



Berg Huettenmaenn Monatsh (2022) Vol. 167 (8): 390–392
<https://doi.org/10.1007/s00501-022-01260-0>
 © Der/die Autor(en) 2022

BHM Berg- und
Hüttenmännische
Monatshefte

Datenbasierte Modellierung einer nass betriebenen Rührwerkskugelmühle

Vorstellung des Dissertationsprojektes

Benjamin Zeismann

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

Eingegangen 7. Juli 2022; angenommen 11. Juli 2022; online publiziert 26. Juli 2022

Zusammenfassung: Die im Jahr 2020 angeschaffte containerbasierte Rührwerkskugelmühle des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredlung wurde nach der bereits erfolgreichen Inbetriebnahme im Rahmen des Dissertationsprojektes B. Zeismann (Projekt „Smart Grinding light“) um ein für den nassen Anwendungsbereich konzipiertes Online-Korngrößenmessinstrument der Firma CEMTEC Cement and Mining Technology GmbH (kurz: CEMTEC) erweitert. Ziel des Projekts ist der Aufbau eines Datenbanksystems sowie die Messdatenkontrolle mit einer multivarianten Prozessanalyse. Hierfür wurde in Kooperation mit den Forschungspartnern LCM (Linz Center of Mechatronics) und CEMTEC eine Datenbankstruktur auf einem eigenen Server eingerichtet, um sämtliche Prozess- sowie Dispersitätsdaten der Produkte in Echtzeit erfassen und speichern zu können. Anhand der generierten Daten soll ein physikalisch basiertes, praktisches Mühlensimulationsmodell in Form eines Digital Twins abgeleitet werden.

Schlüsselwörter: Rührwerkskugelmühle, Digital Twin, Mahlung, Simulation, Mobilanlage

Databased Modelling of a Wet Operated Stirred Media Mill—Presentation of a PhD Project

Abstract: After the successful performance tests of the container-based stirred media mill, purchased in 2020 by the Chair of Mineral Processing, the mill control system has been expanded by an online particle size measurement device designed for wet applications. Besides the implemen-

tation of the measurement system, the contribution of the author to the project “Smart grinding light” is to set up a data management system including the database solution, as well as data control by means of a multivariant process analysis. For this purpose, in cooperation with the research partners LCM (Linz Center of Mechatronics) and CEMTEC Cement and Mining Technology GmbH, a (cloud based) database structure has been set up on a local server for real time data acquisition combining both machinery and process relevant data. On the basis of the processed data, a physically based mill simulation model will be derived in order to create a digital twin.

Keywords: Stirred media mill, Digital twin, Grinding, Simulation, Mobile plants

1. Einleitung

Mit fortschreitender Technologie und der zunehmenden Digitalisierung gewinnen selbststeuernde Systeme immer mehr an Bedeutung. Diese sind mit Sensoren ausgestattet, die untereinander vernetzt sind und Echtzeitdaten erfassen, mit welchen neben einer stetigen Optimierung von Prozessschritten auch eine effizientere Nutzung der Apparate sowie ein energieoptimierter Betrieb erreicht werden kann.

In der Aufbereitungstechnik zählen Zerkleinerungsapparate zu den energie- und verschleißintensivsten Aggregaten, in deren Betrieb, vor allem in nasser Betriebsweise, eine Reihe von Parametern in teils komplexer Wechselwirkung Einfluss auf den Zerkleinerungserfolg nehmen. Können diese Einflüsse und Wechselwirkungen mathematisch beschreibbar gemacht werden, bietet sich großes Potenzial für die Entwicklung und Implementierung neuer effizienter Systeme, welche die Lenkung und Automatisierung der Apparate im Sinne eines energieoptimierten Betriebes, gewährleisten.

Dipl.-Ing. B. Zeismann (✉)
 Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung, Department Mineral Resources Engineering,
 Montanuniversität Leoben,
 Franz-Josef-Str. 18,
 8700 Leoben, Österreich
benjamin.zeismann@unileoben.ac.at

Im Zuge aktueller Forschungsprojekte der von Böhm geleiteten Arbeitsgruppe „Erz- und Schlackenaufbereitung“ des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredlung wurde in Kooperation mit der Firma CEMTEC Cement and Mining Technology GmbH (nachfolgend mit CEMTEC abgekürzt) eine semimobile, containerbasierte Pilotanlage gebaut. Zentrales Element hierbei ist eine nassbetriebene Rührwerkskugelmühle.

