



Berg Huettenmaenn Monatsh (2020) Vol. 165 (10): 505–512
<https://doi.org/10.1007/s00501-020-01058-y>
 © Der/die Autor(en) 2020

BHM Berg- und
 Hüttenmännische
 Monatshefte

The 3rd Level – Entwicklung der Feinstzerkleinerung und Ausbau der Flotation am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung

Andreas Böhm¹, Michael Mayer² und Gerald Ressel²

¹Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung, Department Mineral Resources Engineering, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

²Materials Center Leoben Forschung GmbH, Leoben, Österreich

Eingegangen 31. Oktober 2020; angenommen 2. November 2020; online publiziert 13. November 2020

Zusammenfassung: Im Februar dieses Jahres konnte der Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung auf Basis von lehrstuhlinterne Forschungsarbeiten zur Zerkleinerungstechnik in Kooperation mit dem „Materials Center Leoben Forschung GmbH“ (MCL) die Laboratorien in den 3. Stock des Impulszentrums für Rohstoffe und damit um eine Gesamtfläche von ca. 175 m² ausdehnen. Mit finanzkräftiger Unterstützung durch die Montanuniversität Leoben, die zwei Anträge der Lehrstuhlleitung (hausinterne Impulsprogramme) positiv bewertete, konnte die apparative Ausrüstung aufgebaut werden, um die Forschungsziele Energieoptimierte Feinstzerkleinerung <5 µm, Smart processing und Integrale Prozessführung „mill as reactor“ in Angriff zu nehmen. Daneben werden ein zusätzliches Flotationslabor und Räumlichkeiten für Analytik mit Ende des Jahres einsatzbereit sein.

Eine mobile Pilotanlage zur Rührwerkskugelmühlmahlung und eine Labormühle für kryogene Mahlung sowie Mahlung bei erhöhtem Gasdruck sind die Anlagen, die in unterschiedlichen Forschungsprojekten erprobt, genutzt und zur Prozessreife geführt werden sollen.

Die technische Erweiterung erschließt dem Lehrstuhl die Feinstzerkleinerung, Anlagenauslegung, Automatisierung von Zerkleinerungsabläufen und Prozessentwicklung jenseits des herkömmlichen Einsatzes von Mühlen in der Primär- und Sekundärrohstoffaufbereitung.

Schlüsselwörter: Rührwerkskugelmühle, Attritor, Kryogene Mahlung, LD-Schlacke, Metal powders, Mühle als chemischer Reaktor, Laborflotation

Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. A. Böhm (✉)
 Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung, Department Mineral Resources Engineering,
 Montanuniversität Leoben,
 Franz-Josef-Str. 18,
 8700 Leoben, Österreich
 Andreas.Boehm@unileoben.ac.at

The 3rd Level—Development of Ultra-fine Comminution and Expansion of Flotation at the Chair of Mineral Processing

Abstract: In February this year the Chair of Mineral Processing was given the chance to extend its laboratories into the 3rd floor of the Impulszentrum Raw Materials based on chair-internal research work on fine particle grinding comminution and in cooperation with the “Materials Center Leoben Forschung GmbH”. The additional area comprises 175 m². Generous financial support of the Montanuniversität Leoben granted in two university internal infrastructure funding programmes on application of the Chair of Mineral Processing allowed to raise the equipment necessary to realize research objectives in energy-optimized fine particle grinding (–5 µm), smart processing and integral processing by using the mill additionally as a chemical reactor. Apart of the cryo-grinding lab, the construction work for the new flotation laboratory and an analytical lab will be finished by the end of the year. A mobile stirred mill at pilot scale and a lab mill for cryogenic comminution as well as grinding at raised gas pressure are the test rigs which are integrated in various research projects to verify the industrial applicability of process ideas. Fine grinding, mill sizing, automation of grinding processes and process development beyond the common use of stirred mills are made accessible to the Chair of Mineral Processing by these technical improvements.

Keywords: Stirred media mills, Attritor, Cryogenic comminution, BOF slags, Metal powders, Mill as a chemical reactor, Lab scale flotation

1. Einleitung

Mit der Einrichtung von vier zusätzlichen Labors im 3. Stock des Impulszentrums Rohstoffe der Montanuniversität Leoben und gezielter Investition in apparative Ausrüstung zur Feinstzerkleinerung trägt der Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung den Anforderungen Rechnung, immer komplexere Rohgutarten, was die Phasenzusammensetzung als auch deren Verwachsung betrifft, der physikalisch-chemischen Trenntechnik zu erschließen. In längerfristigen Forschungsprojekten (z. B. Comet Projekt K1-Met) wird in der vom erstgenannten Autor geleiteten Forschungsgruppe „Erz- und Schlackenaufbereitung“ unter anderem daran gearbeitet, die Mahltechnik der Rührwerkskugelmühlen auf neue Rohgutarten und Prozesse auszudehnen, aber auch den zielgrößengesteuerten Betrieb dieses Mühltyps zu ermöglichen.

Daneben gilt es im Rahmen der Aufgabenstellungen in der Recyclingtechnik auch Antworten auf komplexe Fragen der Sekundärrohstoffaufbereitung zu finden (Kunststoffaufbereitung).

