

Neue Entwicklungen rotationsschwingender Feinzerkleinerungsmaschinen

Von Eberhard Gock, Volker Vogt und Roman Florescu

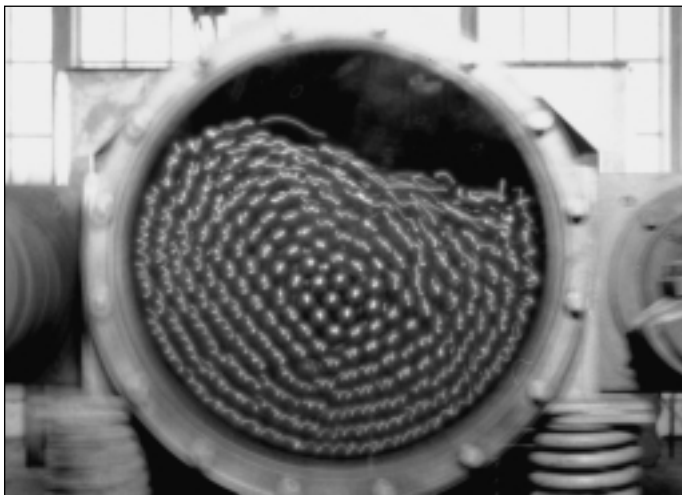


Bild 1: Mahlkörperbewegung in einer Exzenter-Schwingmühle, Umlauf der Mahlkörperfüllung entgegen der Drehrichtung der Erregereinheit

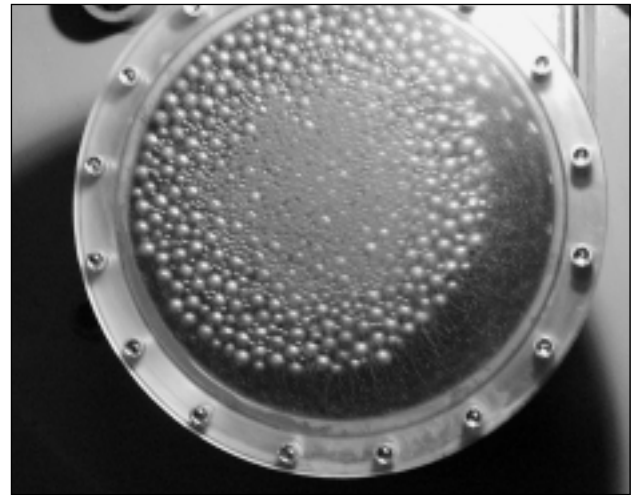


Bild 2: Mahlkörperbewegung in einer herkömmlichen Zentrifugalmühle, Mahlkörperfüllungsgrad 70%, Umlauf der Mahlkörperfüllung in Drehrichtung der Erregereinheit

Entwicklungsstand

In zunehmendem Maße verlangen die chemische, keramische und metallurgische Industrie feinstkörnige Einsatzstoffe und Produkte. Am Institut für Aufbereitung und Depo-
nietechnik der Technischen Universität Clausthal wurde in den letzten Jahren diesem Bedarf mit der Weiterentwicklung von Schwingmühlen Rechnung getragen. Es handelt sich einerseits um die sogenannte „Exzenter-Schwingmühle“ und andererseits um eine modifizierte Zentrifugalmühle.

In Abhängigkeit vom Verhältnis zwischen Schwingkreisradius (r) und Mahlrohrdurchmesser (D) finden bei Schwingmühlen spezifische Bewegungs- und Zerkleinerungsabläufe statt. Bei einem Verhältnis von $r/D < 0,1$ wird im wesentlichen auf Stoß beansprucht; dies gilt für die Exzenter-Schwingmühle (Bild 1). Bei der Zentrifugalmühle, die bei einem Verhältnis von $r/D > 0,1$ betrieben wird, überwiegt reibende Beanspruchung (Bild 2) [1].

Die bisherigen Nachteile von Schwingmühlen, der hohe Energiebedarf, der zu geringe Durchsatz sowie die aufwendige Handhabbarkeit und der Wartungsaufwand wurden mit diesen Entwicklungen aufgehoben. Die gemeinsam mit dem Mühlenbauer Siebtechnik GmbH und einem wei-

teren Maschinenhersteller entwickelten und gebauten Maschinen und ihre spezifischen Einsatzgebiete werden nachfolgend vorgestellt.

