Helmholtz-Institut Freiberg (HIF) - Freiberg
3		10:05	10:30	<i>Konzepte zur Beschreibung von mehrdimensionalen Trennprozessen</i> Thomas Buchwald – Technische Universität Bergakademie Freiberg - Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik- Freiberg
		10:30	11:15	Kaffeepause
	B	11:15	11:25	Verleihung des Heinrich-Schubert-Preises durch den Dekan der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik (Fakultät 4) der TU Bergakademie Freiberg Herrn Prof. Dr.-Ing. Tobias Fieback
		11:25	11:55	Vorträge der Preisträger
		11:55	12:35	jeweils 4 Minuten Kurzvorträge aller Posteraussteller
		12:35	13:35	Mittagspause
4	C	13:35	14:00	<i>Künstliche Intelligenz in Verbindung mit Sensorfusion in der Analytik oder Sortierung von Verpackungsmaterialien</i> Hendrik Beel – RTT System GmbH Zittau
5		14:00	14:25	<i>Digitale Abbildung von Materialreaktionen in Kompaktierpressen</i> Johannes Müller - Technische Universität Bergakademie Freiberg
6		14:25	14:50	<i>Intelligente Kombination - Potential der Feinstkornabsiebung von Zementrohmehl</i> Jan Lampke – HAVER ENGINEERING GmbH - Freiberg
		14:50	16:05	Posterausstellung, Führungen (nach Vereinbarung), Kaffeepause
7	D	16:05	16:30	<i>Elektrodynamische Fragmentierung als alternative Zerkleinerungslösung für das Recycling von Feuerfestmaterial</i> Karl Friedrich – Montanuniversität – Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung – Leoben /AT
8		16:30	16:55	<i>Anreicherung einer Metallfraktion aus Schwarzmasse mittels Dichtesortierung im Zentrifugalfeld</i> Sebastian Keber und Julius Luh – Technische Universität Clausthal, Institut für Aufbereitung, Recycling und Kreislaufwirtschaftssysteme – Clausthal-Zellerfeld
9		16:55	17:20	<i>Aufbereitung von Fruchttrestern und- fasern im Hinblick auf neue Einsatzmöglichkeiten</i> Raphael Sperberg – Gebrüder Jehmlich GmbH - Nossen
		19:00		ab 19.00 Uhr findet eine Abendveranstaltung im Schankhaus 1863 – Kaufhausgasse statt (Nebengasse vom Freiburger Ratskeller, Obermarkt) <i>vorherige schriftliche Anmeldung ist erforderlich</i> Die Speisen sind frei, Getränke Selbstzahler

Programm

zur Tagung Aufbereitung und Recycling am 16. und 17.11.2023 in Freiberg
Version: 15.11.2023

Die Tagung findet im Hörsaal (HIF) auf der Chemnitzer Str. 40 in 09599 Freiberg als Präsenzveranstaltung statt.
Ihre Anmeldung ist nur online unter www.uvr-fia.de (bis die Höchstgrenze der Teilnehmerzahl erreicht ist) möglich.

Veranstalter:

UVR-FIA GmbH - Chemnitzer Str. 40 - 09599 Freiberg
in Zusammenarbeit mit
der Gesellschaft für Verfahrenstechnik UVR-FIA e. V. Freiberg,
dem HZDR-HIF und der TU Bergakademie Freiberg

Freitag – 17.11.2023

10	E	8:30	8:55	<i>Recycling von Altholz zur Holzwerkstoffproduktion</i> Martin Hielscher – Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH - Dresden
11		8:55	9:20	<i>Recycling von Papier aus Leichtverpackungen-Analyse der anfallenden Rejektströme während eines industriellen Produktionsprozesses</i> Alena Maria Spies – RWTH Aachen – ANTS – Institut für Anthropogene Stoffkreisläufe - Aachen
12		9:20	9:45	<i>Planung einer der modernsten Heißverlösungsanlagen in der Kaliindustrie: vom Konzept bis zur Ausführungsplanung</i> Vadim Greshnov – ERCOSPLAN Ingenieurbüro Anlagentechnik GmbH - Erfurt
13		9:45	10:10	<i>Untersuchungen zur Aufbereitung von Gießereisand-Regenerierstäuben mittels Abweiseradsichter</i> Asija Durjagina und Laura Hunger - Technische Universität Bergakademie Freiberg – Institut für Aufbereitungsmaschinen und Recyclingsystemtechnik – Freiberg
		10:10	10:55	Kaffeepause
14	F	10:55	11:20	<i>Untersuchungen zur scherenden, schneidenden und reißen Beanspruchung von CFK</i> Philipp Karsten Niebel Technische Universität Bergakademie Freiberg Institut für Aufbereitungsmaschinen und Recyclingsystemtechnik
15		11:20	11:45	<i>LIBERATION – Lösungsbasierte Liberalisierung und Reintegration funktionaler Batteriematerialien aus Produktionsausschüssen der Zellfertigung</i> Thomas Zimmermann - Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik u. Verpackung IVV – Freising
16		11:45	12:10	<i>Recyclingmöglichkeiten für Faserverbundwerkstoffe in Rotorblättern aus Windkraftanlagen</i> Magdalena Milek – Technische Universität Bergakademie Freiberg - Institut für Glas und Glas-technologie - Freiberg
17		12:10	12:35	<i>Untersuchungen zum Recycling der SE-Magnete aus Windenergieanlagen (WEA) – Variantenvergleich zur Entmagnetisierung der FeNdB-Magnete</i> H.-Georg Jäckel — Technische Universität Bergakademie Freiberg - Institut für Aufbereitungsmaschinen und Recyclingsystemtechnik - Freiberg
		12:35	13:30	Mittagspause
		Ende der Veranstaltung		

Grafit für die Elektromobilität – Aufbereitungsuntersuchungen zur Lagersätte Amitsoq (Grönland)	
Autoren:	Stefan Bernstein ¹ Mark Austin ¹ , ¹ GreenRoc Mining PLC Irina Bremerstein ² ² UVR-FIA GmbH
Referentin:	Dipl.-Ing. Irina Bremerstein, UVR-FIA GmbH
E-Mail-Adresse:	bremerstein(at)uvr-fia.de

GreenRoc Mining Plc ist spezialisiert auf die Erkundung von Lagerstätten in Grönland. Amitsoq ist eine Graphitlagerstätte im Süden Grönlands mit einem Inhalt von etwa 23 Mio t mit einem Gehalt von etwa 20,4 % Graphit. Im Mittel haben Graphitlagerstätten einen Gehalt von etwa 8 % Graphit. Amitsoq zählt damit zu einer der Lagerstätten mit weltweit höchstem Graphitgehalt.

UVR-FIA GmbH wurde beauftragt zu untersuchen, ob und wie sich das hier störende Pyrrhotin (Fe_7S_8) möglichst früh abtrennen lässt. Dazu wurden Versuche zur Magnetscheidung und Dichtesortierung durchgeführt.

Mittels trockener Magnetscheidung konnten etwa 10 M.-% abgetrennt werden bei einem Graphitverlust von etwa 10 %.

Vorversuche auf einem Herd zeigten, dass auch hier eine gute Abreicherung erreicht werden kann.

Dieses Ergebnis konnte bei einem Versuch auf einem Wendelscheider bestätigt werden: es können etwa 6 M.-M% bei einem Verlust von nur 3 % Graphit abgeschieden werden.

In Vorbereitung auf die nachfolgende Großflotation wurden 700 kg Roherz mit Hilfe eines Wendelscheiders weitgehend von störendem Pyrrhotin befreit.

Zur flotativen Trennung von Lithium haltigen Mineralphasen in “engineered slag systems”

Autoren:	M.Sc., Franziska, Strube, Helmholtz-Zentrum für Ressourcentechnologie Freiberg M.Sc. Johanna Sygusch, Helmholtz-Zentrum für Ressourcentechnologie Freiberg Dr., Martin Rudolph, Helmholtz-Zentrum für Ressourcentechnologie Freiberg
Referent:	Dr. Martin Rudolph , Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcen-- technologie
E-Mail-Adresse:	.m.rudolph(at)hzdr.de

Die zunehmende Nutzung von Batterien für das Vorantreiben der Energiewende führt zu einem immer steigenden Bedarf an Lithium, welches bereits jetzt als kritischer Rohstoff gelistet ist. Die Sicherung vorhandener Lithiumquellen stellt jedoch noch eine Herausforderung dar. Lithium kann in Form von künstlichen Mineralien (EnAM – engineered artificial minerals) in Schlacken angereichert und wiedergewonnen werden, welche beim pyrometallurgischen Recycling von Batterien anfallen. Durch die Anwendung bestimmter Temperatur- und Additivregime während des Recyclings lässt sich die Anreicherung von Lithium in EnAMs gezielt steuern (bspw. Kristallform, -größe und Phasenzusammensetzung). Das bekannteste Li-haltige EnAM ist Lithiumaluminat, welches unter anderem in das Gangmineral Gehlenit eingebettet ist. Die Trennung dieser EnAM-Phasen vom Gang kann durch Schaumflotation erreicht werden.

Im vorgestellten Projekt FlotEnAMIS, welches Teil des Schwerpunktprogramms 2315 der DFG ist, werden die Bestimmung der Phasenzusammensetzung und physikalisch-chemischen Eigenschaften von EnAMs in unterschiedlich behandelten Schlacken als wichtige Parameter für die Schaumflotation untersucht. Für die Charakterisierung der häufig fein verteilten Phasen werden Ergebnisse von Röntgendiffraktometrie (XRD), Röntgenfluoreszenz (XRF), automatisierte Mineralogie (MLA) und Rasterkraftmikroskopie (AFM) miteinander in Verbindung gesetzt. Zur Beurteilung verschiedener wichtiger Oberflächenwechselwirkungen von Flotationsreagenzien in Abhängigkeit von Oberflächenpotentialen werden verschiedene AFM-Messungen mit hydrophilen und hydrophoben kolloidalen Sonden im Trocken- und Flüssigkeitsmodus an einem repräsentativen Modell durchgeführt und mit Ergebnissen aus Mikroflotationsexperimenten korreliert.

Konzepte zur Beschreibung von mehrdimensionalen Trennprozessen

Autoren:	Dr.-Ing. Thomas Buchwald ¹ Edgar Schach ¹ , Prof. Urs Peuker ¹ ¹ Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik
Referent:	Dr.-Ing. Thomas Buchwald , Technische Universität Bergakademie Freiberg Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik
E-Mail-Adresse:	thomas.buchwald(at)tu-freiberg.de

Eine Vielzahl von Trennprozessen in der Aufbereitung primärer und sekundärer Rohstoffe findet, trotz einer generellen Betrachtung nur hinsichtlich einer einzelnen Variable, mehrdimensional statt. Ein einfaches Beispiel hierfür ist die Siebung, bei der trotz Kenntnis des Formeinflusses auf das Klassierergebnis grundsätzlich eine Trennkurve nur über der Partikelgröße aufgetragen wird. Ein anderes Beispiel sind die meisten Apparate, bei denen eine Trennung nach Dichte passiert: bis auf die Trennung mit Schwerflüssigkeiten ist immer auch eine Trennung nach Korngröße und -form überlagert.