Im Zuge dieser Arbeiten entwickelte der Lehrstuhl zusammen mit dem Forschungspartner Materials Center Leoben Forschung GmbH (MCL), österreichischen Anlagenbauern (Fa. Cemtec), mit Unterstützung der heimischen Bergbauindustrie und der Montanuniversität Leoben Forschungsanlagen zur Feinstzerkleinerung in Form einer mobilen, containerbasierten Rührwerkskugelmühle für Pilotversuche und einer Laborrührwerkskugelmühle für kryogene Zerkleinerung, die in modularen Baugruppen dazu geeignet ist, bei Temperaturen bis -150°C wahlweise unter Vakuum zu zerkleinern, aber auch eine Mahlung bis zu einem Betriebsdruck von 50 bar zu ermöglichen.

Die Pilotanlage erlaubt in herkömmlicher Betriebsweise den energieoptimierten Betriebsbereich für Rührwerkskugelmühlenmahlung zu finden, womit die klassische rohgut-spezifische Versuchstätigkeit zur Funktionalität und Auslegung von Rührwerkskugelmühlen mit der Rotorgeometrie von Sternrührern abgedeckt werden kann.

Darüber hinaus erlaubt sie aber auch smart processing bzw. im speziellen Fall smart grinding aufzubauen, um die durch Messdaten geführte Kontrolle des Mahlprozesses einzurichten, zu testen und zur Betriebsreife zu führen.

Die kleinere Anlage für kryogene Zerkleinerung, die in Kooperation mit dem Materials Center Leoben (MCL) und der Fa. Cemtec entwickelt und vom MCL geführt in den Räumlichkeiten des Lehrstuhls betrieben wird, dient einerseits dem MCL zum Kaltverschmieden von Metallpulvern (mechanisches Legieren), andererseits arbeitet der Lehrstuhl für Aufbereitung an der gezielten Kombination von Zerkleinerung und chemischen Reaktionen. Dabei schafft die als Attritor verwendete Mühle ständig neue reaktive Oberflächen, verhindert die Anlagerung von Fällungsprodukten und erlaubt die Einstellung der Reaktionsbedingungen Druck und Temperatur. Damit können Materialeigenschaften (Elastizität) gezielt beeinflusst werden, aber auch mit klassischen Aufbereitungsmethoden ökonomisch nicht aufbereites Rohgut durch Phasenumsetzung der kostengünstigen physikalischen Trenntechnik erschlossen werden.

Der Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung ist nun in der Lage, in trockener Betriebsweise mahltechnische Aufgaben ab einer Aufgabekorngröße von $100\% < 15\text{ mm}$ und Produktkorngrößen mit einem d_{90} -Wert zwischen 200 und $25\text{ }\mu\text{m}$ bei Masseströmen zwischen 200 und 20 kg/h mit Walzenschüsselmahltechnik (VRM 200) abzudecken, und darüber hinaus wahlweise nass oder trocken auf Korngrößen bis auf etwa $d_{90} 2\text{ }\mu\text{m}$ im Labormaßstab in reinem Batch-Betrieb oder im Pilotmaßstab kontinuierlich mit nach Zielkorngröße angepasster Durchsatzleistungen zu zerkleinern.

Über die Ausführung der Anlagen und Sicherheitstechnik, Einsatzmöglichkeiten, Forschungsaufgaben sowie über erste Ergebnisse soll nachfolgend berichtet werden.

2. Containerbasierte Rührwerkskugelmühle des Lehrstuhls für Aufbereitung: A. Böhm

Die transportable Mahlanlage (siehe Abb. 1) ist in einem 20-Fuß-Container mit einer Gesamtmasse von 8 t verbaut. Die VA Erzberg GmbH hat dem Lehrstuhl auf Basis einer Projektkooperation vorläufig die Erlaubnis erteilt, den Container am Betriebsgelände aufzustellen und die Inbetriebnahme-Versuche durchzuführen. Die CE zertifizierte Anlage wurde von der Fa. Cemtec gemeinsam mit dem Lehrstuhl konzipiert und gefertigt. Die Nenndurchsatzleistung liegt zwischen 30 und 400 kg/h , die nominelle maximale Aufgabekorngröße bei $d_{95} = 2\text{ mm}$. Sowohl die Aufgabekorngröße, als auch die erzielbaren Produktfeinheiten hängen von der eingesetzten Mahlkugelverteilung, den Einstellparametern und der Anlagenführung im Zusammenspiel mit den Zerkleinerungskennwerten des Aufgabegutes ab. Erste Ergebnisse für mittelhartes Rohgut (Spateisensteinerzkonzentrat) sind nachfolgend beschrieben.