EXZENTER-SCHWINGMÜHLE

Die Exzenter-Schwingmühle ist eine Einrohrmühle, die modular aufgebaut ist. Bild 3 zeigt schematisch ein Modul. An einer Seite des federnd gelagerten Mahlrohres (1) befindet sich die Erregereinheit (2), bestehend aus Lagerbock (5) und Unwuchtmassen (6), die über eine Kardanwelle (8) mit dem Antriebsmotor (7) verbunden ist. Zum Massenausgleich ist gegenüber der Erregereinheit eine Ausgleichsmasse (3) angeordnet. Gegenüber herkömmlichen Rohrschwingmühlen, die einen zentralen Antrieb besitzen, führt die Exzenter-Schwingmühle Ellipsen-, Kreis- und Linear-schwingungen aus, die zu bisher nicht erreichten Schwingungsweiten bis 20 mm und einem hohen Auflockerungsgrad der Mahlkörperfüllung (4) führen.

In verschiedenen Veröffentlichungen [2 - 8] wurden bereits eine kinematische Analyse und ein mechanisches Modell der Exzenter-Schwingmühle vorgestellt. Danach läßt sich die Bewegung in Anlehnung an die kinematischen Verhältnisse des Kurbeltriebes mathematisch beschreiben

(Bild 4). Da die herkömmliche Rohrschwingmühle an jedem Punkt des Mahlrohres eine Kreisbewegung beschreibt, ist die Drehrichtung des Erregers nicht festgelegt. Die Exzenter-Schwingmühle besitzt dagegen nur eine Drehrichtung, die von der Position der Erregereinheit abhängig und dieser entgegengerichtet ist. Aus Untersuchungen zum Verschleißverhalten hat sich ergeben, daß im Gegensatz zur herkömmlichen Rohrschwingmühle bei der Exzenter-Schwingmühle die Hauptbeanspruchungszone von 90° auf 180° vergrößert wurde. Periodisch unterschiedliche Drehrichtungen zur Verschleißverteilung bringen keine Vorteile (Bild 5).

ZENTRIFUGALMÜHLE

Die Einführung einer Zentrifugalmühle in den industriellen Maßstab wurde erstmals 1981 von der Firma Lurgi im südafrikanischen Golderzbergbau realisiert [9]. Die verhältnismäßig kleine Maschine wurde im Untertagebetrieb an Stelle der üblichen sehr großen Kugelmühlen für Feinmahlung eingesetzt. Es wurde ein Zerkleinerungsziel $< 75 \mu\text{m}$ angestrebt. Aus energetischen und konstruktiven Gründen konnte sich die Maschine in diesem Industriezweig nicht durchsetzen. Vor zwei Jahren wurden von uns Untersuchungen ▶

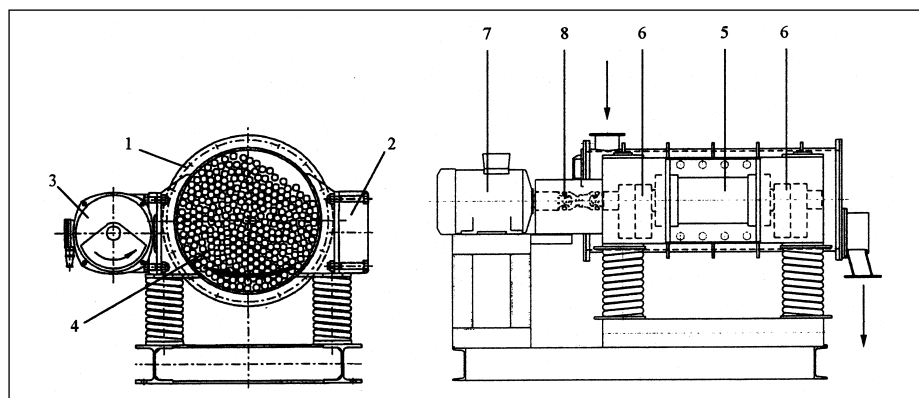


Bild 3: Schematische Darstellung eines Moduls der Exzenter-Schwingmühle

Tab. 1: Beispiele für den industriellen Einsatz der Exzenter-Schwingmühle (ESM)