Um Trennprozesse hinsichtlich ihrer Mehrdimensionalität beschreiben zu können, sind einige grafische sowie rechnerische Werkzeuge notwendig und sinnvoll, die beschrieben werden sollen. Dazu gehört das sinnvolle Darstellen von zweidimensionalen Summenverteilungs-, Wahrscheinlichkeitsdichten- und Trenngradkurven, sowie die Beschreibung des Trennerfolgs, Trennschärfe, etc. Die Beschreibung des Trennerfolgs über die Entropie bietet dabei einen einfach darzustellenden Parameter, der intuitiv begreifbar ist.

Das Konzept der Entropie kann über den Trennprozess hinaus genutzt werden, um Materialkreisläufe zu beschreiben. Dabei werden sowohl Stoffkonzentrationen in einzelnen Proben, der Aufschluss der Materialien als auch die Trennung in mehrere Produkte berücksichtigt. Disperse Partikeleigenschaften wie Größenverteilung und Aufschlussgrad können mittels der Entropie in einen sinnvoll zu vergleichenden Parameter zusammengefasst werden.

Im Vortrag werden einige Beispiele für mehrdimensionale Trenngradkurven aus verschiedenen Teilen der Aufbereitungstechnik gezeigt. Damit soll das Werkzeug der mehrdimensionalen Darstellung und Beschreibung einem breiteren Anwenderfeld präsentiert werden. Mit ihm können in Zukunft komplizierte Trennprozesse sinnvoll erforscht und teilweise lange Zeit bekannte Prozesse ausführlich beschrieben werden. Daran schließt sich eine Beschreibung von Kreisläufen mithilfe der Entropiekonzepte an, sozusagen eine Erweiterung von der Beschreibung des Trennprozesses hin zu Kreisläufen, in denen zum Beispiel Zerkleinerungsprozesse stattfinden.

Aufsätze zu den beschriebenen Themen sind derzeit im Review. Ein deutschsprachiger Aufsatz zum Thema wurde in der Chemie Ingenieur Technik publiziert:

Buchwald, Ditscherlein, Peuker (2022) Beschreibung von Trennoperationen mit mehrdimensionalen Partikeleigenschaftsverteilungen. Chemie Ingenieur Technik 95 (1–2) S. 199–209

Heinrich-Schubert-Preis

Am 18. April 2019 beschloss die Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik der TU Bergakademie Freiberg, jährlich den Heinrich-Schubert-Preis zu vergeben. Mit dem Preis wird an das Wirken des ehemaligen Lehrstuhlinhabers Prof. Dr.sc.techn. Drs.h.c. Heinrich Schubert erinnert, der sich im In- und Ausland überragende Verdienste in den Bereichen Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitung erworben hat. Prof. Schubert verstarb am 09.04.2018 im Alter von 92 Jahren.

Mit dem Preis werden Personen ausgezeichnet, die im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit oder Promotion ihre Exzellenz in der Mechanischen Verfahrenstechnik, Mineralaufbereitung oder dem Recycling gezeigt haben. Auch kann damit ehrenamtliches Engagement zum Wohle des Fachbereiches gewürdigt werden.

Die Verleihung des Preises findet durch den Dekan der Fakultät mit Übergabe einer Urkunde, der Schubert-Medaille sowie einem Preisgeld im Rahmen der jährlichen Tagung „Aufbereitung und Recycling“ statt. Vorschlagsberechtigt sind Hochschullehrer der technischen Wissenschaften sowie Vertreter aus außeruniversitären Forschungseinrichtungen und der Industrie des genannten Fachgebiets.

Näheres bestimmt die Satzung:

<https://tu-freiberg.de/fakult4/mvtat/satzung-zum-heinrich-schubert-preis-erschienen>



Die Preisgelder 2023 wurden von der Fachgruppe Aufbereitung des Vereins der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg gespendet: Irina Bremerstein, Thomas Buchwald, Olaf und Uta Dumke, Wolfgang Ebert, Gunter Kirchner, Thomas Koehler, Bernd Kubier, Helmut Müller, Thomas und Anna Mütze, Urs Peuker, Martin Rudolph, Michael Scheibe, Thomas Schmalz, Thomas Schwalm, Katrin Spindler und Denise Toussaint.

Weitere Informationen zur diesjährigen Verleihung des Heinrich Schubert Preises an Herrn Dr.-Ing. Bruno Michaux können der Pressemitteilung über folgenden Link abgerufen werden:

<https://tu-freiberg.de/presse/heinrich-schubert-preis-fuer-bruno-michaux>

Ansprechpartner:

Prof. Dr.-Ing. Urs Peuker

Dr.-Ing. Thomas Leißner

Kreislaufführung von Automobilglas

Autoren:	M.Sc. Rui Du ¹ Jun.-Prof. Sindy Fuhrmann ¹ , ¹ Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Glas und Glastechnologie
Referent:	M.Sc. Rui Du , Technische Universität Bergakademie Freiberg Institut für Glas und Glastechnologie
E-Mail-Adresse	ruí.du(at)igt.tu-freiberg.de

Gemäß dem Bundes-Klimaschutzgesetz¹ soll Deutschland bis spätestens 2045 CO₂-Neutralität erreichen. Eine Maßnahme in der Industrie dafür ist die Erhöhung der Sekundärrohstoffquote und die Realisierung geschlossener Materialkreisläufe.

Vor diesem Hintergrund fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Car2Car – Kreislauffähige, nachhaltige Fahrzeugverwertungskonzepte“ im Rahmen der Förderrichtlinie „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ mit insgesamt 6,4 Millionen Euro. Das Hauptziel des Projekts besteht darin, eine geschlossene Kreislaufführung in ausgewählten Werkstoffgruppen von Automobilen zu ermöglichen und umzusetzen. Neben Untersuchungen und Entwicklungen für eine optimierte Demontage wird im Bereich der intelligenten Sortierung und Aufbereitung sowie für eine Kreislaufbefähigung der Werkstoffgruppen Stahl, Aluminium, Glas, Kunststoffe und Kupfer geforscht. Es erfolgt außerdem die ökologische und ökonomische Bewertung der entwickelten Konzepte für das geschlossene Recycling der Materialien.

Innerhalb dieses Projektes werden am Institut für Glas und Glastechnologie der TU Bergakademie Freiberg grundlegende Erkenntnisse zur Verwendung von post-consumer Scherben in der Automobilglasherstellung gewonnen. Diese Forschungsarbeit wird vorgestellt.

¹ Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist. www.gesetze-im-internet.de/ksg/KSG.pdf

Rohstoffpotential von Abfall- und Reststoffen für die Glasfaserherstellung	
Autoren:	Dr. Stephan A. H. Sander ¹ M.Sc. Md. Saif Hoassain ¹ , Jun.-Prof. Sindy Fuhrmann ¹ ¹ Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Glas und Glastechnologie
Referent:	Dr. Stephan A. H. Sander , Technische Universität Bergakademie Freiberg Institut für Glas und Glastechnologie
E-Mail-Adresse	Stephan.sander(at)igt.tu-freiberg.de

Glas ist chemisch extrem vielseitig. Insbesondere technische Glasfasern besitzen keine hohen Anforderungen an Farbe oder Transparenz. Vielmehr besitzen mechanische, chemische und thermische Beständigkeit für die Anwendungen als Verstärkerfasern in Materialverbänden oder bei refraktären Einsatz große Bedeutung.

Das Potential von silikatischen Rest und Abfallstoffen aus der Metallurgie, bzw. Rohstoffgewinnung wird in Hinblick auf die Herstellung technischer Glasfasern bewertet. Es werden die Anforderungen an die Ausgangsstoffe definiert und die experimentellen Ergebnisse der Glasfaserherstellung aus sekundären Kupferschlacken präsentiert.

Einsatz von Feinscherben für die Glasherstellung: Untersuchung der Kompaktierung und des Schmelzverhaltens	
Autoren:	Dr.-Ing. Khaled Al Hamdan ¹ Prof. Dr.-Ing. Sven Wiltzsch ² , Stephan A. H. Sander ¹ , Jun.-Prof. Sindy Fuhrmann ¹ , ¹ Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Glas und Glastechnologie ² Technische Hochschule Nürnberg, Fakultät Werkstofftechnik
Referent:	Dr.-Ing. Khaled Al Hamdan , Technische Universität Bergakademie Freiberg Institut für Glas und Glastechnologie
E-Mail-Adresse	Khaled.alhamdan(at)igt.tu-freiberg.de

Bei der Scherbenaufbereitung fallen ca. 10 % Feinscherbenanteil mit Korngröße < 300 µm an. Das summiert sich in Deutschland auf jährlich ca. 0,3 Millionen Tonnen, in Europa auf jährlich ca. 0,96 Millionen Tonnen. Dies ist ein großes Potential Recyclinganteile in der Glasherstellung weiter zu erhöhen. Jedoch verursachen Feinscherben beim Recycling, d.h. bei deren Wiedereinschmelzen, erhebliche Verstaubungs-, Homogenitäts- und Schaumprobleme aufgrund ihrer geringen Größe. Die Förderung der Schaumbildung durch Feinscherben erhöht zusätzlich den Energieverbrauch und verkürzt die Lebenszeit der Glasschmelzwanne und der Regeneratoren. Ein weiteres Problem der Feinscherben ist ein üblicherweise hoher Grad an Verunreinigungen, meist organisch-chemischer Natur. Diese Verunreinigungen haften stark, sind kaum zu entfernen und führen zu einer wesentlichen Veränderung von Redoxgleichgewicht und damit verbunden der Läuterung und Farbqualität der Glasschmelze. Durch Kompaktierung der Feinscherben mit und ohne Gemenge im Granulierteller, Intensivmischer, in hydraulischer Presse und Walzenpresse unter Einsatz verschiedener Bindemittel wurde versucht die Verstaubung zu minimieren. Es wurde das Schmelzverhalten, insbesondere die Schaumbildung untersucht. Es werden die Ergebnisse der Versuche präsentiert.