2. Projektziel

Im Rahmen des Dissertationsvorhabens soll ein Datenbanksystem aufgebaut werden, in welches vorerst für mahltechnisch bekannte Rohmaterialien zeitbezogenen Betriebs- und Produktkennwerte aufgenommen werden, um rohgutbezogen eine Regelung für den energieoptimierten Betrieb der Rührwerkskugelmühle, bei einer definierten Produktdispersität aufbauen zu können. Die Korrelation der Daten aus Trübe- und Materialeigenschaften eingestellten Mahlparametern und Produkt- sowie Aufgabekenngrößen soll zu einem Modell führen, das ein energieoptimiertes Mahlen, ausgehend von einer bekannten Aufgabedispersität hin zu einer Produktdispersität, ermöglicht. Im Rahmen der Arbeit wird ein cloudbasiertes Datenbanksystem aufgebaut, dessen Daten die Ableitung eines physikalischen Simulationsmodells der Mühle ermöglichen soll (Digital Twin). Die Simulationsergebnisse werden zeigen, ob das Modell alleine oder parallel mit Regelalgorithmen auf Basis des Reinforcement Learnings (Maschinelles Lernen) für die Regelung herangezogen werden kann.

3. Stand der Technik

Für das K1-Met Projekt „Utilization of steelmaking slags“ wurde auf Initiative von A. Böhm für den Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung eine containermobile Mahlanlage angeschafft, deren Kern eine Rührwerkskugelmühle ist (Abb. 1). Das Nettomahlvolumen der Mühle beträgt 13,5l. Das Rührwerk, ausgeführt als Sternrührer mit je



Abb. 1: Gesamtansicht der Mahlanlage im Innenraum des Containers

6 Pins in 4 Lagen und zugehörigen Gegenpins, wird von einem 7,5 kW Elektromotor angetrieben. Bei einer Maximal Korngröße der Aufgabe von 2 mm, kann eine Nenndurchsatzleistung zwischen 30 und 400 kg/h erzielt werden. Die erzielbare Produktfeinheit ist abhängig von den eingesetzten Mahlkugeln, den gewählten Einstellparametern sowie dem Mahlgut und reicht bis in den einstelligen Mikrometerbereich. Die Aufgabe auf den Mahlprüfstand erfolgt in Form einer Trübe – in Sonderfällen ist auch die Aufgabe von trockenem, sprödem Feststoff 100% < 0,2 mm möglich. Mittels Aufgabetrübe kann ein kontinuierlicher Mahlprozess realisiert werden, während der Feststoff nur im satzweisen Betrieb verarbeitet werden kann.

Durch die umfangreiche Ausstattung mit modernster Sensorik wird der Betriebszustand der Mühle, der Mahltrübe und die Dispersität des Mahlproduktes erfasst bzw. der halbautomatisierte Betrieb ermöglicht. So kann der aufgabeseitige 400l Stahltank in Verbindung mit einem Coriolis-Durchflussmesser zur Herstellung einer Aufgabetrübe mit definierter Feststoffvolumenkonzentration verwendet werden. Hierbei wird die Trübe aus dem Tank durch den Coriolis-Sensor und wieder zurück in den Tank, im Kreis geführt. Durch manuelle Feststoff- und automatische Wasserzugabe – mittels eines Durchflussmessers – kann die gewünschte Feststoffvolumenkonzentration hergestellt werden. Zusätzlich zum Coriolis-Durchflussmesser ist aufgabeseitig ein Druckmesser verbaut. Der Mühlenüberlauf wird im Produkttank, einem weiteren 400l Stahltank gesammelt, bei dessen Austrag zwischen zwei Pumpen – einer Schlauchquetschpumpe oder einer Exzentrerschneckenpumpe – gewechselt werden kann. Mit der Schlauchquetschpumpe kann die Trübe im Kreis zurück in den Aufgabebetank gefördert, oder aus dem System ausgeschleust werden. Mit der Exzentrerschneckenpumpe kann, im Zusammenspiel mit einem weiteren Coriolis-Durchflussmesser und einem Druckmesser, die Aufgabe auf den Hydrozyklon erfolgen. Dabei wird der Zyklon-Überlauf aus dem System ausgeschleust und der Unterlauf entweder in den Aufgabebetank zurückgeführt, oder auch ausgeschleust. Auf beiden Stahltanks ist neben Füllstandssensoren jeweils ein 2,2 kW Rührwerk verbaut, mit dem die Trübe in Bewegung gehalten wird [1].

Im Jahr 2021 wurde die Forschungsmühle um ein für den nassen Anwendungsbereich konzipiertes Online-Korngrößen-Messinstrument von CEMTEC erweitert. Hierbei handelt es sich um das Cemtec-Online-Particlesize-Measurement-System (nachfolgend mit CEOPS bezeichnet), welches mit dem Messsystem Insitec von Malvern ausgestattet ist und nach dem Prinzip der Laserbeugungstechnologie Korngrößen im Bereich von 0,1 bis 1000 µm messen kann. Das CEOPS-System wird vom Austrag des Produkttanks durch die Schlauchquetschpumpe gespeist und liefert Echtzeitdaten, welche in Form einer Korngrößenverteilung am HMI (Human Machine Interface) dargestellt werden können (Abb. 2). Durch die Erweiterung um dieses System kann – bei bekannter Aufgabekorngrößenverteilung – die Veränderung der Dispersität des Mahlguts analysiert werden, welche das zentrale Steuerelement des Prozesses darstellt.