Technologische Parameter	Hartmetall	Zinkoxid Schlacke	Eisenoxid Pigment	Zirkonoxid	Organisches Pigment
Aufgabe Korngröße/Dichte	100 % < 30 mm	100 % < 25 mm	0,5 g/cm³	100 % < 10 mm	< 1µm
Zerkleinerungsziel Korngröße/Dichte	100 % < 0,5 mm	100 % < 0,25 mm	0,8 g/cm³	100 % < 11µm	Deckkraft
Mühlentyp	ESM 656*-2ks**	ESM 656-2ks	ESM 856-2ks	ESM 654-1bk***	ESM 656-2ks
Durchsatz	1 t/h	3 t/h	5,3 t/h	17 kg/h	2,3 kg/h
spez. Energieaufwand	33 kWh/t	18 kWh/t	ca. 30 kWh/t	1500 kWh/t	1100 kWh/t

* Rohrdurchmesser 650 mm ** 2 Module, L = 2500 mm *** 1 Modul Keramikauskleidung

Tab. 2: Vergleich der Mahlung von Kalkstein und Violett-pigmenten in einer herkömmlichen Rohrschwingmühle (RSM) und Exzenter-Schwingmühlen (ESM)

	RSM		ESM 506-2ks Kalkstein*	ESM 656-2ks Organisches Pigment**
	Kalkstein*	Organisches Pigment**		
Mahlrohrdurchmesser D in m	0,5		0,5	0,63
Mahlrohrlänge L in m	6,7	13,4	2,5	2,5
Mahlrohrvolumen V in m³	1,3	2,6	0,40	0,74
Durchsatz in kg/h	155	1,1	180	2,3
spez. Mahlraumausnutzung in kg/(m³h)	120	0,42	391	3,15
spez. Energieverbrauch in kWh/t	111	2500	61	1100

* Kalksteinaufgabe 98,5% < 20 mm; Zerkleinerungsergebnis 60% < 2µm und 90% < 200µm

** Zerkleinerungsziel ist die Erhöhung des Reflexionsvermögens

zum Einsatz der Zentrifugalmühle für die nasse Feinstmahlung für Korngrößenbereiche unter 5 µm unternommen, da wir der Ansicht sind, daß diese Mühle Aufgaben der heute sehr verbreiteten Rührwerkskugelmühlen übernehmen kann.

Bild 6 zeigt das Konstruktionsschema der modifizierten Zentrifugalmühle. Es handelt sich um einen Prototyp im industriellen Maßstab (Rohrdurchmesser 350 mm, Rohrlänge 2200 mm). Die Einrohrmaschine (1) beschreibt über einen festen Rahmen (2) einen definierten Schwingkreis von 150 mm. Der Antrieb erfolgt über zwei exzentrisch gelagerte Wellen (3) mit zwei synchronisierten Motoren. Die bisher als problematisch betrachtete Materialaufgabe (4) und der Produktaustrag (5) werden mit Hilfe von Gelenkwellen (6) gelöst. Bei einer kinematischen Analyse hat sich ergeben, daß durch Reduzierung der Mahlkörperfüllung von bisher >70% auf 30% die Maschine optimale Bedingungen für die Feinstmahlung aufweist.

Mit Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahmen (Bild 7) läßt sich belegen, daß im Gegensatz zu einer Mahlkörperfüllung von 70% bei einem Füllungsgrad von 30% eine großflächige Beanspruchung bewirkt wird. Diese vornehmlich durch Reibung gekennzeichnete Beanspruchung zwischen umlaufender Mahlrohrfüllung und der Mahlrohrwand ermöglicht eine extreme Feinstmahlung ohne Agglomeratbildung. Bei zu hohem Füllungsgrad bildet sich eine Walze mit dichtester Kugelpackung aus, in die das Mahlgut nicht eindringen kann. Die zur Verfügung stehende reduzierte Fläche zwischen umlaufender Kugelwalze und Mahlrohrwand läßt eine Feinstmahlung nicht zu.