SAMSax – nachhaltige additive Fertigung in Sachsen

Autorin:	Dr. Lisa Kühnel, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Professur für Additive Fertigung
Referentin:	Dr. Lisa Kühnel , Technische Universität Bergakademie Freiberg, Professur für Additive Fertigung
E-Mail-Adresse	Lisa.Kuehnel(at)imkf.tu-freiberg.de

Nachhaltigkeitsaspekte der Fertigung rücken bei Konsumenten und Industrie zunehmend in den Vordergrund. Die Treiber dafür sind vielfältig. Menschengemachter Klimawandel sowie Ressourcen- und Materialknappheit machen deutlich, dass dieses Thema auf lange Zeit aktuell bleiben wird. Es gibt verschiedene Ansätze zur Steigerung der Nachhaltigkeit von Produkten, wie die Auswahl ressourcenschonender Fertigungsverfahren und nachwachsender Materialien, einen geringen Energieverbrauch während der Nutzungsphase oder das Design-for-Recycling. All diese Ansätze zur Kreislaufwirtschaft haben gemeinsam, dass fundiertes neues Wissen zunächst erarbeitet und danach möglichst weit verbreitet werden muss, damit ein großer Effekt entsteht. Die Forschung und insbesondere die Vernetzung aller relevanten Akteure ist somit für die Etablierung einer nachhaltigen Produktion höchst relevant.

Das gemeinsame Pilotprojekt der drei technischen Universitäten Sachsens (TU Bergakademie Freiberg, TU Chemnitz und TU Dresden) „**SAMSax – Sustainable Additive Manufacturing in Saxony**“ hat das Ziel, die Vernetzung und den Wissenstransfer mit Hilfe digitaler Technologien zu ermöglichen und gleichzeitig ein Reallabor zur nachhaltigen additiven Fertigung (auch 3D-Druck genannt) als physisches Experimentierfeld zu etablieren. Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft sollen durch Nutzung von nachwachsenden, re- oder upcycelten Materialien in Form von lokal verfügbaren industriellen und biobasierten Reststoffen in effizienten additiven Fertigungsprozessen ermöglicht werden. Im Fokus des Reallabors liegen dabei Verbindungen von kleinen und mittelständischen Unternehmen sowohl als Quelle/Anbieter für Reststoffe als auch Abnehmer/Anwender der neuen Materialien und Technologien.

Es konnten bereits einige potentielle Reststoffe, ihre Anwendbarkeit für die additive Fertigung sowie für neue Produkte identifiziert werden. Neben industriellen Reststoffen, wie beispielsweise Papierstaub, Holzstaub oder recycelte Kunststoffe, werden auch industrielle Nebenprodukte wie Brechsand, Textil- und Agrarreststoffe analysiert, aufbereitet und in der additiven Fertigung erprobt. Aufbauend auf diesem Wissen können im Reallabor nachhaltige Produkte gefertigt und als Prototypen den Anwendern bereitgestellt werden. Erste Anwendungen liegen im Bereich individualisierter Produkte, Musikinstrumente, Verpackungen aller Art sowie Restaurations- und Architekturmodelle.



Abbildung: gescannter Stuck mittels Binder Jetting aus Steinrestauriermörtel gefertigt

Ganzheitliche Rückgewinnung von Wertstoffen aus Wälzschlacken

Autoren:	Junnile L. Romero ¹ , Volker Recksiek ¹ , Norman Kelly ¹ , Ajay Bhagwan Patil ^{1,2} ¹ Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF), Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR) ² University of Jyväskylä Finland, Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Science
Referent:	Junnile L. Romero , Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF), Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR)
E-Mail-Adresse	j.romero(at)hzdr.de

Das Wälzverfahren ist ein pyrometallurgisches Verfahren, bei dem aus zinkhaltigen Rückständen Zinkoxid gewonnen wird. Als Einsatzstoff dient hauptsächlich Flugstaub aus der Stahlherstellung (Electric Arc Furnace Dust, EAFD), des Weiteren werden minderwertige Zinkerze, Zinklaugungsrückstände, zinkhaltige Schlacke aus der Bleiverhüttung, Zinkelektrolyt-Reinigungsniederschlag, Zinkkrätze aus der Beschichtungsherstellung und andere zinkhaltige Abfälle eingesetzt. Diese Eingangsstoffe werden mit einem kohlenstoffhaltigen Reduktionsmittel sowie weiteren Zuschlagstoffen bei 1200-1300 °C in einen Drehrohrofen gegeben, um Zink zu gewinnen [1]. Koks und CO (Produkte der partiellen Kohlenstoffoxidation) wandeln Zinkoxid und Zinkferrit in Zinkmetall um [3]. Das Zink verdampft und oxidiert im sauerstoffhaltigen Gasstrom zu ZnO, das als Produkt aus dem Abgasstrom gefiltert wird [2]. In Europa werden mit diesem Verfahren ca. 250.000 t/Jahr Zink gewonnen, wobei Wälzschlacke als Abfallprodukt in einer Menge von etwa 800.000 t/Jahr anfällt [4].

Die Weiterverwendung von Wälzschlacke ist jedoch aufgrund der mangelnden Umweltverträglichkeit, insbesondere wegen des auslaugbaren Schwermetallgehalts, problematisch, so dass Wälzschlacke weitgehend deponiert wird. Neben hohen Gehalten an Eisen (40 bis 50 %) enthalten Wälzschlacken relativ hohe Mengen an Zink, Mangan und Blei [3], so dass eine Rückgewinnung von Eisen, Zink, Mangan sowie Blei angestrebt werden sollte. Die Zusammensetzung der anfallenden Schlacken ist sehr unterschiedlich und wird in zwei Typen eingeteilt: CaO-reiche und SiO₂-reiche Schlacken mit einem Basizitätsindex von größer bzw. kleiner als Eins [3]. Diese Zusammensetzung und Klassifizierung bestimmen das Recyclingverfahren für die Wälzschlacke [3]. Die Aufbereitung von Wälzschlacke wurde bereits mit verschiedenen Verfahren, wie z. B. im Kupolofen [1], in einem Top Blown Rotary Converter (TBRC) [3] und als Beschickung eines Elektrolichtbogenofens [3] eingehend untersucht. Diese Studien wurden jedoch nicht bis zur technischen Marktreife verfolgt [3].

Am Helmholtz-Institut Freiberg soll im Rahmen des Waelue-Projekts die Aufbereitung der Wälzschlacke mittels eines neuen Schmelzreduktionsverfahrens in einem Plasmaofen entwickelt werden. Dabei sollen die technische und wirtschaftliche Machbarkeit der Aufbereitung der Wälzschlacke im Tonnenmaßstab demonstriert werden. Eine zentrale Zielstellung besteht darin, die Ressource durch ein neues Verfahren nutzbar zu machen und bisher auftretende Probleme im Recyclingprozess zu lösen.

Im Waelue-Projekt sollen drei Hauptprodukte erzeugt werden: Roheisen, die Waelue-Schlacke sowie eine zink- und bleihaltige Flugasche. Das entstehende manganhaltige Roheisen kann in der Stahlindustrie verwendet werden. Die Flugasche könnte als Rohstoff für die Zink- und Bleirückgewinnung dienen. Die Waelue-Schlacke soll in der Baustoffindustrie eingesetzt werden, z. B. als alkalisch aktiviertes Bindemittel. So soll mit dem neuen Verfahren die Strategie der Kreislaufwirtschaft umgesetzt werden, bei der die Verwendung aller erwarteten Produkte angestrebt, Abfälle vermieden sowie die Ressourceneffizienz maximiert werden sollen. Langfristig soll der Energieaufwand für die Verhüttung mit elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen abgedeckt werden und die erzeugten marktfähigen Produkte sollen einen wirtschaftlichen Betrieb sicherstellen.

Gegenwärtig wird an der Homogenisierung, Zerkleinerung, Sortierung und Charakterisierung des Einsatzmaterials gearbeitet. Unser Projekt zielt darauf ab, die ganzheitliche Verwertung von Wälzschlacke zu erreichen, die schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt drastisch zu verringern und eine nachhaltige Lösung für dieses schwierige Nebenprodukt zu finden.

Literaturverzeichnis

- [1] P. I. Grudinsky, et al., "State of the Art and Prospect for Recycling of Waelz Slag from Electric Arc Furnace Dust Processing", *Inorganic Materials: Applied Research*, vol. 10, no. 5, 2019, doi: 10.1134/S2075113319050071.
- [2] S. Małeckı et al., "High-performance method of recovery of metals from eaf dust—processing without solid waste", *Materials*, vol. 14, no. 20, 2021, doi: 10.3390/ma14206061.
- [3] P. Grudinsky et al., "Reduction Smelting of the Waelz Slag from Electric Arc Furnace Dust Processing: An Experimental Study", *Crystals*, vol. 13, no. 2, 2023, doi: 10.3390/cryst13020318.
- [4] D. Mombelli, et al., "Laboratory investigation of Waelz slag stabilization", *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 94, 2015, doi: 10.1016/J.PSEP.2014.06.015.

Poster 6

FlotSim – A binary mineral case study for leveraging Multiphase Flow and Physical Chemistry to Engineer the Next Generation of Flotation Processes	
Autorin:	Gülce Öktem Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
Referentin:	Gülce Öktem , Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
E-Mail-Adresse	g.oektem(at)hzdr.de

Poster wurde kurzfristig abgesagt

Von Mikroflotation zur Industrie – Eine Methodik für Upscaling und Optimierung von Reagenziensystemen in der Schaumflotation	
Autoren	Borhane Ben Said ¹ Dr. Martin Rudolph ¹ Lucas Pereira ¹ ¹ Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF), Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR), Abteilung Aufbereitung
Referent:	Borhane Bend Said , Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF), Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR)
E-Mail-Adresse	b.ben-said(at)hzdr.de

Aufgrund ihrer zunehmenden Bedeutung in wirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht sind neue Reagenzien und Reagenziensysteme von entscheidender Bedeutung für die Optimierung von Schaumflotationsverfahren, einschließlich der Erhöhung der Produktqualität und der Ausbeute. Experimente im Labormaßstab reichen jedoch nicht aus, um die betriebliche Wirkung zu bewerten, insbesondere wenn komplexe Fließschemata erforderlich sind. In diesem Beitrag stellen wir eine Methodik vor, die auf einer Kombination aus statistischer Versuchsplanung (DoE) und numerischen Optimierungsmethoden basiert, um die Lücke zwischen den verschiedenen Prozessdimensionen zu schließen. Die Methode wird anhand einer Fallstudie über Scheelit-Erz demonstriert und ihre Vor- und Nachteile werden diskutiert. Darüber hinaus werden die Ergebnisse industriell validiert.