2.1 Aufbau

Den Kern der Anlage (siehe Abb. 1 und 2) bildet die Rührwerkskugelmühle mit einem Füllvolumen des Mahlraumes von $15,81$ (ohne Rührwerk und Gegenpins) bzw. $13,41$ Nettomahlvolumen, einem Sternrührer mit 4 Lagen zu je sechs Pins und den zugehörigen Gegenpins, alles ausgeführt in Edelstahl. Die installierte Antriebsleistung des Rührmotors liegt bei $7,5\text{ kW}$. Zu Reinigungszwecken ist die Mühle über eine Hydraulik im Stahlrahmen verfahrbar. Als Mahlkörper stehen zurzeit Zirkonoxyd-kugeln mit Durchmesser zwischen $2,5$ und $2,8\text{ mm}$ und $1,4$ – $1,6\text{ mm}$ zur Verfügung, die eine Aufgabekorngröße von $k_{\text{max}} = 0,2\text{ mm}$ erlauben.

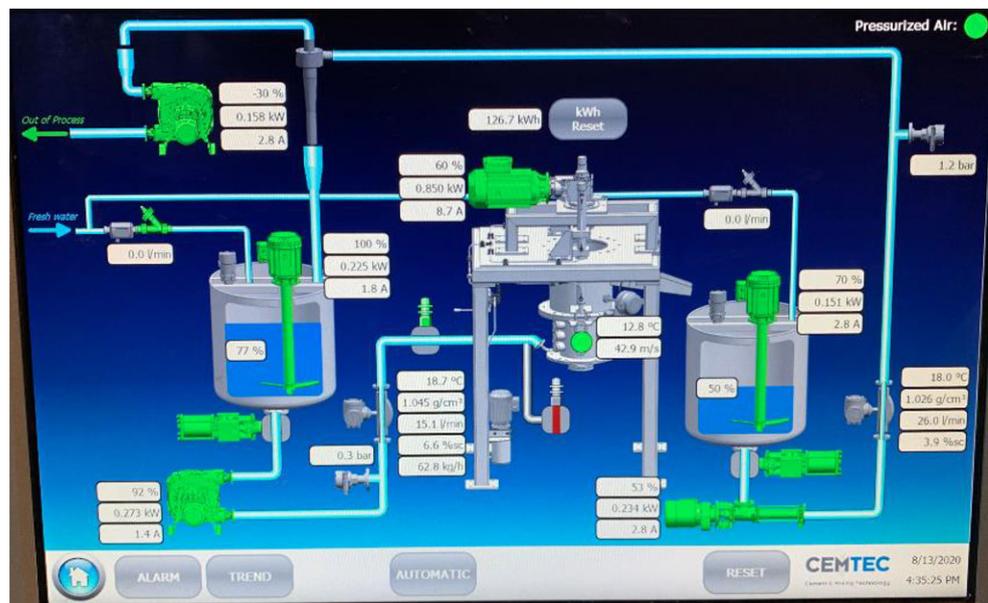
Die Aufgabe in die Mühle erfolgt über ein druckluftgesteuertes Quetschventil. Ein ebenfalls druckkontrolliertes Gasventil sorgt in einem gesperrten Programmablauf vor der eigentlichen Trübeaufgabe für die Vorreinigung des Zulaufstutzens. Ein Zusatzanschluss erlaubt manuell dosierte, externe Medienzufuhr (flüssig oder gasförmig) in den Mahlraum.

Zwei 400 l Stahl tanks ermöglichen im Zusammenspiel mit einem Coriolis-Sensor die Herstellung einer Aufgabetrübe mit definierter Feststoffvolumenkonzentration, sammeln den Mühlenüberlauf bzw. dienen als Trübebuffer, um

Abb. 1: Aufstellungsort des Mahlcontainers am Steirischen Erzberg und Gesamtansicht der Mahlanlage im Innenraum des Containers (benötigte Medienversorgung an Frischwasser und Druckluft: 10 bzw. 6 bar, sowie Stromversorgung mit 64 A Absicherung)



Abb. 2: Abbildung des Prozesses in der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) und Fließschema im Kreislaufbetrieb



die unterschiedlichen Betriebsmodi der Mühle aufrecht zu erhalten.

Plattenschieber (knife gates) trennen die Tanks von den darunterliegenden Pumpeinheiten. Zwei Schlauchquetschpumpen sorgen für Trübezulauf in die Mühle und Trübeausstrag aus dem Zwischentank. Um einen konstanten Druck auf den Zyklon aufrechtzuerhalten, ist unter den Zwischentank auch eine Exzentrerschneckenpumpe (p_{\max} : 4 bar, V_{\max} : $4 \text{ m}^3/\text{h}$, drehzahl geregelt) montiert.

Jeder Tank ist mit einem 2,2 kW Rührwerk ausgestattet, womit die Anlage auch als reiner Zyklonstand betrieben werden kann. Zurzeit ist ein Hydrozyklon Typ RWS 75 II-/A (C, E) Bauart AKAVORTEX aus Polyurethan mit einem Nenndurchmesser von 35 mm eingebaut.