Wie aus Bild 8 am Beispiel der Leistungsaufnahme einer Lurgi-Zentrifugalmühle (Labormaßstab) in Abhängigkeit von der Mahlkörperfüllung [12] hervorgeht, führt die Reduzierung des Füllungsgrades von >70% auf 30% zu einer Verminderung der Energieaufnahme um ca. 50%. Eigene Untersuchungen haben ergeben, daß der Energiebedarf pro Mahlraumvolumen in der modifizierten Zentrifugalmühle um den Faktor 4 gesenkt werden kann und bei ca. 0,4 kW/L liegt.

Anwendungsbeispiele

Betriebsergebnisse mit der **Exzenter-Schwingmühle** bei der Trockenmahlung keramischer Materialien sind in Tab. 1 aufgeführt. Wie aus der Angabe der Mühlentypen zu entnehmen ist, werden unterschiedliche Baugrößen eingesetzt. Der spezifische Energieaufwand bewegt sich je nach Rohstoff und Zerkleinerungsziel zwischen 18 und 1500 kWh/t. Verglichen mit herkömmlichen Rohrschwingmühlen ist der spezifische Energieaufwand bei der Exzenter-Schwingmühle generell ca. 50% niedriger.

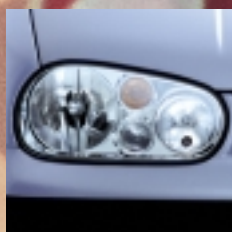
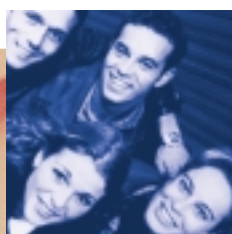
Der mit der Exzenter-Schwingmühle erreichte Fortschritt läßt sich am besten durch einen Vergleich mit der herkömmlichen Rohrschwingmühle nachweisen. In Tab. 2 sind Betriebsdaten angegeben, die bei der Mahlung von Kalkstein und Violett-pigment mit einer herkömmlichen ▶



Die Zukunft hat viele Facetten.

Dimensionen eröffnen
Innovationen verwirklichen
Zukunft gestalten

Technik bringt Menschen einander näher – und lenkt damit das Augenmerk auf die Mobilität, die unser Leben bereichert. Lassen Sie uns die Dinge unter diesem Blickwinkel gemeinsam betrachten.



Innovation hat bei Volkswagen Methode. Wo immer wir uns engagieren, suchen wir auf vollen Touren nach der besten Lösung. Sei es in der Realisierung verbrauchs-optimierter Fahrzeuge oder im Design zukunftsweisender Oberklassenmodelle: Immer wieder stellen unsere Ingenieur-Teams bahnbrechende Projekte auf die Beine, in

denen wirklich alles denkbar ist – nur kein Mittelmaß. Und Sie? Geben auch Sie sich nur mit Spitzenleistungen zufrieden! Nehmen Sie Kontakt auf:

**Volkswagen AG,
Personalabteilung
38436 Wolfsburg
Oder im Internet unter:**

<http://www.vw-personal.de>



DAS IST DAS LEBEN

MIT SALZGITTER!

Die Salzgitter AG ist mit über 50 nationalen und internationalen Tochter- und Beteiligungsgesellschaften ein bedeutender weltweit agierender Stahl- und Technologiekonzern.

Unsere Kernaktivitäten bündeln wir in den Unternehmensbereichen Stahl, Weiterverarbeitung, Handel, Dienstleistungen und Röhren.

Bereits 17.000 Mitarbeiter verbinden ihre Zukunft schon heute mit der Salzgitter AG – und der Konzern wächst weiter.

Mehr Informationen und Kontakt über

- Salzgitter AG Stahl und Technologie Personalabteilung Führungskräfte

Eisenhüttenstr. 99
38239 Salzgitter
Tel.: 05341 / 21-01
Fax: 05341 / 21-3506
www.salzgitter-ag.de

Stahl ist Zukunft. Ihre Zukunft.