Decoating Efficiency in Recycling of PEM Electrolyzers	
Autoren:	Dipl.-Ing. Malena Staudacher ¹ , Prof. Dr.-Ing. Urs A. Peuker ¹ , ¹ Technische Universität Bergakademie Freiberg Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik
Referentin:	Dipl.-Ing. Malena Staudacher , Technische Universität Bergakademie Freiberg Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik
E-Mail-Adresse	Malena.Staudacher(at)mvtat.tu-freiberg.de

As part of the German government's National Hydrogen Strategy 2020 [1], green hydrogen is to be established as an energy carrier and its market ramp-up is to be supported. The focus is on electrolysis of water, with the required electricity generated from renewable energy sources, to produce CO₂-neutral hydrogen. In the BMBF-funded flagship project H₂Giga, electrolyzers for hydrogen production are being developed for series production, including recycling.

Compared to the established alkaline electrolysis, proton exchange membrane (PEM) electrolysis is a young technology that has experienced a massive upswing in recent years [2]. However, production capacity is limited due to the high cost of critical raw materials such as iridium and platinum. Therefore, the recycling of used electrolyzers is essential in order to return the materials to the resource cycle. Mechanical processing of PEM electrolyzers focuses on the electrolytic cell in order to recover the precious metal catalyst which is embedded as nanoparticles in the electrode. In addition, mechanical processing is advantageous for the fluorine-containing polymer membrane because it avoids fluorine emissions compared to thermal treatment.

The multilayer composite of the catalyst particles coated on both sides of a flexible polymer membrane presents a challenge for mechanical processing due to structures in the single-digit micrometer range. In addition, a recycling rate of more than 99% is required due to the presence of critical raw materials such as iridium which belongs to the platinum group metals (PGM). For the mechanical processes, the fracture mechanics and decoating behavior of the valuable electrode materials from the polymer membrane are intensively investigated. The subsequent analysis to determine the process result must also be adapted to the small quantities, small sample numbers and the handling of the flexible membrane.

To separate the valuable electrode powder from the polymer membrane, investigations were carried out on a laboratory hammer mill. The results show that the precious metal catalyst can be recovered by impact. Furthermore, a selective decoating of the platinum- or iridium-containing electrodes can be observed. Thus, electrode concentrates, which are advantageous for subsequent separation processes, can be produced during comminution in the hammer mill.

Poster 9

Influence of Discharge on the Recycling of Li-Ion Batteries

Autoren:	Christian Wilke ¹ , Alexandra Kaas ¹ , Prof. Urs A. Peuker ¹ Jannik Born ² , Harald Zetzener ² , Arno Kwade ² ¹ Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik ² TU Braunschweig, Institut für Partikeltechnik
Referent:	Christian Wilke , Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik
E-Mail-Adresse	Christian.wilke(at)mvtat.tu-freiberg.de

Lithium-ion batteries (LIBs) are currently the most widely used energy storage devices for stationary and mobile applications. In order to close the material cycle and to recover the contained valuable materials, the LIB should be recycled. New EU regulation sets targets for the recovery of Li, Co, Ni and Cu. To meet these targets, the mechanical recycling process needs to be optimised. During the mechanical recycling process, the LIB cells get crushed, dried and then separated into the different components by sieving and air classification. One factor that has an influence on the recovery rates is the discharge level. In order to ensure safe crushing, the LIB cells must be over-discharged below the cut-off voltage. The further below the cut-off voltage the cells are discharged, the more the inner structure of the cells is affected. For example, the copper foil of the anode will begin to dissolve and deposit on the cathode coating. The cathode coating detaches from the aluminium foil and becomes laminated to the separator foil.

This contribution evaluates how the discharge level affects the mechanical recycling. The different products after sieving and air classification are analysed and compared. The further the cells are over-discharged, the poorer is the product quality. For example, the content of Co and Ni in the fine fraction, the so-called black mass, decreases, while the content of unwanted Cu increases. The separator is heavier with the attaching coating and is therefore diverted to the electrode product. This results in a lower quality of the electrode product and a lower production of the separator product.

Acknowledgements

The present contents are based on the DIGISORT and LOWVOLMON projects, which were funded by the German Federal Ministry of Education and Research under grant numbers 03XP0337 and 03XP035. The responsibility for the content of this publication lies with the authors.

Poster 10

Innovation in Separation Technologies for Secondary Raw Materials	
Autoren:	Dipl.-Ing. Martin Brünner ¹ , Konstantin Tumakov ¹ , Prof. Urs A. Peuker ¹ ¹ Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik
Referenten:	Dipl.-Ing. Martin Brünner Konstantin Tumakov , Technische Universität Bergakademie Freiberg Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik
E-Mail-Adresse	Martin.Brueenner(at)mvtat.tu-freiberg.de Konstantin.Tumakov(at)mvtat.tu-freiberg.de

Die Sortierung von leitfähigen Nichteisenmetallen spielt beim Recycling eine wichtige Rolle. Das Poster zeigt zwei Ansätze, metallische Wertstoffe mit geringer Partikelgröße aus einem Materialstrom zu trennen: Wirbelstromabscheidung und mechanisches, sensorbasiertes Sortieren.

Die Wirbelstromabscheidung ist gut geeignet, um leitfähige und nicht-leitfähige Materialien zu trennen. Sehr kleine Partikel sind für konventionelle Wirbelstromabscheider jedoch aufgrund der niedrigen Frequenzen problematisch. Deswegen wurde das Arbeitsprinzip der Wirbelstromabscheidung überarbeitet und der Einsatz mit höheren Frequenzen untersucht. Durch die Konstruktion des neuen Wirbelstromabscheiders konnte die untere Grenze der Partikelgröße deutlich verschoben werden.

Der Metall-Kicker ist ein mechanischer, sensorbasierter Sortierapparat, der leitfähige und nicht leitfähige Materialien voneinander trennt. Mithilfe induktiver Sensoren werden leitfähige Materialien in einem Materialstrom detektiert. Nach der Detektion der Partikel überträgt ein Kicker-Element einen kinetischen Impuls auf ein detektiertes Metall-Partikel und wirft es aus dessen Flugbahn. So werden die Partikel in zwei Materialströme aufgeteilt. Versuche mit Modell-Materialien untersuchen den Einfluss des Durchsatzes auf den Prozess und zeigen, dass die Partikelgröße bis zu einer gewissen Größe wenig Einfluss auf die Sortierung hat.

Künstliche Intelligenz in Verbindung mit „Sensorfusion“ in der Analytik oder Sortierung von Verpackungsmaterialien

Autor:	Dipl.-Ing. Hendrik Beel, RTT System GmbH
Referent:	Dipl.-Ing. Hendrik Beel , RTT System GmbH
E-Mail-Adresse:	Beel(at)rtt-zittau.de

Die moderne Sortierung von Verpackungen hat sich zu einer entscheidenden Komponente in der Abfallwirtschaft und im Umweltschutz entwickelt. In einer Welt, in der Verpackungen einen bedeutenden Teil unseres täglichen Lebens ausmachen, ist es von großer Bedeutung effiziente und nachhaltige Methoden zur Verarbeitung und Wiederverwertung dieser Materialien zu entwickeln. Moderne Sortierverfahren setzen auf fortschrittliche Technologien und automatisierte Prozesse um Verpackungen effizient zu erfassen und in verschiedene Materialströme zu lenken.

Auf Nahinfrarot (NIR) basierende Sortieraggregate bilden heute die Grundlage für eine effiziente und leistungsfähige Sortierung von Verpackungsmaterialien in verschiedene Stoffgruppen oder Materialströme.

Ziel der meist mehrstufigen Sortierung ist eine möglichst hohe Produktreinheit bei möglichst geringen Materialverlusten.

Die oberflächenbasierte Erkennung der NIR-Sortierung eignet sich besonders zur Identifikation von Monomaterialien und stößt bei der Klassifizierung von Verbunden an ihre Grenzen.

In den letzten Jahren werden zunehmend Sortieraufgaben realisiert, bei denen ausschließlich hochauflösende Farbsysteme zur Klassifikation eingesetzt werden.

Diese Systeme bieten das Potential einer tieferen Auflösung der anfallenden Materialströme - bedingen aber auch eine sehr komplexe und aktuelle Datenbasis, um die angestrebte Sortieraufgabe dauerhaft zu gewährleisten.

Wie beim NIR handelt es sich auch bei der Farbkamera um ein oberflächenbasiertes Erkennungssystem, das hier jedoch mit Hilfe von künstlicher Intelligenz die Ähnlichkeit der zu klassifizierenden Objekte mit Vergleichsobjekten in einer Datenbank bewertet. Sind diese Datenbanken gut strukturiert, können eine Vielzahl von Informationen über das klassifizierte Objekt übertragen werden. Die möglichen Informationen gehen weit über die eigentliche Materialart des Objektes hinaus.

Aus dem Farbbild lassen sich jedoch keine „harten“ Entscheidungskriterien ableiten. Nicht ausreichend trainierte Objekte können nicht eindeutig oder gar nicht zugeordnet werden, was insbesondere bei regional unterschiedlichen Verpackungen ein enormes Problem darstellt. Zudem führt bereits ein einfaches Re-Design einer gut trainierten Verpackung zum Totalverlust einer möglichen Klassifikation.

Immer komplexere Sortieranlagen bei gleichzeitig stark steigendem Automatisierungsgrad erfordern die Digitalisierung möglichst vieler Stoffströme. Die Stoffströme im Zulauf oder im Durchlauf von sensorgestützten Sortiersystemen liefern bereits eine gute Datenbasis für die Online-Bewertung von Betriebszuständen oder aktuellen Produktqualitäten.

In einer Sortieranlage gibt es dennoch eine Vielzahl von analogen Sortierprozessen, die separat überwacht werden müssten.

Die zur Qualitätskontrolle eingesetzten Technologien entsprechen im Wesentlichen denen der sensorbasierten Sortiersysteme und nutzen oberflächenbasierte Systeme wie NIR- oder Farbkameras.

Basierend auf der langjährigen Erfahrung mit sensorgestützten Sortieraggregaten hat die RTT System GmbH im Jahr 2022 mit der Entwicklung eines neuen Erkennungsmoduls begonnen. Dieses Modul wurde zunächst im flakeanalyser 2.0 eingesetzt und kommt nun auch im neuesten Produkt von RTT, dem processanalyser, zum Einsatz.

Neben dem klassischen NIR verfügt das Modul über eine hochauflösende Farbkamera und eine Formerkennung mittels 3D-Laserschnitt.

Ziel dieser Sensorfusion ist es, die Potenziale, die sich aus der Kombination von künstlicher Intelligenz und den Daten einer Farbkamera ergeben, weiter auszuschöpfen. So liefert die NIR-Kamera ein sehr hartes Signal über die Materialart des Objekts, was in Kombination mit dem 3D-Laserschnitt zu einer deutlich robusteren Klassifizierung führt.

Der processanalyser ist ein semimobiles Analysegerät zur Qualitätskontrolle von Massenströmen.