2.2 Sensorik und Prozesskontrolle

Zur Steuerung der Anlage wird die Feststoffvolumenkonzentration kombiniert mit dem Volumenstrom am Austrag des Aufgabekonters und in der Aufgabeleitung des Zyklons gemessen. Ergänzend sind zwei Volumenstrommesser zur Kontrolle der Volumenströme der Wasserzuläufe in die Tanks installiert, sowie zwei Absolutdruckmesser, um den Aufgabedruck auf die Mühle als Sicherheitswert und als Steuergröße auf den Zyklon verfügbar zu haben. Die Füllstände von Aufgabe und Überlaufentank werden ebenfalls überwacht. Zusätzlich sind die Zustände der elektrischen Antriebe und der Pumpen hinsichtlich Strom- und Leistungsaufnahme, der Drehzahl und Drehrichtung in die SPS eingebunden, sowie die Schaltzustände der Ventile. Die Programmauswahl und die Parametrierung erfolgen über das HMI der Siemens Symatic.

Abb. 3: Umfangsgeschwindigkeiten der Rührwerkspins in Abhängigkeit von der Motor-maximalleistung (unter Belastung mit der Mahlkörpercharge)

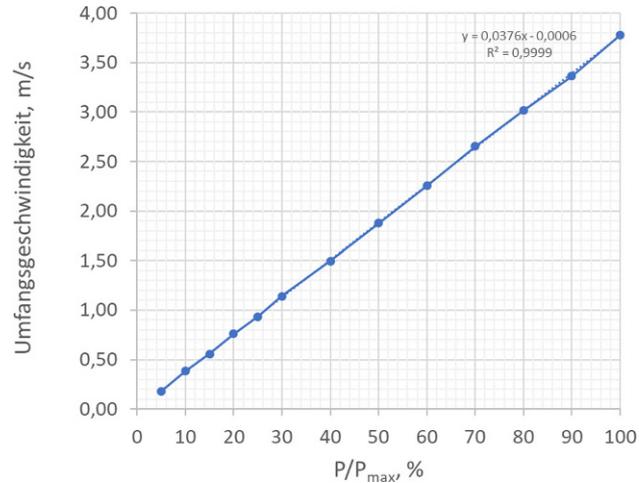
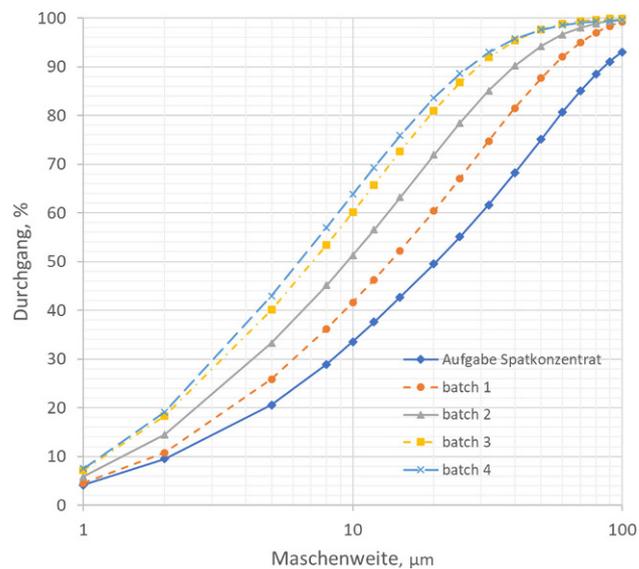


Abb. 4: Spateisenstein-konzentrat. Ergebnisse der lasergranulometrischen Aufnahme an Feingutproben bei kontrolliertem Batchbetrieb (4 Durchläufe ohne Materialvermischung im Aufgabebank)



Neben dem manuellen Betrieb sind drei Programme verfügbar: Batchbetrieb, Durchlaufbetrieb und Kreislaufbetrieb.

Im Durchlaufmodus wird die Mahltrübe nach einmaligem Durchlaufen der Mühle bei definierter Drehzahl, Aufgabekonzentration und Volumenstrom über die Schlauchquetschpumpe aus dem System gefördert, während sie beim Batchbetrieb in einer Art Endlosschleife zurückgeführt wird, bis der Versuchsführende die Mahlung abbricht. Im Kreislaufbetrieb wird nur der Unterlauf des Zyklons in die Mühle zurückgeführt und somit eine über den Zyklon definierte Produktkorngröße erzeugt.

Die Inbetriebnahme-Versuche mit Spateisenstein und Dolomit bestätigen die Funktionstüchtigkeit und Funktionalität des Aufbaues in vollem Umfang.