Diplom-Ingenieure/innen

Elektrotechnik · Maschinenbau
Verfahrenstechnik · Werkstoffwissenschaften
Metallurgie · Umformtechnik

Wirtschaftsingenieure/innen Wirtschaftswissenschaftler/innen

Je eher Sie an den Start gehen, Kontakte knüpfen, Kooperationen suchen, desto mehr Dynamik wird Ihre Karriere entwickeln. Starten Sie mit uns durch!

Einblick gewinnen:

Praktika und Praxissemester zum Kennenlernen

Anderen voraus sein:

Förderung von Studien- und Diplomarbeiten

Orientierung als Programm:

Alle Chancen als Trainee

nach Studienabschluss im 12- bis 18-monatigen konzernweiten Einsatz mit maßgeschneiderten Personalentwicklungsprogrammen

Direkteinstieg mit Berufserfahrung

Step by step in verantwortungsvolle Positionen hineinwachsen

Wir geben Ihrer Karriere die richtigen Impulse und ebnen Ihnen den Weg – mit professioneller und gezielter Unterstützung.



Gegen Kinderarbeit

Feierabend

Kinder schuften in Minen und Fabriken, als Müllmänner, Bergleute und Dienstmädchen – 12 Stunden täglich, sieben Tage die Woche. Da bleibt keine Zeit für Schule oder zum Spielen.

terre des hommes setzt sich für arbeitende Jungen und Mädchen ein und hilft vor Ort: Skrupellos ausgebeutete Kinder werden von unmenschlicher Arbeit befreit. Ärzte helfen kranken oder verletzten Kindern. In Abendschulen lernen die Kinder lesen, schreiben und ihre Grundrechte. terre des hommes sorgt für bessere Arbeitsbedingungen, eine geregelte Ausbildung und ein Zuhause. Bitte unterstützen Sie diese Projekte.

Eine Broschüre über Kinderarbeit senden wir Ihnen gerne kostenlos zu. Schicken oder faxen Sie uns einfach diese Anzeige mit Ihrer Anschrift.



terre des hommes
Ruppenkampstraße 11a
Postfach 4126
49 031 Osnabrück

Telefon: 05 41/71 01-0
Telefax: 05 41/70 72 33
eMail: terre@t-online.de
Internet: <http://www.tdh.de>