Digitale Abbildung von Materialreaktionen in Kompaktierpressen

Autoren:	Dipl.-Ing. Johannes Müller, Technische Universität, Freiberg Prof. Dr.-Ing. Holger Lieberwirth, Technische Universität, Freiberg Dr.-Ing. Felix Heinicke, Köppern Aufbereitungstechnik, Freiberg, Germany
Referent:	Dipl.-Ing. Johannes Müller , Technische Universität Bergakademie Freiberg
E-Mail-Adresse:	j.mueller(at)koeppern.com

Das Kompaktier-Granulierverfahren zur Herstellung von Düngemittelgranulaten kommt unter anderem in der Kaliindustrie zur Anwendung. Im Wesentlichen setzt sich das Verfahren aus den Makroprozessen Pressagglomeration, Zerkleinern, Mischen und Klassieren zusammen. Im ersten Schritt des Verfahrens wird fein-disperses Rohsalzkonzentrat auf einer Walzenpresse mit profilierter Oberfläche zu festen, plattigen Pressagglomeraten, den sogenannten Schülpen, kompaktiert.

Im Zuge der einzelnen Prozessschritte wird der Eigenschaftsvektor des Materials stetig beeinflusst. So ändert sich z.B. neben den Korngrößenverteilungen auch das Mischungsverhältnis von scharfkantigem Bruchmaterial zu rundartigem Aufgabematerial (bei Kristallisationserz) mit entsprechenden Auswirkungen auf den Verdichtungsvorgang in Kompaktierpressen.

Um den Prozess industriell als digitalen Zwilling abbilden zu können, muss die Kopplung der Prozesse und Einflüsse mit mathematischen Modellen erfolgen. Aufbauend auf einer kurzen Übersicht über das Kompaktier-Granulierverfahren wird im vorliegenden Beitrag ein Einblick in die Sensitivität ausgewählter Übertragungsparameter auf wesentliche verfahrenstechnische Kenngrößen gegeben.

Intelligente Kombination - Potential der Feinstkornabsiebung von Zementrohmehl

Autor:	Dr.-Ing. Jan Lampke, HAVER ENGINEERING GmbH
Referent:	Dr.-Ing. Jan Lampke , HAVER ENGINEERING GmbH
E-Mail-Adresse:	J.Lampke(at)haverengineering.de

Der Beitrag befasst sich mit der Problematik der mechanischen Trockensiebklassierung im Feinstkornbereich, die nach einigen grundlegenden Ausführungen zum Ablauf und zur Bewertung eines Siebvorganges und der dafür zur Verfügung stehenden Klassiertechnik, am Beispiel der Zementrohmehlabsiebung näher betrachtet wird. Dabei werden auch die Energieeinsparungspotenziale der direkt erregten Siebmaschinen für die Feinstkornabsiebung gegenüber dynamischen Sichern betrachtet.

Speziell in der Fein- und Feinstkornklassierung finden Siebmaschinen mit direkt erregten Siebbelägen Verwendung, wodurch der Hauptnachteil der siebkastenerregten Siebmaschinen, der in den großen bewegten Massen besteht, vermieden wird. Da die Bewegungsenergie ausschließlich durch die Trennfläche auf das Siebgut übertragen wird, ist es völlig ausreichend, wenn nur die Siebfläche in Schwingungen versetzt wird. Die geringe dynamische Last wirkt sich zudem positiv auf die Auslegung des Stahlbaus aus.

Anhand von Versuchsergebnissen, welche im Kooperationsprojekt mit dem VDZ und thyssenkrupp Polysius GmbH mit einer HAVER FINE-LINE ermittelt wurden, wird das Potential zur Energieeinsparung in der Rohmehlklassierung deutlich.

Ebenfalls wirkt sich verbesserte Klassierung mittels direkt erregter Siebmaschine auf die Rohmehlgranulometrie aus. Das homogenere Rohmehl zeigt einen reduzierten mittleren Partikeldurchmesser, was sich nach dem Brennprozess in einem geringeren Freikalkgehalt (CaO_{frei}) widerspiegelt. Die Trennschärfere Klassierung sorgt zudem für eine Verringerung des maximalen Partikeldurchmessers, was wiederum die notwendige Reaktionszeit im Brennprozess reduziert.

Zusammenfassend kann anhand der Ergebnisse festgestellt werden, dass durch die Verwendung der HAVER FINE-LINE im Zementrohmehlkreislauf eine Einsparung der elektrischen Energie von ca. 20 % (entspricht ca. $5\text{kWh}/t_{\text{Zement}}$) sowie eine thermische Einsparung von ca. $70\text{ MJ}/t_{\text{Klinker}}$ erreicht werden können.

Elektrodynamische Fragmentierung als alternative Zerkleinerungslösung für das Recycling von Feuerfestmaterial	
Autoren:	Dipl.-Ing. Karl Friedrich, Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung, Montanuniversität Leoben Prof. Helmut Flachberger, Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung, Montanuniversität Leoben
Referent:	Dipl.-Ing. Karl Friedrich , Montanuniversität Leoben Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung
E-Mail-Adresse:	karl.friedrich(at)unileoben.ac.at

Das vom EU-Horizon-Programm geförderte und von RHI Magnesita geleitete 3,5-Jahres-Projekt „Refractory Sorting Using Revolutionizing Classification Equipment“ (ReSoURCE) zielt darauf ab, die grüne und digitale Transformation der Wertschöpfungskette des Feuerfestrecyclings sicherzustellen.

Die Initiative wird die gesamte Prozesskette mit einer KI-gestützten Multisensor-Sortieranlage als Kerntechnologie erneuern. Durch die Kombination von laserinduzierter Plasmaspektroskopie (LIBS), hyperspektraler Bildgebung (HSI) mit optimierter Vorverarbeitung und automatisiertem Auswurf wird der Grundstein gelegt, um einen neuen Stand der Technik für die Sortierung von Feuerfestabfällen mit Partikelgrößen bis unter 1 mm zu setzen.

Der Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung der Montanuniversität Leoben leitet in diesem Projekt das Arbeitspaket „Materialvorbereitung für die Sortierung“, welches die selektive Zerkleinerung und die charakteristische Merkmalsklassenanalyse beinhaltet.

Eine Aufgabenstellung ist die Validierung von alternativen Zerkleinerungsverfahren, um ursprünglich eingesetzte Mineralphasen freizusetzen und so die Qualität des Sekundärmaterials zu steigern. Hierbei soll der Einsatz von elektrodynamischer Fragmentierung als Sekundärbrechschritt im Labormaßstab untersucht werden. Das Nassverfahren erscheint für diesen Zerkleinerungsschritt als zielführend, da die Trennung selektiv auf Grund von elektrischen Durchschlägen des zwischen zwei Elektroden liegenden Partikels erfolgt. Feuerfestprodukte bestehen aus Kombinationen von überwiegend oxidisch gesinterten oder geschmolzenen Rohstoffen. Der elektrische Plasmakanal dringt dabei überwiegend an den Mineralphasengrenzen durch die Partikel und induziert Risse an diesen Stellen. Unter Wahl der richtigen Prozessparameter, wie etwa Spannung oder Pulsanzahl, könnten die Feuerfestprodukte daher teils in ihre reinen Ursprungsbestandteile anstatt von Verbunden unterschiedlicher Mineralphasen zurückversetzt werden. Hiermit könnten sie ähnlich wie Primärrohstoffe für die Produktion neuer Feuerfeststeine eingesetzt werden. Das Ziel ist es, das Zerkleinerungsverhalten und den -prozess der elektrodynamischen Fragmentierung mit konventionellen Zerkleinerungsverfahren vergleichen zu können. Die Herausforderung besteht daher darin, das experimentelle Design so zu gestalten, dass die Ergebnisse direkt mit konventionellen Verfahren verglichen werden können.

Elementare und mineralogische Beurteilungen der Zerkleinerungsprodukte werden durchgeführt, um die Freisetzung der Bestandteile zu analysieren, Verteilungen der Elemente und Mineralien in Partikelgrößenklassen zu ermitteln und Verunreinigungen und Veränderungen, die nach dem Zerkleinerungsprozess auftreten, festzustellen.

Die Komplexität in der Aufgabenstellung liegt nicht nur in der Gegenüberstellung von Verfahren, welche unterschiedlichen physikalischen Trennprinzipien unterliegen. Sie liegt auch darin, die große Vielfalt an Feuerfestprodukten unterschiedlicher Zusammensetzungen und Eigenschaften durch Auswahl geeigneter Prozessparameter in ein und derselben Recyclinganlage aufzubereiten.

Anreicherung einer Metallfraktion aus Schwarzsasse mittels Dichtsortierung im Zentrifugalfeld	
Autoren:	M.Sc. Julius Luh ¹ M.Sc. Jacob Fenner ¹ M.Sc. Sebastian Keber ¹ , ¹ Technische Universität Clausthal, Institut für Aufbereitung, Recycling und Kreislaufwirtschaftssysteme
Referenten:	M.Sc. Julius Luh und MSc. Sebastian Keber , Technische Universität Clausthal, Institut für Aufbereitung, Recycling und Kreislaufwirtschaftssysteme
E-Mail-Adressen:	Julius.luh(at)tu-clausthal.de sebastian.keber(at)tu-clausthal.de

Bei der Forschung zur Aufbereitung von Schwarzsasse aus Lithiumionenbatterien spielt aktuell die Rückgewinnung des Graphits eine wichtige Rolle. Eines der gängigsten Verfahren stellt dabei die Flotation dar. Parallel zur Flotation stellt allerdings auch die Dichtsortierung im Zentrifugalfeld einen aussichtsreichen, alternativen Ansatz dar. Neben der möglichen Gewinnung eines Graphitkonzentrats kann die Aufkonzentrierung der Metallverbindungen Vorteile für ein anschließendes hydrometallurgisches Rückgewinnen von Nickel, Cobalt und Lithium haben.

Im Rahmen des Vortrags werden Untersuchungen zur Erzeugung einer Metall- und Graphitfraktion aus Schwarzsasse mittels einer Dichtsortierung im Zentrifugalfeld vorgestellt. Hierbei kommt ein Falcon-Concentrator der Firma „Sepro mineral systems“ des Typs L40 zum Einsatz. Der Falcon-Concentrator wurde in den 80er Jahren entwickelt und wird aktuell hauptsächlich zur Goldgewinnung eingesetzt. Das Trennprinzip besteht in einer Steigerung der auf die Partikel wirkenden Kräfte durch Rotation eines Konus. Diese Kraftsteigerung ermöglicht es auch feinkörnige Partikel zu separieren, welche durch traditionelle Methoden wie Rinnen oder Nass-Trenntische nicht effizient aufkonzentriert werden können. Die im Fluid enthaltenen Partikel bilden durch die wirkenden Kräfte Schichten in Abhängigkeit ihrer spezifischen Wanderungsgeschwindigkeit aus. Der Durchmesser der Zentrifuge steigt mit der Höhe, wodurch in der Retentionszone die maximale Kraft auf die Partikel wirkt. Schwergut und Leichtgut werden in der Folge in den im Konus eingelassenen Rillen angesammelt. Zur Abtrennung von Materialien mit spezifisch niedrigerer Dichte wird Fluidisierungswasser in der Retentionszone eingedüst. Hierüber wird ein Kräftegleichgewicht gebildet, was dazu führt, dass leichte Partikel, im Falle der vorliegenden Untersuchungen: Graphit, aus dem fluidisierten Bett ausgespült und mit dem Fluidstrom über die Kante des Konus transportiert werden. Partikel mit spezifisch höherer Dichte wie Nickel und Cobalt können hingegen in den Rillen aufkonzentriert werden.