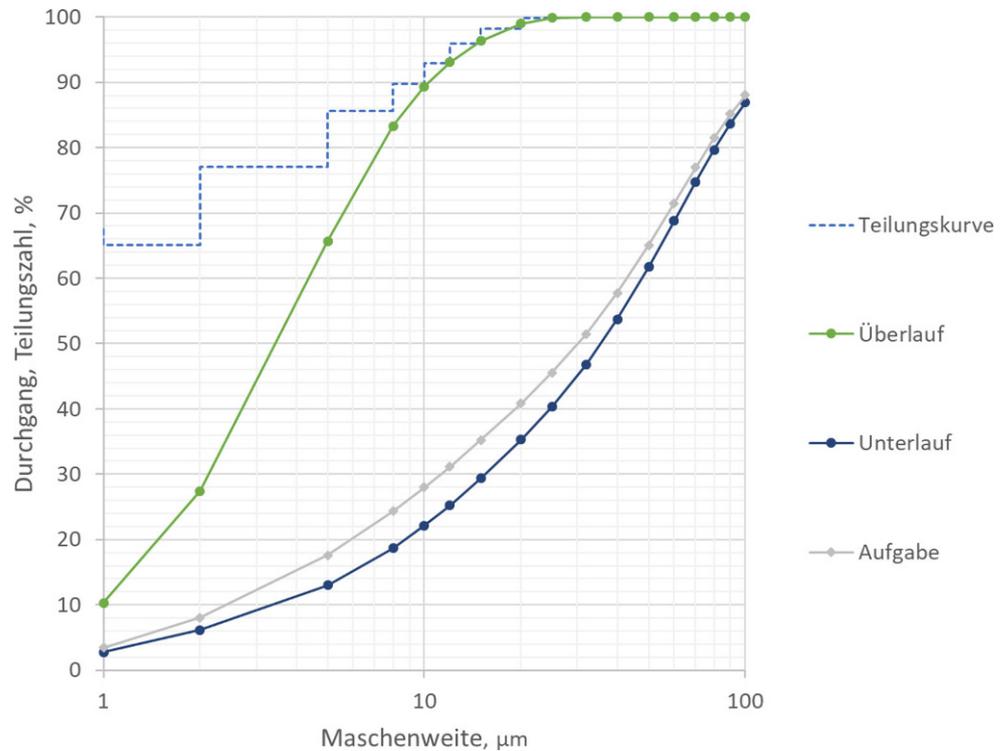
Die bisherigen Mahlversuche mit Spateisensteinkonzentrat erzielten bei Feststoff-aufgabemassen von etwa 50 kg, einem Feststoffgehalt der Mahltrübe von etwa 19%, bei einer Rührwerksleistung von 70% der Maximalleistung (siehe Abb. 3) und einem Aufgabevolumenstrom von

10l/min (nominelle Verweilzeit 1 min 14 sec) in vier „open-circuit“-Durchgängen (kontrollierter Batchversuch) mit der größeren Mahlkugelschüttung (2,5–2,8 mm aus der Aufgabe;) Produkte mit abnehmenden d_{90} -Werten von 36 µm (1. Durchgang), 28 µm (2. DG), 20 µm (3. Durchgang) und 18 µm im 4. Durchgang (siehe Abb. 4). Die Korngrößenverteilungen stammen aus einer lasergranulometrischen Aufnahme mit dem Mastersizer 2000 in Wasser (LS für Aufbereitung und Veredlung).

Die Kreislaufzerkleinerung liefert ein konstantes Produkt mit einem d_{90} von 10 µm bei einem Aufgabedruck von 0,8 bar (siehe Abb. 5).

Die bisher ermittelten Teilungskurven (für dolomitisches Rohgut wurden bei Aufgabedrüken zwischen 0,8 und 1,2 bar deckungsgleiche Korngrößenverteilungen des Feststoffinhaltes im Überlauf gefunden) sind noch bei höheren Aufgabedrüken zu verifizieren. Der Aufgabedruck wurde noch etwas zu verhalten gewählt und ergab eine Trübevolumenverteilung Überlauf zu Unterlauf von etwa 50 zu 50 Vol.-%, was den hohen, verschleppten Anteil erklärt.

Abb. 5: Spateisensteinkonzentrat (Stoffdichte $3,55 \text{ g/cm}^3$) (Darstellung der Ergebnisse der lasergranulometrischen Aufnahme der Korngrößenverteilungen von Aufgabe und Produkten der Zyklonklassierung und der grobputbezogenen Teilungskurve)



2.3 Aufgabenstellungen

Die Aufgabenstellung für den Spateisenstein besteht darin, erhöhten Aufschluss herzustellen, um die Grenzen der Abreicherbarkeit von fein verwachsenem Quarz auszuloten. Indirekte Amin-Flotation im Körnungsbereich der Aufgabe auf die RWKM (100% $<0,1 \text{ mm}$) ergab eine Abreicherung von 4,8% SiO_2 -Gehalt in der Aufgabe auf 2,82% (SiO_2 Verbleib von 51,2% im Produkt) bei einem Masseausbringen von 85,55% Rückstandsprodukt und Fe-Verlusten im Schaum von 10%. Die Aufgabenstellung in einer Forschungskooperation mit VA Erzberg und dem Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik der TU Graz ergibt sich aus einer möglicherweise mittelfristig relevanten Fragestellung der Einsetzbarkeit des Erzes bei allfälliger Wasserstofftechnik im Hüttenwesen. Die Flotationsversuche bei verbessertem Aufschluss mit Korngrößenverteilungen $<25 \mu\text{m}$ und $<10 \mu\text{m}$ sind in Arbeit.

Die zweite Aufgabenstellung steht auch mit der Eisenhüttenindustrie in Zusammenhang, jedoch mit einem anderen Forschungsprojekt des Autors im Rahmen des K1 Met Programmes, in dem die Aufbereitbarkeit bzw. Recyclebarkeit von Fe-Oxyden aus LD-Schlacke bearbeitet wird.