Spendenkonto 700
Volksbank
Osnabrück eG
BLZ 265 900 25



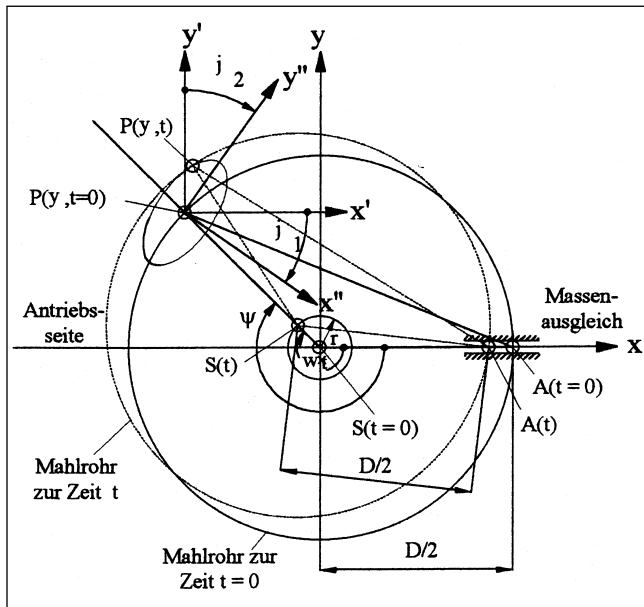


Bild 4: Kinematisches Modell der Exzenter-Schwingmühle

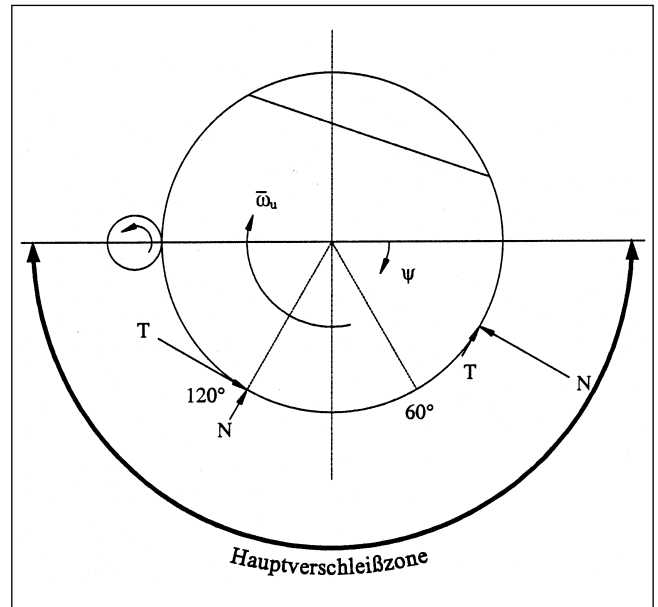


Bild 5: Hauptbeanspruchungs- bzw. Hauptverschleißzone der Exzenter-Schwingmühle

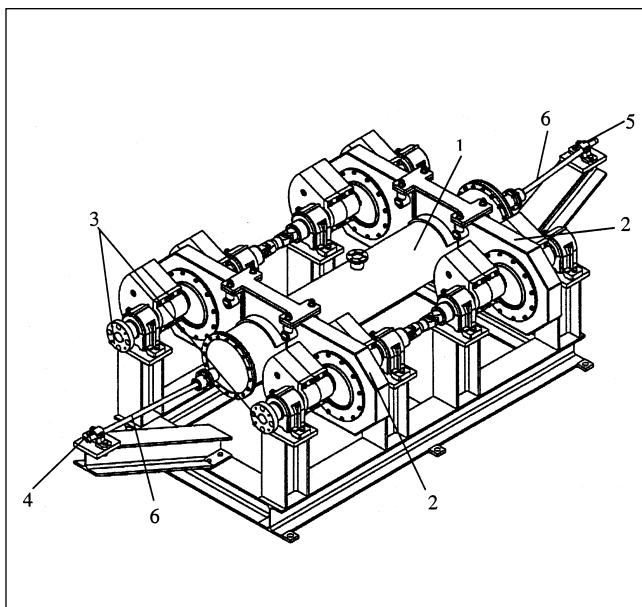


Bild 6: Schematische Darstellung der Zentrifugalmühle, nach [10,11]



Bild 7: Beanspruchungsmechanismus des Mahlgutes bei der nassen Feinstmahlung in einer Zentrifugalmühle, Mahlkörperfüllungsgrad 30%, Rohrdurchmesser 350 mm, Schwingkreisdurchmesser 150 mm

Rohrschwingmühle bzw. zwei Exzenter-Schwingmühlen unterschiedlicher Baugröße ermittelt wurden. Die entscheidenden Unterschiede bestehen im Mahlraumvolumen und den Maschinenlängen. Bezogen auf die spezifische Mahlraumausnutzung (gemessen in $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$) wird für Kalkstein eine Durchsatzsteigerung um den Faktor 3,3 und für das Violetpigment um den Faktor 7,5 erreicht. **Bild 9** zeigt eine Exzenter-Schwingmühle im industriellen Einsatz für die Mahlung von Zirkonoxid.

Die zukünftigen Einsatzbereiche für die Zentri-

fugalmühle werden in der nassen Feinstmahlung von Pigmenten, keramischen Werkstoffen und Chemieprodukten gesehen. Da die Maschine im Gegensatz zur Rührwerkskugelmühle keine festen Einbauten hat, wird erwartet, daß der Verschleiß entscheidend herabgesetzt werden kann. In **Bild 10** ist als Beispiel die Korngrößenverteilungsfunktion nach der Mahlung von Kalkstein als Füllstoff für die Papierindustrie dargestellt. Zum Vergleich ist die Verteilungsfunktion der Mühlenaufgabe eingetragen. Der spezifische Energiebedarf wurde mit 141 kWh/t für einen d_{50} -Wert von

$1,8 \mu\text{m}$ bei einmaligem Durchgang bestimmt. Bemerkenswert ist die enge Kornverteilung des Mahlproduktes zwischen 0 und $12 \mu\text{m}$, die von der Exzenter-Schwingmühle nicht erreicht werden kann (siehe Tabelle 2, Beispiel Kalkstein). Für die derzeitige mit Rührwerkskugelmühlen betriebene industrielle Zerkleinerung werden ca. 150 kWh/t für den gleichen d_{50} -Wert bei mehrmaligem Durchgang benötigt.