Seit Mitte der 1990er Jahre werden Sortierzentrifugen auch im Kohlebergbau eingesetzt. Hierbei wird das Prinzip in umgekehrter Weise betrachtet. Der Zielstoff mit der spezifisch geringeren Dichte wird als Leichtgut ausgetragen und durch den Falcon-Concentrator von schweren Nebenbestandteilen gereinigt. Aufgrund von Dichteunterschieden in den Bestandteilen der Schwarzsasse ist eine ähnliche Anwendung denkbar.

Aufbereitung von Fruchttrestern und-fasern im Hinblick auf neue Einsatzmöglichkeiten

Autor:	Raphael Sperberg, Gebrüder Jehmlich GmbH
Referent:	Raphael Sperberg , Gebrüder Jehmlich GmbH
E-Mail-Adresse:	r.sperberg(at)jehmlich.info

Sidestreams entstehen in nahezu allen verfahrenstechnischen Prozessen, so auch bei der industriellen Herstellung von Lebensmitteln. Beispiele dafür sind die Verarbeitung von Obst und Gemüse zu Fruchtsäften, Konzentraten oder Konfitüren als auch die Herstellung von Bier. Dort fallen wertstoffhaltige Rückstände an, so unter anderem Fruchttrester bei der Entsaftung, faserhaltige Rückstände bei der Verarbeitung von Zitrusfrüchten sowie Treber (Brewer Spent Grains) bei der Bierherstellung,

In letzter Zeit entwickelt sich in lebensmittelverarbeitenden Unternehmen zunehmend ein Bewusstsein diese Sidestreams gewinnbringend weiterzuverarbeiten. Ob als Protein- oder Ballaststoffquelle sowie zur Gewinnung von funktionellen Inhaltsstoffen – die Möglichkeiten sind vielfältig.

Grundlage für diese innovativen Anwendungsmöglichkeiten ist zumeist eine Trocknung und daran anschließend ein Zerkleinerungsprozess. Gebrüder Jehmlich hat als Spezialist für industrielle Zerkleinerung ein Baukastensystem entwickelt, dass auf die Anforderungen der Produkte bei der Zerkleinerung hinsichtlich Feinheit, Kapazität und Temperaturempfindlichkeit abgestimmt werden kann. Im Vortrag werden verschiedene Prozesse in der Lebensmittelindustrie beleuchtet, bei denen die genannten Sidestreams entstehen und mögliche Anwendungsfelder dieser Produkte vorgestellt. Anhand ausgewählter Fallbeispiele wird die Prozessentwicklung der Zerkleinerung im Technikum und das Upscale auf industrielle Anlagen gezeigt

Recycling von Altholz zur Holzwerkstoffproduktion	
Autoren:	M.Sc. Martin Hielscher ¹ Dipl.-Ing. (BA) Marco Mäbert ¹ , ¹ Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH
Referent:	M.Sc. Martin Hielscher , Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH
E-Mail-Adresse:	Martin.hielscher(at)ihd-dresden.de

Altholz wird in Deutschland, entsprechend des Belastungsgrades, in vier Kategorien unterteilt. (Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz 2002)

Altholzkategorie	Erklärung	Beispiele
Kategorie I (AI)	Naturl belassenes, mechanisch bearbeitetes Altholz	Paletten, Transportkisten,
Kategorie II (AII)	verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, Altholz ohne halogenorganische Verbindungen	Holzwerkstoffen, Türen,
Kategorie III (AIII)	Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel	Altholz aus Sperrmüll, mit halogenorg. Beschichtungen
Kategorie IV (AIV)	Mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz	Dachsparren, imprägnierte Hölzer

Für das Recycling sind derzeit nur die Kategorien I – III für eine stoffliche Nutzung zugelassen (III unter Einhaltung definierter Grenzwerte). Das Aufkommen in Deutschland ist über die letzten Jahre nahezu konstant und wird zwischen 11 und 8 Mio.t/a angegeben. (Statistisches Bundesamt 2022) Die Aufteilung in die einzelnen Kategorien unterliegt allerdings zwei grundlegenden Mechanismen, welche zu einer Fehleinschätzung führen können. Einerseits wird das Altholz gemäß einer Regelvermutung ohne konkrete Analyse kategorisiert, andererseits wird bei unbekannter Zusammensetzung stets vom schlechteren Fall ausgegangen, was zu einer Abstufung führen kann. In der Realität bedeutet dies, dass über 50 % der energetischen Nutzung zugeführt werden. (Döring und Mantau 2021) Zur Akquise von Altholz zur Herstellung von Holzwerkstoffen finden immer mehr Techniken aus anderen Recyclingbereichen Einzug. Zur Detektion können folgende Sensorkaskaden genutzt werden:

Sensorik	Abtrennung	Anwendungsgebiet
el. mag. Suchspule	Nägeln und Beschläge	Aufreinigung der Kategorie I
Nahinfrarot (NIR)	Holzwerkstoffe, Begleitstoffe (Papier, Folien)	Trennung AI und AII
Röntgenfluoreszenz (XRF)	Elementanalyse (v.a. anorganische Holzschutzmittel und Begleitstoffe (Beschläge im Holzinneren))	Aufreinigung AI und Trennung zu AIV
Ionenmobilitätsspektroskopie (IMS)	u.a. organische Holzschutzmittel	Trennung zu AIV
fotooptische Erkennung	Anlernen zur Abtrennung bestimmter Formen (bspw.: Fensterkanteln)	vor allem in Kombination als Unterstützung

Zur Herstellung von Holzwerkstoffen (v.a. MDF) ist ein qualitativ hochwertig aufgereinigtes Ausgangsmaterial notwendig. Dazu fanden im IHD Versuche mit 100 % Altholzanteil statt. Mit Hilfe der Anpassung der Labor - Zerkleinerungsanlage konnten Eigenschaften der Zerkleinerungsprodukte an den Industriestandard angepasst werden. Ebenso befasst sich ein laufendes Projekt mit der Dekontamination der Kategorie AIV zur Ausschleusung hochwertiger Kuppelprodukte.

Literaturverzeichnis

Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz (2002): Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung - AltholzV). AltholzV, vom Altholzverordnung vom 15.08.2002 (BGBl. I S. 3302), die zuletzt durch Artikel 120 der Verordnung vom 19.06.2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.

Döring, Przemko; Mantau, Udo (2021): Altholz im Entsorgungsmarkt. Aufkommen und Verwertung 2020.

Mauruschat, D.; Aderhold, J.; Briesemeister, R.; Meinschmidt, P.; Plinke, B.; Salthammer, T. (2014): Schnellerkennung von Holzschutzmitteln beim Recycling von Altholz mit GC-FAIMS, RFA und NIRS. Holzschutztagung. Fraunhofer WKI, 2014.

Statistisches Bundesamt (2022): Abfallbilanz (Abfallaufkommen/-verbleib, Abfallintensität, Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen - 2020.

Recycling von Papier aus Leichtverpackungen - -Analyse der anfallenden Rejektströme während eines industriellen Produktionsprozesses	
Autoren:	Alena Maria Spies, ANTS RWTH Aachen University Hannah Köhler, ANTS RWTH Aachen University Natalie Hegemann, ANTS RWTH Aachen University Lukas Vianden, RWTH Aachen University Robin Huesmann, LEIPA Group Dr.-Ing. Sebastian Kaufeld, TOMRA Feedstock GmbH Dr. techn. Arne Krolle, PROPAKMA GmbH Dr.-Ing. Karoline Raulf, ANTS RWTH Aachen University
Referentin:	Alena Maria Spies, ANTS RWTH Aachen University
E-Mail-Adresse:	Alena.spies(at)ants.rwth-aachen.de

Das Projekt EnEWA hat zum Ziel, einen Aufbereitungs- und Produktionsprozess für Papier, Pappe und Kartonagen (PPK) aus Leichtverpackungen (LVP), Rest- und Gewerbeabfällen zu entwickeln. Einer Nutzung dieser Papiere als Ressource im Papierkreislauf stehen bisher rechtliche, ökonomische und technische Hürden gegenüber. Innerhalb des Forschungsprojekts konnte der gesamte Aufbereitungs- und Produktionsprozess für PPK aus LVP bereits als Demonstrationsversuch im Industriemaßstab durchlaufen werden. Der durchgeführte Versuch beinhaltet die trockenmechanische Nachsortierung, die nassmechanische Stoffaufbereitung sowie den Papierproduktionsprozess. Als Input wurde PPK aus zwei LVP-Sortieranlagen genutzt und das nachsortierte Gutmaterial zu 20 Ma.-% einer Stoffaufbereitung zur Kartonproduktion zugemischt. Ziel war neben einer allgemeinen Machbarkeitsprüfung die Identifikation von Teilprozessen, auf die während der weiteren Prozessentwicklung ein besonderer Fokus gelegt werden muss.

Während der trocken- und nassmechanischen Prozessschritte fallen Reststoffe, sogenannte Rejekte, an. Die Ergebnisse zeigen, dass die Nutzung von PPK aus LVP zu einer Steigerung der Rejektmengen führt. Zusätzlich ist produktions- und verbrauchsseitig aktuell eine allgemeine Zunahme von Verpackungen oftmals mit einer Kombination aus Papier und Kunststoffen zu beobachten. Durch diese Papierverbundverpackungen sind ebenfalls steigende Rejektmengen zu erwarten. Eine Analyse des Rejektpotentials hinsichtlich stofflicher Verwertungsoptionen ist deshalb notwendig.

Bei der Präsentation wird der Produktionsversuch für PPK aus LVP dargestellt. Ein Fokus wird auf die während des durchgeführten Versuchs angefallenen Rejektströme gelegt. Alle Rejekte wurden in definierten zeitlichen Abständen beprobt. Anschließend wurden Analysen hinsichtlich der Zusammensetzung, des Wassergehalts, des Aschegehalts, des Brennwertes und der mechanischen Sortierbarkeit durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen die Notwendigkeit zur Optimierung der nass- und trockenmechanischen Sortierprozesse und geben einen ersten Aufschluss über das stoffliche Verwertungspotenzial der anfallenden Papierrejekte.