Das Hauptaugenmerk der Forschungstätigkeit liegt auf der kombinierten, gleichzeitigen Wirkung von Aufschluss und chemischer Reaktion und soll im Pilotmaßstab getestet werden (ein laufendes Patentverfahren verhindert an dieser Stelle tiefergehende Ausführungen).

Daneben ist ein Forschungsprojekt mit der Cemtec GmbH und dem Linz Center of Mechatronics (LCM) in Anbahnung, in dem in einem eigenen Forschungsprojekt Mahlmodelle für die Rührwerkskugelmöhlen überprüft

bzw. ihre Anwendbarkeit zum Produktkorngrößen-gesteuerten Betrieb der Mühle untersucht werden.

Als Standort für den Pilotcontainer darf aus heutiger Sicht jener am Steirischen Erzberg im Einvernehmen mit der VA Erzberg GmbH beibehalten werden.

3. Kryogene Mahlung: G. Ressel (MCL), M. Mayer (MCL), A. Böhm (LS f. Aufbereitung)

Als Fortführung des Schwerpunktes „Alternativer Einsatz der Rührwerkskugelmöhlentechnik“ wird eine Laborrührwerkskugelmühle („Attritor“) für Kaltvermahlung in einem neu eingerichteten Labor des Lehrstuhls für Aufbereitung im 3. Stock des IZR betrieben. Der Autor wurde beratend in ein interdisziplinäres Team mit Werkstoffwissenschaftlern des Materials Center Leoben Forschung GmbH eingebunden, um an der Auswahl der Mühlenart und deren technischer Umsetzung mitzuarbeiten. Auch in diesem Fall sorgte die Fa. Cemtec (unter der Projektleitung M. Dietachmayr) für die maschinenbauliche, CE konforme Umsetzung der forschungstechnischen Anforderungen. Das erste Jahr war der Inbetriebnahme und der Sicherheitstechnik, hier insbesondere im Umgang mit frei ausgasendem flüssigen Stickstoff, der für die Kühlung benötigt wird, gewidmet.

Gemeinsam betreiben das MCL, vertreten durch Dr. G. Ressel und Dipl.-Ing. M. Mayer, und der Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung der Montanuniversität Leoben als erste in Österreich eine derartige Rührwerkskugelmühle, welche mithilfe von flüssigem Stickstoff auf -150°C gekühlt werden kann. Die als Attritor konzipierte Mühle kann sowohl bei Raumtemperatur, als auch bei

tiefen Temperaturen genutzt werden und sorgt durch ein Hochvakuum im Mahlbehälter dafür, dass es zu keinen Verunreinigungen durch die Atmosphäre kommt (siehe Abb. 6).

Mit diesem Mahlaggregat lassen sich neuartige Material- und Legierungskonzepte für zukünftige Hochleistungsanwendungen, wie zum Beispiel in der Luft- und Raumfahrt herstellen. In dem vom MCL geleiteten Comet Projekt P1.8 (Development of novel oxide dispersion strengthened high entropy alloys) wird hierfür an der Erforschung und Entwicklung von oxidverstärkten Hochentropielegierungen gearbeitet, welche in Flugzeugturbinen angewendet werden sollen, um deren Effizienz zu steigern.

Gemenge aus metallischen Pulvern können mit dieser neuen Rührwerkskugelmühle mechanisch legiert werden, wobei im Unterschied zu der klassischen Schmelzmetallurgie nie eine flüssige Phase auftritt und dadurch die Erzeugung metastabiler übersättigter Phasen wie auch nanostrukturierter Werkstoffe ermöglicht wird. Das Mahlen bei tiefen Temperaturen bereitet durch die Unterdrückung thermodynamischer Prozesse, wie der Erholung oder der Rekristallisation der Mikrostruktur, eine Erweiterung dieser Möglichkeiten hin zu Zuständen, welche sich immer weiter weg vom thermodynamischen Gleichgewicht befinden.

Die Erforschung und Herstellung dieser Zustände stellt einen wichtigen Bestandteil in der Entwicklung neuer Werkstoffklassen dar, um zukünftige Hochleistungswerkstoffe verfügbar zu machen, um die Leistung diverser Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt zu steigern und deren Energieverbrauch zu verringern.

Für den Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung steht die Weiterentwicklung der Technik der Rührwerkskugelmühlmahlung in neue Anwendungsbereiche im Mittelpunkt. Mit den eigenen, im Zuge dieses Projekts angeschafften zusätzlichen Mahlgefäßen ist klassische Laborversuchstechnik für die Untersuchung des Zerkleinerungsverhaltes und Probenaufschluss im Nass- und Trockenbetrieb bei Umgebungsdruck und geregelter Temperatur im Mahlraum möglich. Neu hingegen ist die Möglichkeit der Feinstmahlung bei tiefen Temperaturen zur Versprödung des Mahlgutes (z.B. Kunststoffe), sowie Mahlung unter Vakuum und in unterschiedlichen Gasatmosphären bis zu einem Überdruck im Mahlgefäß von 50 bar, womit die Mühle integral zum chemischen Reaktor werden kann. Dies wird für die weiterführende Parameterstudie eines in Patentierung befindlichen Verfahrens zur Schlackenaufbereitung durch Veränderung des Phasenverwachsungszustandes benötigt.