In **Bild 11** ist ein Prototyp einer modifizierten Zentrifugalmühle für den Industrieinsatz zu sehen. ▶

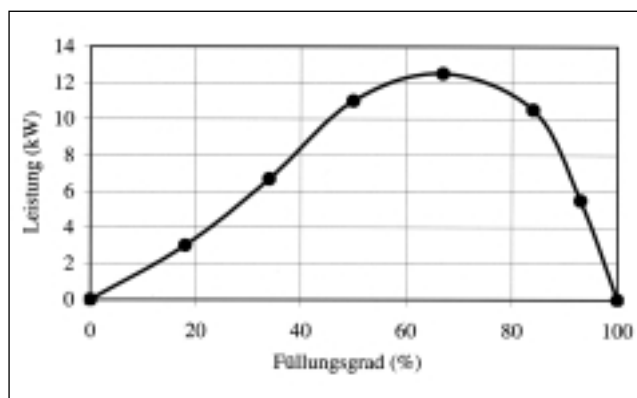


Bild 8: Experimentell ermittelte Leistungsaufnahme an einer Zentrifugalmühle der Firma Lurgi (Labormaßstab) in Abhängigkeit vom Füllungsgrad, nach [12]

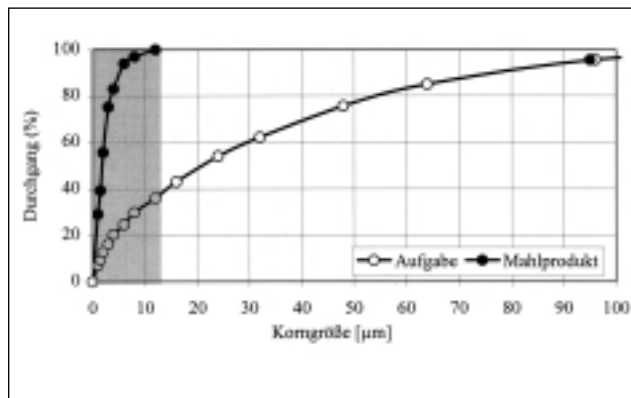


Bild 10: Mahlergebnisse für die Feinstmahlung von Kalkstein mit einer Zentrifugalmühle; Mahlkörperfüllungsgrad 30 %, Mahlröhrendurchmesser 350 mm, Länge 2200 mm, Schwingkreisdurchmesser 150 mm, Drehzahl 200 min⁻¹, Feststoffgehalt 500 g/L

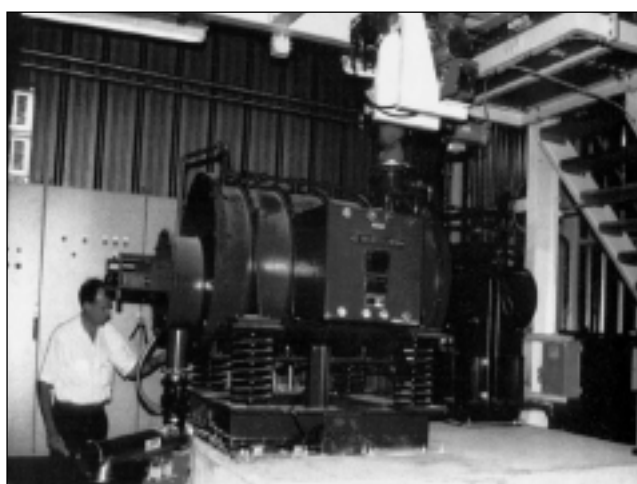


Bild 9: Exzenter-Schwingmühle vom Typ ESM 654-1bk, einmodulig für die Mahlung von Zirkonoxid in einem Industriebetrieb