Zusätzlich zur Erweiterung um das CEOPS-System wurde im Forschungsprojekt „Smart Grinding“ (Forschungs-



Abb. 2: CEOPS-System der Firma CEMTEC mit zwei Auszügen vom HMI; Zoom A zeigt das Prozessschaubild während des laufenden Betriebs; Zoom B zeigt die Online-Korngrößenverteilung, basierend auf den ermittelten Echtzeitdaten, die während des Betriebs angezeigt werden kann

partner: CEMTEC und das Linz Center of Mechatronics (LCM)) eine Datenbankstruktur auf einem eigenen OPC-UA-Server implementiert, mit der es möglich ist, sämtliche Daten des gesamten Prozesses cloudbasiert zu speichern und jederzeit abzugreifen. Die Basis der Datenbankstruktur stellt die erweiterbare Open-Source-Plattform Kubernetes dar. Kubernetes ist eine portable, erweiterbare Plattform, mit der containerisierte Arbeitslasten verwaltet werden können [2]. Der OPC-UA-Server bezieht die sekundlich übermittelten Daten der Rührwerkskugelmühle, an die auch das CEOPS-System angeschlossen ist, und lädt diese in den OPC-UA-Client, der den ersten Container in der Datenbankstruktur darstellt. Gespeichert werden die Daten in einer SQL-Datenbank, auf die der User Zugriff hat und anhand von SQL-Befehlen Echtzeitdaten abrufen kann.

4. Einsatzmöglichkeiten der Mühle

Neben dem Einsatz zur Herstellung von Produkten im Ausmaß von 30 bis 400 kg/h feinstgemahlenen Produkts mit Dispersitäten bis in den einstelligen Mikrometerbereich dient die Mühle zur Ermittlung von Auslegungsparametern für industrielle Rührwerkskugelmühlen. Übergeordnetes Ziel der Dissertationsarbeit ist es, mit Hilfe eines Simulationsprogrammes die Grundlage für einen automatisierten Programmablauf zu schaffen, der für eine im Zerkleinerungsverhalten unbekannte Rohgutart, bei definierter Aufgabedispersität, eine vorab festgelegte Zieldispersität, bei geringstmöglichem Energieverbrauch erzielt.

Ein weiteres Anwendungsgebiet der Mühle ist deren Verwendung als Rührreaktor (chemisches Reaktionsgefäß) im Bereich der Schlackenaufbereitung (Projekt K1-Met: Utilization of metallurgical slags, Projekt 1.2). Hierbei wird Wasser durch ein wässriges Lösungsmittel ersetzt, welches für Laugungs- und Lösevorgänge eingesetzt wird. Ziel ist es, durch die reibende Beanspruchung der Mühle kontinuierlich frische Reaktionsoberflächen zu schaffen bzw. bereits

vorhandene Reaktionsprodukte von den Oberflächen abzureiben.

5. Ausblick

Das Simulationsprogramm, das eine mathematische Abbildung des Mahlvorganges mit der Rührwerkskugelmühle darstellt (Digital Twin), wird auf Basis der Analyse von Datensätzen aus der Datenbank erarbeitet, die aus Versuchsprogrammen, die speziell für diesen Zweck konzipiert wurden, generiert werden. Rohstoffe wie Dolomit, Spateisenstein und Schlacke sind für diesen Zweck bereits vorbereitet.

Die Rührwerkskugelmühle bildet dabei nur eine spezielle Lösung eines breiter aufgestellten Mahlmodells, dessen Module für unterschiedliche Aufgabenstellungen parametrisiert werden können und dessen Basis nach bisherigen Überlegungen auf einem fünf-parametrischen „population balance“-Ansatz beruht. Die erste Version des Konzeptes wird bewusst transparent auf Excel-Basis aufgebaut, in der einzelne Rechenroutinen in VBA (Visual Basic for Application) programmiert werden. Der Verlust an Programmierkomfort (der oft zu Lasten der allgemeinen Verständlichkeit geht) wird dabei bewusst in Kauf genommen. Dies dient unter anderem dazu, die Lehrveranstaltung „Computerunterstützte Planung von Aufbereitungsprozessen“ zu unterstützen, um die Notwendigkeit der mathematischen Durchdringung und das Verständnis für allfällige Probleme aus unterschiedlichen verfügbaren Rechenmaschinen (vgl. EXCEL-Solver) zu stärken.

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>.

Literatur

1. Böhmer, A., Mayer, M., Ressel, G.: The 3rd Level – Entwicklung der Feinstzerkleinerung und Ausbau der Flotation am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung. *Berg Huettenmaenn Monatsh* **165**(10), 505–512 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00501-020-01058-y>
2. Kubernetes: Was ist Kubernetes? (2020). <https://kubernetes.io/de/docs/concepts/overview/what-is-kubernetes/>, Zugegriffen: 4. Juli 2022

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