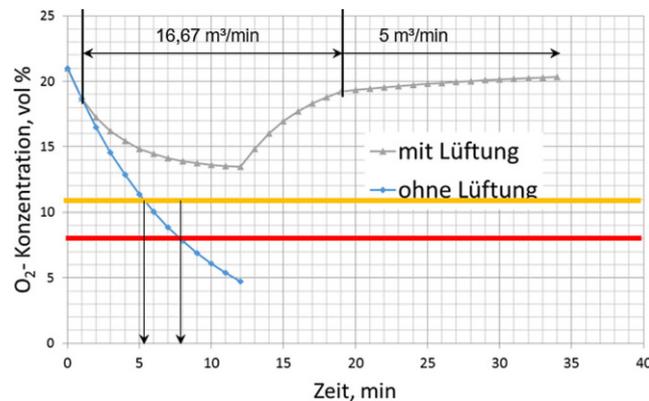
Um den Laborraum entsprechend den arbeitsrechtlichen Bestimmungen betreiben zu können, mussten spezielle Lösungen für die Lüftungs- und Sicherheitstechnik erarbeitet werden, die den sicheren Betrieb mit Flüssigstickstoff gewährleisten.

Ausgehend von den sicherheitstechnischen Erfordernissen beim Arbeiten mit Flüssigstickstoff, wurde das Gesamtkonzept für die Lüftungstechnik aller drei neuen Aufbereitungslabors im dritten Stock des IZR entwickelt. Raum 305 stellt die höchsten Ansprüche an die Lüftungstechnik, deshalb wird das Lüftungskonzept ausgehend von diesem Raum erläutert.

Abb. 6: **a** Kryomühle mit Kühlbox und Vakuumpumpen: Effektives Volumen des Mahlgefäßes: 1,49 l (die Rotordrehzahl kann über einen Frequenzumrichter zwischen 32 und 750 rpm variiert werden), **b** Kryobox für Stickstoffberieselung. (Engineering: Dipl. Ing. M. Mayer, PhD), **c** Gesamtübersicht über die Anlage mit Stickstoffdrucktank und Temperaturregelstrecke



Abb. 7: Ergebnisse der Berechnung des Verlaufs der O₂ Konzentration in Raum 305 bei angenommener schlagartiger Freisetzung von 180l Flüssigstickstoff



Die Kältetechnik zur Kühlung des Mahlzylinders durch einen Berieselungsring aus Cu auf den Außenmantel der Mühle in eine Kältebox (Abb. 6b), soll aus einem 180l fassenden Kryostaten erfolgen, der als Quelle für Flüssigstickstoff dient. Eine überdruckgesicherte Regeleinheit erlaubt die kontrollierte Entnahme von Stickstoff, entsprechend den Messdaten eines Thermoelementes, zur Ermittlung des Kältezustandes des Mahlbehälters. Die Kältebox ist im Betrieb abgedeckt, entweichender gasförmiger Stickstoff wird über einen Absaugstutzen direkt in die Raumentlüftung abgeleitet.

Das Raumlüftungskonzept wurde im letzten Jahr in Zusammenarbeit des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredlung mit MCL, der Fa. Linde, der Haustechnik der Montanuniversität Leoben unter Einbeziehung der Erfahrungswerte anderer Institute der Montanuniversität (Kunststofftechnik) und div. Lüftungsfirmen erarbeitet und in mehreren Behördensprechtagen mit dem Anlagenreferat des Arbeitsinspektorates abgeklärt.

Grundlage für die Ermittlung des Luftbedarfs ist der Erlass: Unbeabsichtigte Freisetzung von technischen Gasen in Räumen; GZ: BMASK-461.308/0011-VII/A/2/2015. Ein 10-facher Luftwechsel pro Stunde ist Stand der Technik (entsprechend für Raum 305 etwa 750 m³/h). Entsprechend den geltenden Richtlinien für einen Permanentarbeitsplatz darf der Sauerstoffanteil in der Luft 17 vol.-% O₂ nicht dauerhaft unterschreiten. Die Konzentration muss entsprechend über einen Sauerstoffsensoren überwacht werden.

6–8 vol.-% Sauerstoffgehalt führen innerhalb weniger Minuten zur Bewusstlosigkeit. Ohne Aktivlüftung wäre bei Ventilbruch des Dewars (schlimmster Versagensfall nach Linde) und vollständigem Ausfließen des Stickstoffs nach 12 min ein Wert von 5 vol.-% erreicht. Mit Hilfe der Lüftungseinheit fällt der Wert nur auf 13,5 vol.-% Sauerstoff entsprechend dem Angebot an Sauerstoff in 3500 m Höhe. Es bleibt den autorisierten, eingeschulten Versuchstechnikern genügend Zeit, bei O₂-Alarm den Raum zu verlassen. 30 min nach dem schlagartigen Austritt ist die Sauerstoffkonzentration bei der maximalen Lüfterkapazität von 1000 m³/h wieder auf 21 vol.-% (siehe Abb. 7) gestiegen.