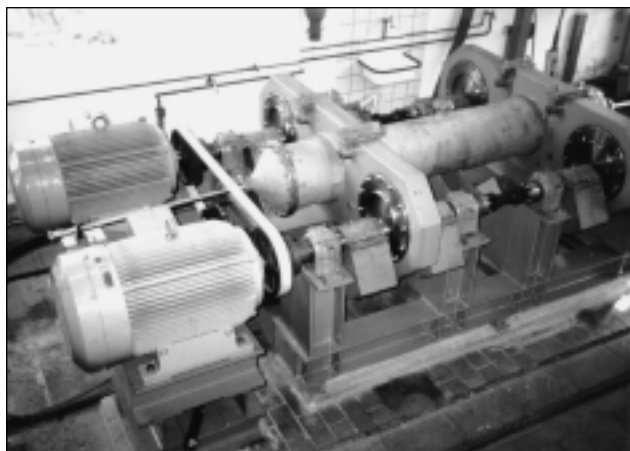


Bild 11: Prototyp einer modifizierten Zentrifugalmühle; Mahlröhrendurchmesser 350 mm, Länge 2200 mm, Schwingkreisdurchmesser 150 mm, Institut für Aufbereitung und Deponietechnik

Schlußfolgerungen

Mit den vorgestellten rotationsschwingenden Zerkleinerungsmaschinen, der Exzenter-Schwingmühle und der modifizierten Zentrifugalmühle können zwei wesentliche Forderungen an die Feinstmahlung erfüllt werden:

- Steigerung der Reaktionsfähigkeit und
- Erzeugung feinsten Partikeln und sehr großer spezifischer Oberflächen.

Generell läßt sich feststellen, daß die Exzenter-Schwingmühle bei der trockenen Feinstmahlung aufgrund ihrer stoßenden Beanspruchung insbesondere die erste Forderung erfüllt. Obgleich ein hoher Zerkleinerungsgrad erreicht wird, ist durch Agglomeratbildungen und Brikettiereffekte die Vergrößerung der äußeren Oberfläche begrenzt. Da die Zentrifugalmühle mit ihrer vorwiegend reibenden Beanspruchung durch Vermeidung von Agglomerationen der zweiten Forderung in hervorragender Weise nachkommt, steht mit den vorgestellten Entwicklungen ein Instrumentarium zur Verfügung, das durch kombinierten Einsatz alle Anforderungen an die Feinstzerkleinerung erfüllen kann.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Bernotat, S.: GVC-Dezembertagung 1993, „Feinmahl- und Klassiertechnik“, Köln, 13pp
- [2] Siebtechnik GmbH, US Patent No. 08/325,837 Erfinder: Gock, E., Beenken, W., Gruschka, M., 1. Juli 1996
- [3] Kurrer, K.-E., Jeng J. J., Gock, E.: Analyse von Rohrschwingmühlen, VDI Verlag, Reihe 3 Verfahrenstechnik, Nr. 282, 1992
- [4] Gock, E., Kurrer, K.-E.: Erzmetall 49 (1996), p. 435
- [5] Gock, E., Kurrer, K.-E.: Proc. of the 20th Int. Min. Proc. Congr., Vol. 2, Aachen 1997, p. 272
- [6] Kurrer, K.-E., Gock, E.: Zement-Kalk-Gips International 50 (1997), p. 368
- [7] Gock, E., Kurrer, K.-E.: Aufbereitungstechnik 39 (1998), p. 106
- [8] Gock, E., Kurrer, K.-E.: Powder Technology 105 (1999), p. 302-310
- [9] Grizina, K. et al.: Aufbereitungstechnik 6 (1981), p. 303-308
- [10] Goltz, M.: Konstruktion einer Zentrifugalmühle, Studienarbeit, TUC 1998
- [11] König, D.: Projektierung und Konstruktion der Dosier- und Austragsvorrichtung einer Zentrifugalmühle, Studienarbeit, TUC 1999
- [12] Lurgi-Information C1367/10.80, „Entwicklung der Mahlung im Zentrifugalfeld“, Lurgi Chemie und Hüttentechnik, Frankfurt (1980)

Prof. Dr.-Ing. habil. Eberhard Gock
Dr.-Ing. Volker Vogt
Roman Florescu
Institut für Aufbereitung und Deponietechnik
Walther-Nernst-Straße 9
38678 Clausthal-Zellerfeld
Tel.: 05323/72-2038
Fax: 05323/72-2353