Planung einer der modernsten Heißverlösungsanlagen in der Kaliindustrie: vom Konzept bis zur Ausführungsplanung	
Autor:	Dr.-Ing. Vadim Greshnov, ERCOSPLAN Ingenieurbüro Anlagentechnik GmbH
Referent:	Dr.-Ing. Vadim Greshnov , ERCOSPLAN Ingenieurbüro Anlagentechnik GmbH
E-Mail-Adresse:	Greshnov/at)ercosplan.com

Die Heißverlösung ist ein weitverbreitetes Aufbereitungsverfahren, das in der Kaliindustrie zur Herstellung von Kaliumchlorid angewendet wird. Bei diesem Verfahren werden kaliumhaltige Minerale, wie zum Beispiel Sylvinit, in einer teilgesättigten vorgewärmten Lauge gelöst. Dabei löst sich überwiegend nur das Kaliumchlorid aus dem Rohstoff, welches anschließend durch Abkühlen und Kristallisieren in Form eines fertigen Düngemittels (MOP¹) gewonnen wird.

Im Zeitraum vom 2018 bis 2020 hat ERCOSPLAN eine Konzeptplanung, Basic Engineering und mechanisches Detail Engineering für eine der modernsten und größten Heißverlösungsanlagen in der Kaliindustrie im Sinne der stündlichen Leistung und der Größe der eingesetzten Ausrüstung pro Linie erarbeitet. Die maximale Stundenleistung jeder Linie (insgesamt zwei Linien) liegt bei über 600 t/h zu verarbeitendes Rohsalz, wobei das Arbeitsvolumen jedes Löse-Apparates (insgesamt drei pro Linie) über 320 m³ beträgt. Solch ein Arbeitsvolumen der Löse-Apparate ist für die Gewährleistung der optimalen Verweilzeit notwendig. Die Anwendung der passenden Ausrüstung und das Engineering nach dem „Stand der Technik“ haben es uns ermöglicht, ein KCl-Ausbringen aus dem Rohsalz ins fertige Produkt von über 90% sicherzustellen.

Dank der Heißlöseversuche, Klärversuche und Kristallisationsversuche zur Verarbeitung des sylvinitischen Rohsalzes aus der Ziel-Lagerstätte, die gemeinsam mit der UVR-FIA GmbH durchgeführt wurden, konnten die wichtigsten Parameter der Aufbereitung bestimmt werden. Das technische Verfahren wurde im Labormaßstab zum Verifizieren des gesamten Prozesses umgesetzt und anschließend auf Basis der gewonnenen Kenntnisse und langjähriger Erfahrungen für den Industriebetrieb skaliert.

Die Präsentation gibt einen Überblick zu den Versuchen zur Aufbereitung von kalihaltigen Rohsalzen mittels Heißverlösung, der verfahrenstechnischen Auslegung und dem Planungsverlauf für eine der modernsten Heißverlösungsanlagen vom Konzept bis zur Ausführungsplanung.

¹MOP - Muriate of Potash - ist der internationale Begriff für klassische KCl-Düngemittelprodukte, die sowohl aus chloridhaltigen als auch aus sulfathaltigen Kaliumlagerstätten hergestellt werden können. Im deutschen Sprachgebrauch wird MOP aufgrund seines K₂O-Gehalts von 60 Gewichtsprozent auch als K60 bezeichnet oder aufgrund seines Mindestanteils von 95 Gewichtsprozent KCl als KCl95 bezeichnet

Untersuchungen zur Aufbereitung von Gießereialsand-Regenerierstäuben mittels Abweiseradsichter	
Autoren:	Dr. rer. nat. Asija Durjagina ¹ Dipl.-Ing. Laura Hunger ¹ Dr. Thomas Krampitz ¹ Prof. – Dr. Holger Lieberwirth ¹ ¹ Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Aufbereitungs- maschinen und Recyclingssystemtechnik IART
Referentinnen:	Dr. rer. nat. Asija Durjagina Dipl.-Ing. Laura Hunger Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Aufbereitungs- maschinen und Recyclingssystemtechnik IART
E-Mail-Adresse:	Asija.Duryagina(at)mineral.tu-freiberg.de Laura.Hunger(at)iart.tu-freiberg.de

In Gießereien fällt nach jedem Guss seit jeher Altsand an. Dieser Altsand wird einer Regenerierung unterzogen, wobei bis zu 70 % des Altsandes als Formgebungsstoff zurückgewonnen und wiedereingesetzt werden können. Den verbleibenden Anteil stellt ein Staub mit einer Partikelgröße kleiner 125 µm dar, welcher deponiert werden muss. Es ist möglich, den Staub nassmechanisch Abzubinden und somit die Schüttdichte zu erhöhen. Jedoch steigen aufgrund zunehmend restriktiveren Vorgaben zur Ablagerung von Stoffen auf Deponien und gleichzeitig abnehmendem Deponievolumen in Deutschland die Entsorgungskosten an und gefährden damit die zukünftige Wettbewerbssituation deutscher Gießereien im Vergleich zu anderen Ländern mit günstigen Deponiekosten. Es ist daher zielführend eine technische Lösung zu finden, die eine minimale Deponierung und maximale Rückführung in den Gießereiprozess aus der Regenerierung vereint. Derzeit findet im industriellen Maßstab nach der Regenerierung keine Rückführung der Stäube in den Gießereiprozess statt. Über die Rückgewinnung von Wertstoffkomponenten wie die Glanzkohle oder den Bentonit sowie über alternative Verwertungswege der siliziumreichen Restfraktion liegen somit nur wenige Erkenntnisse vor. Ein Verfahren zur Abtrennung der Bentonit- und Kohlenstoffpartikel wird in der DE 41 28 303 A1 mithilfe eines Sichters vorgeschlagen. Das Patent US 6834706B2 beschreibt zudem ein nassmechanisches Verfahren mit Abscheidung von nutzbaren Bestandteilen. Beide Verfahren sind derzeit nicht im Einsatz.

Im Rahmen des Projekts „SandCycle“ wird daher die Entwicklung einer Methodik zur trockenen Separierung der aktiven bentonit- und kohlenstoffhaltigen Komponenten von den inaktiven Bestandteilen des Regenerierstaubes angestrebt. Aufgrund von Voruntersuchungen und der Eigenschaften des Systems wird die Separierung mithilfe eines Abweiseradsichters erprobt. Die Herausforderung dabei liegt neben den sehr ähnlichen Dichten und Partikelgrößen der einzelnen Bestandteile in den Verwachsungsverhältnissen und variierenden Zusammensetzungen der Staubbestandteile. Zudem sind die derzeitigen Analysemethoden für den Aktivtongehalt wenig aussagefähig und der Erfolg des Sortierprozesses schwer zu quantifizieren. Um eine Trennbarkeit der Komponenten im komplett aufgeschlossenen Zustand nachzuweisen, werden Sichtversuche mit einer synthetischen Mischung durchgeführt und ausgewertet. Darauf folgen Untersuchungen an realem Regenerierstaub, der von regionalen Gießereien in Zusammenarbeit mit dem Gießerei-Institut der TU Bergakademie Freiberg zur Verfügung gestellt wird. Im Vortrag werden die erzielten Ergebnisse vorgestellt.

Untersuchungen zur scherenden, schneidenden und reißenden Beanspruchung von CFK	
Autor:	Philipp Karsten Niebel, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Aufbereitungsmaschinen und Recyclingsystemtechnik IART
Referent:	Philipp Karsten Niebel , Technische Universität Bergakademie Freiberg Institut für Aufbereitungsmaschinen und Recyclingsystemtechnik IART
E-Mail-Adresse:	Philipp-karsten.niebel(at)iart.tu-freiberg.de

Kohlenstoffaserverstärkter Kunststoff (CFK) wird aufgrund seiner hohen spezifischen Festigkeit und Steifigkeit beispielsweise in Luft- und Kraftfahrzeugen als Leichtbauwerkstoff eingesetzt. Durch eine reduzierte Fahrzeugmasse können der Energieverbrauch und damit auch die Treibhausgasemissionen bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Reichweite gesenkt werden. Auch die Anwendung von CFK in Rotorblättern von Windenergieanlagen trägt zur Energiewende und zum Klimaschutz bei. Bei der Herstellung von CFK fallen jedoch etwa 30 % Produktionsabfälle an. Zusätzlich entstehen nach der Nutzungsphase eines Produkts End-of-Life-Abfälle. Allein für die Luftfahrtbranche wird dieser Abfallstrom Prognosen zufolge ab 2030 mit 7000 t jährlich beziffert. Für die mit steigendem CFK-Bedarf wachsende Menge an CFK-Abfällen ist die Verbrennung und die Deponierung allerdings keine sinnvolle Option. Das Recycling dieses Verbundwerkstoffs mit dem Ziel der Rückgewinnung und des Wiedereinsatzes der Kohlenstofffasern und der Kunststoffmatrix ist demzufolge unvermeidbar.

Weiterhin hat das CFK-Recycling den Vorteil, dass neuwertige Kohlenstofffasern, deren Herstellung mit einem hohen Energiebedarf zwischen 200 MJ kg⁻¹ und 600 MJ kg⁻¹ verbunden ist, durch mit geringerem Energieaufwand recycelte Fasern ersetzt werden. Das senkt die Herstellungskosten von CFK und verringert dessen ökologischen Fußabdruck. Aufgrund der mangelnden qualitativen Standardisierung der Rezyklatfasern ist deren Akzeptanz in der Industrie jedoch gering. Die Optimierung verfügbarer thermischer, chemischer und mechanischer Recyclingverfahren ist demnach erforderlich.