Die gesamte Lüftungsanlage besteht nun aus einer vom Dach aus durch den Versorgungsschacht in das 3. Obergeschoss geführten Dreifach-Zuleitung mit einer maximalen Kapazität von 3000 m³/h (jeweils max. 1000 m³/h für die Räume Nr. 305, 311 und 312). Eine zentrale Abluftleitung mit

Ventilator und klappengesteuerten Absaugstutzen in den Räumen führt zurück auf das Dach. Eine weitere getrennte Einheit mit 20 m³/h sorgt für die Entlüftung eines Chemikalienschrankes im Flotationslabor.

Die tatsächlich notwendige Lüfterleistung für Zuluft und Abluft wird über die Regelungstechnik auf Basis der Messwerte des Sauerstoffsensors vorgenommen und in das Hausleitssystem der Montanuniversität eingebunden.

Im Raum 312 „Flotationslabor“ ist ein Tischabzug mit einem Nennluftbedarf von 600 m³/h zur Aufbewahrung von Flotationsprodukten sowie ein Absaugstutzen für die in Abschn. 4 beschriebene Flotationszelle an die Lüftung angeschlossen, während im Raum 312 die Lüftung für den Betrieb eines Ofens und eines Arbeitsplatzes zur Probenvorbereitung und -analytik benötigt wird.

4. Flotationslabor (Raum 311)

Im Flotationslabor betreibt der Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung die neue Laborflotationszelle Typ GTK von der Firma Outotec und wird die bestehende Versuchstechnik zur Flotation für primäre und im Sinne von Projektpartnern auch für sekundäre Rohmaterialien (z. B. Schlämme) ergänzen (siehe Abb. 8).

Abb. 8: Laborflotationszelle GTK Outotec am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung



Die vorhandene Flotationsinfrastruktur, bestehend aus einer Denver Laborflotationszelle (max. 5 l Zellinhalt), einer selbstgebauten Säulenflotationsanlage (0,1 × 2 m) und einer, bei Bedarf verfügbaren, Rührwerksflotationsbank mit 4 Zellen à 20 l Inhalt (Leihgabe Fa. Sachtleben), wird damit entscheidend verbessert.

Die Denver Flotationszelle ist aufgrund des 40-jährigen Dienstalters nicht mehr einfach in Stand zu halten, Luftvolumina der selbstbelüfteten Zelle variieren je nach Trübeviskosität und Rührergeschwindigkeit, der Schaumabzug unterliegt der Einschätzung und dem Geschick des Versuchsdurchführenden.

Die neue Outotec GTK LabCell soll nun die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen der Laborflotation verbessern und Versuchsparameter entkoppeln. Sie bietet Rührer- und Zeldesign der Fa. Outotec mit Zellvolumina zwischen 2 und 12 l Trübe und den dazu passenden Rührergrößen. Rührerdrehzahl, Gaszufuhr (vorgerichtete Gaswege für zwei Gase) und Wasserzufuhr sind steuerbar. Wasser kann in die Trübe, aber auch in eine Sprüheinrichtung zur kontrollierten Schaumwäsche dosiert werden. Der Schaumabzug ist über selbstfahrende Abzugsblätter automatisierbar. Sensorik für kontrollierte Protokollierung von Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit sind im System integriert.

5. Zusammenfassung

Zwei neue Mahlanlagen, eine mobile Pilotanlage für Rührwerkskugelmühlenmahlung auf Produkt Korngrößen <math>< 2 \mu\text{m}</math> und eine zusammen mit dem Materials Center Leoben Forschung GmbH betriebene Laborrührwerkskugelmühle für kryogene Mahlung, wurden vorgestellt. Die Forschungsaufgabenstellungen in der Arbeitsgruppe Erz- und Schlackenaufbereitung des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredlung mit dem Ziel der produkt Korngrößengesteuerten,

automatisierten Mahlung (smart grinding) und neuen Wegen zur Schlackenaufbereitung, in dem die Mühle integral auch als chemischer Reaktor genutzt werden kann, ermöglichen die Erweiterung der aufbereitungstechnischen Laboratorien in den 3. Stock des Impulszentrum Rohstoffe und halfen dabei, mehrmals finanzielle Unterstützung für Infrastrukturanschaffungen von der Montanuniversität Leoben zu bekommen.

Danksagung. Der Autor dankt den vielen unterstützenden Jungforschern und Studierenden, namentlich D. Prem, B. Zeismann und G. Schinnerl für die Sorgfalt in der gemeinsamen Erarbeitung der Daten.

Förderung. Der Autor möchte sich für die tatkräftige finanzielle Unterstützung durch das Rektorat der Montanuniversität Leoben bedanken, ohne welches die unabhängige Umsetzung der Forschungsinfrastruktur nicht möglich gewesen wäre.

Funding. Open access funding provided by Montanuniversität Leoben.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.