Die Zerkleinerung des CFK-Abfalls ist ein erforderlicher Bestandteil der meisten Prozessketten zum CFK-Recycling. Dafür werden in der Regel reißende Zerkleinerungsprozesse wie beispielsweise der Querstromzerspanner eingesetzt. Diese erreichen durch die hohen Beanspruchungsgeschwindigkeiten mit einer komplexen Beanspruchung in Verbindung mit Schlag- und Prallbeanspruchung einen hohen Zerkleinerungs- und Aufschlussgrad. Es entstehen jedoch auch hohe Gehalte an Feingut (Staub) sowie unregelmäßig geformte, splitterartige Zerkleinerungsprodukte. Da die Partikelgröße- und form allerdings einen erheblichen Einfluss auf nachfolgende Recyclingprozesse wie die Pyrolyse oder Solvolyse haben, soll untersucht werden, ob über alternative Zerkleinerungsprozesse dies bereits im Vorfeld beeinflusst werden kann. Daher sind Untersuchungen erforderlich, die das Prozessverständnis erhöhen

Im Vortrag werden Ergebnisse aus der Untersuchung zur Zerkleinerung von CFK mittels scherender, schneidender und reißender Beanspruchung vorgestellt. Die durchgeführten Experimente wurden hinsichtlich verschiedener konstruktiver und betrieblicher Faktoren beeinflusst. Als Versuchsmaschine diente ein modifiziertes Pendelschlagwerk. Die untersuchten Bedingungen der Scher-, Schneidbeanspruchung wiesen folgende Vorteile auf: geringere Gehalte an Feingut (Staub), geringer Energiebedarf sowie Herstellung definierter Partikelformen. Im Vortrag werden auftretenden Kräfte sowie die Beanspruchungsenergie und die Partikelform in Abhängigkeit von der Spaltweite, der Beanspruchungsgeschwindigkeit und der Messergeometrie ausgewertet. Aus dem generierten Prozessverständnis können Aussagen über konstruktive und betriebliche Parameter für bestimmte granulometrische Anforderungen abgeleitet werden.

LIBERATION – Lösungsbasierte Liberalisierung und Reintegration funktionaler Batteriematerialien aus Produktionsausschüssen der Zellfertigung	
Autoren:	Dr. Martin Schlummer ¹ , Thomas Zimmermann ¹ , ¹ Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV
Referent:	Thomas Zimmermann , Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV
E-Mail-Adresse:	Thomas.zimmermann(@)ivv.fraunhofer.de

Mit Blick auf die in Deutschland und Europa geplanten Batteriezellfabriken und die aktuellen Trends in der Elektromobilität steigt die Zellproduktion in den nächsten Jahren enorm an. Dadurch entstehen aber auch umso mehr Produktionsabfälle, welche bis dato nicht adäquat verwertet werden.

Im Projekt „Lösungsbasierte Liberalisierung und Reintegration funktionaler Batteriematerialien aus Produktionsausschüssen der Zellfertigung“ – kurz LIBERATION- stellt sich das Fraunhofer IVV gemeinsam mit dem Projektkoordinator Accurec, CTG GmbH & Co. KG Graphite und dem Öko-Institut der Herausforderung, Fabrikabfälle aus der Produktion von Lithium-Ionen-Zellen aufzubereiten und die zurückgewonnenen Rohstoffe wieder in die Batteriezellfertigung zu führen.

Methodisch wird dabei in einem physikalischen lösemittelbasierten Prozess der Verbund aus Schwarzmasse und metallischer Elektrodenfolie durch Auflösen eines polymeren Binders separiert. Die hochqualitativ vorliegenden Aktivmaterialien, sowie Metalle und Binder, können somit ohne chemische Behandlung und Qualitätsverlust wiedergewonnen werden. Damit wird die direkte Reintegration dieser Materialien in die Zellfertigung angestrebt.

Die Prozesskette wird zunächst im labortechnischen Maßstab, als Basis für die Auslegung einer hochskalierten Anlagentechnik, untersucht, verifiziert und optimiert. Am Ende des Projekts soll eine Durchführung des Prozesses im Pilotmaßstab erfolgen. Zusätzlich wird durch das Öko-Institut eine Ökobilanz zu den Verfahren erstellt.

Das Projekt endet Anfang 2026 und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen des Programms „Forschung in der Schwerpunktförderung Batteriezellfertigung“ gefördert, Projektträger ist VDI/VDE-IT.

Recyclingmöglichkeiten für Faserverbundstoffe in Rotorblättern aus Windkraftanlagen	
Autoren:	Dipl.-Chem. Magdalena Milek ¹ , Jun.-Prof. Dr.-Ing. Sindy Fuhrmann ¹ , ¹ Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Glas und Glastechnologie
Referentin:	Dipl.-Chem. Magdalena Milek , Technische Universität Bergakademie Freiberg Institut für Glas und Glastechnologie
E-Mail-Adresse:	Magdalena.Milek(at)igt.tu-freiberg.de

Glasfaserverbundmaterialien sind stabil, leicht, kostengünstig und einfach herzustellen. Dank ihrer herausragenden mechanischen Eigenschaften finden sie in vielfältigen Bereichen Anwendung und kommen beispielsweise bei der Konstruktion von Rotorblättern für Windkraftanlagen zum Einsatz.

Aufgrund weltweiter Anstrengungen zur Reduktion des Kohlenstoffdioxidausstoßes [1] steigt der Einsatz erneuerbarer Energien. Damit nimmt auch die Anzahl von Windkraftanlagen seit Jahren stetig zu. In den Rotorblättern sind die glasfaserverstärkten Kunststoffe (GFK) starker Witterung und großen Krafteinwirkungen ausgesetzt. Ihre Lebensdauer ist daher meist auf 20 bis 30 Jahre begrenzt [2,3]. Um die Nutzung erneuerbarer Energien möglichst nachhaltig zu gestalten, ist es wichtig, auch die aus dem Abbau veralteter oder defekter Windkraftanlagen entstehenden Abfallströme einzubeziehen.

Aktuell können 85-90 % der Gesamtmasse einer Windkraftanlage recycelt werden [4]. Dies umfasst die Metall- und Holzbestandteile. Der GFK-Anteil, der sich besonders in den ausgemusterten Rotorblättern findet, wird hingegen oft nur thermisch verwertet oder deponiert. Das Recycling dieses Verbundmaterials ist problematisch.

Zukünftig sind deutlich steigende Mengen an GFK-Abfällen aus Rotorblättern von Windkraftanlagen zu erwarten. Daher wurde dieses Themengebiet in den letzten Jahren zunehmend erforscht. Der Beitrag gibt einen Überblick aktueller Recyclingmöglichkeiten für GFK-Materialien, sowie eine Abschätzung der Umweltverträglichkeit dieser Methoden. Zusätzlich werden eigene Ergebnisse zur Weiterverwertung, d.h. Überführung des Rotorblätterabfalls in ein neues Material für einen zweiten Einsatz, präsentiert.

Quellen:

[1] §4 EEG i. d. F. v. 16.07.2021.

[2] DIN SPEC 4866:2020-10.

[3] M.Z. Jacobson *Energy and Environmental Science*, 2, 2009, 148–173.

[4] WindEurope asbl/vzw, <https://windeurope.org/about-wind/wind-energy-and-the-environment>, 2. Dez. 2021.

Untersuchungen zum Recycling der SE-Magnete aus Windenergieanlagen (WEA) – Variantenvergleich zur Entmagnetisierung der FeNdB-Magnete

Autoren:	Dr. H.-Georg Jäckel ¹ , Prof. Dr. Holger Lieberwirth ¹ , ¹ Technische Universität Bergakademie Freiberg Institut für Aufbereitungsmaschinen und Recycling- systemtechnik - IART M. Walch ² , ² L. Walch GmbH & Co KG Baudenbach
Referent:	Dr. H.-Georg Jäckel , Technische Universität Bergakademie Freiberg Institut für Aufbereitungsmaschinen und Recyclingsystemtechnik IART
E-Mail-Adresse:	Hjaeckel(at)iart.tu-freiberg.de

Selten-Erde-Metalle (SEM) gehören zu den Rohstoffen, die eine Schlüsselposition in den aktuellen Bemühungen um eine Energiewende einnehmen. Weil es in Europa keine nennenswerten Primärlagerstätten gibt und China eine Monopolstellung innehat, gelten SEM als kritische Rohstoffe von strategischer Bedeutung. Ein bedeutsames inländisches Potential stellen hierbei die SE-Magnete dar, die in vielfältiger Art und Weise im industriellen Einsatz sind.

Auf Grund der sehr hohen Neodymgehalte (> 20 %) gelten hierbei die FeNdB-Magnete, die in großen Mengen in den Generatoren der Windenergieanlagen (WEA) eingesetzt werden, als besonders werthaltig. Die Recyclingquote von aktuell < 1 % für die SEM insgesamt lässt jedoch darauf schließen, dass es dabei erheblichen Nachholbedarf gibt. Da in Deutschland mit steigender Tendenz jährlich ca. 2% des WEA-Bestandes (ca. 600 WEA) zurückgebaut werden, ließe sich hier ggf. eine beachtliche sekundäre Rohstoffquelle erschließen.

Auf Grund der vielfältigen und z.T. komplizierten Einbauzustände und des vereinzelt Anfalls stellt die Erfassung der WEA-Magnete ein nicht zu unterschätzendes Problem dar. Demontageansätze scheiterten bisher an den großen Generatormassen und der überwiegend formschlüssigen Installation im Inneren der Rotor- bzw. Statorstrukturen. Um einsatzfähige Stahlprodukte für die Elektrostahlwerke zu erzeugen, werden WEA-Generatoren deshalb in der Regel mittels Plasmabrenner portioniert, wobei die enthaltenen Magnete in der Schmelze verloren gehen.

Im Rahmen des DBU-Projektes „WindLoop“ verfolgt das IART (Freiberg) zusammen dem Projektpartner L. Walch GmbH & Co. KG (Baudenbach) das Ziel, die FeNdB-Magnete im Rahmen der Zerlegung zielgerichtet zu erfassen und den dazu erforderlichen Aufwand zu charakterisieren. Als besonders hinderlich gelten in diesem Zusammenhang die außerordentlich großen Magnetkräfte, die im Zusammenwirken mit den Stahlstrukturen eine zielgerichtete Demontage ohne Vorbehandlung verhindern. Im Fokus des Vortrages stehen deshalb die Ergebnisse eines Variantenvergleiches zu verschiedenen Möglichkeiten der Entmagnetisierung der Hochleistungsmagnete. Die im Rahmen der Laboruntersuchungen mit Einzelmagneten am IART entwickelte, umweltfreundliche Lösung soll zur Industrietauglichkeit geführt und zukünftig beim Projektpartner eingesetzt werden.

Die nächste *Tagung Aufbereitung und Recycling* wird am
7. und 8. November 2024 stattfinden.

Bitte reichen Sie Ihren Vortrag rechtzeitig ein.
Das Formular und Termine werden demnächst veröffentlicht.

Tagungsorganisation

UVR-FIA GmbH
Chemnitzer Str. 40
09599 Freiberg
Deutschland
Telefon: + 49 (0)3731 1621220
Fax: + 49 (0)3731 1621299
E-Mail: [tagung \(at\) uvr-fia.de](mailto:tagung@uvr-fia.de)

Wir bedanken uns bei der Gesellschaft für Verfahrenstechnik UVR-FIA e.V., dem HZDR-HIF und der TU-Bergakademie für die freundliche Unterstützung bei der Ausrichtung der Tagung „Aufbereitung und Recycling 2023“.

*Auf ein Wiedersehen 2024,
Glück Auf!*