

NETZSCH

Proven Excellence.



Einfluss des Mahlkörperfüllgrades, der Qualität und der Fraktionsbreite von Mahlkörpern bei der Zerkleinerung mit Rührwerkskugelmöhlen

Business Unit
GRINDING & DISPERSING

EINFLUSS DES MAHLKÖRPERFÜLLGRADES, DER QUALITÄT & DER FRAKTIONSBREITE

Dr. Stefan Mende | NETZSCH-Feinmahltechnik GmbH, Selb | Deutschland

1. MAHLKÖRPERFÜLLGRAD

1.1. Definition des Mahlkörperfüllgrades

Der Mahlkörperfüllgrad wird durch die Hersteller von Rührwerkskugelmühlen sehr unterschiedlich definiert. Deshalb ist in vielen Fällen der direkte Vergleich von Mahlkörperfüllgraden schwierig. In Abhängigkeit von der Geometrie des Mahlsystems und der Philosophie des Herstellers wird in der Regel ein 100% Mahlkörpervolumen $V_{MK,100\%}$ definiert. Dieser Wert gibt für die verwendete Mühle an, welches maximale Volumen eines Mahlsystems mit einer Schüttung aus Mahlkörpern befüllt werden darf, um einen betriebssicheren Betrieb der Mühle zu ermöglichen. Der Mahlkörperfüllgrad φ_{MK} gibt an, welcher prozentuale Anteil dieses 100% Mahlkörpervolumens mit Mahlkörpern befüllt wurde.

Das Mahlkörpervolumen im Mahlraum ist in Abhängigkeit von der Schüttdichte $\rho_{MK, Schütt}$ Schütt der Mahlkörper als Schüttvolumen $V_{MK, Schütt}$ anzugeben. Der Mahlkörperhersteller gibt die Schüttdichte in der Regel in der Spezifikation der Mahlkörper an. Das Befüllen des Mahlraums sollte **immer** mit einer Mahlkörpermasse erfolgen, die aus dem erforderlichen Schüttvolumen der Mahlkörper und der vom Hersteller angegebenen Schüttdichte der Mahlkörper berechnet wurde (s. Glg. (1)).

$$\varphi_{MK} = \frac{V_{MK, Schütt}}{V_{MK, 100\%}}$$
$$m_{MK} = \varphi_{MK} \cdot V_{MK, 100\%} \cdot \rho_{MK, Schütt} \quad (1)$$

Die Befüllung des Mahlraums über ein definiertes Mahlkörpervolumen birgt die Gefahr, dass der Mahlraum über- oder unterbefüllt wird. Einfache Reihenuntersuchungen haben gezeigt, dass die Abweichung der Mahlkörpermasse zum Teil größer als 20% war, wenn man unterschiedliche Probanden ein Volumen von 1 Liter identischer Mahlkörper abmessen ließ. Grund dafür ist, dass einige der Teilnehmer der Testreihe das Volumen sehr genau bestimmen wollten und dann eher ein Stampfvolumen der Mahlkörper bestimmten, während andere das Volumen der Mahlkörper nur ungefähr bestimmten und damit oft eine geringere Masse an Mahlkörpern einfüllten.

1.2. Änderung des Mahlkörperfüllgrades durch Mahlkörperverschleiß

Der Mahlkörperfüllgrad φ_{MK} hat einen direkten Einfluss auf den Leistungseintrag in einen Mahlraum (s. Abb. 1). Der Leistungseintrag hängt zusätzlich von der Dichte und der Viskosität der Produktsuspension, der Rührwerksgeschwindigkeit, der Mahlkörperrichte und natürlich vom Mahlraumvolumen der Mühle ab.

Beim Betrieb einer Rührwerkskugelmühle werden unzählige Kollisionen von Mahlkörpern erzeugt, die zwangsläufig zu Mahlkörperverschleiß führen und somit zu Kontamination von Produktsuspension und zu einer Verringerung des Mahlkörperfüllgrades mit zunehmender Betriebsdauer.

Eine einfache Methode den Mahlkörperfüllgrad einer Mühle zu messen besteht darin, den Leistungseintrag der Mühle in Abhängigkeit von der Mahlkörperfüllmenge als Messgröße heranzuziehen. Dafür muss bei Inbetriebnahme einer neuen Mühle eine Kennlinie der Mühle erstellt werden, mit deren Hilfe der Mahlkörperfüllgrad im Spülbetrieb der Mühle sehr genau bestimmt werden kann, ohne dafür den Mahlraum zu öffnen oder zusätzliche Zeit zu investieren.

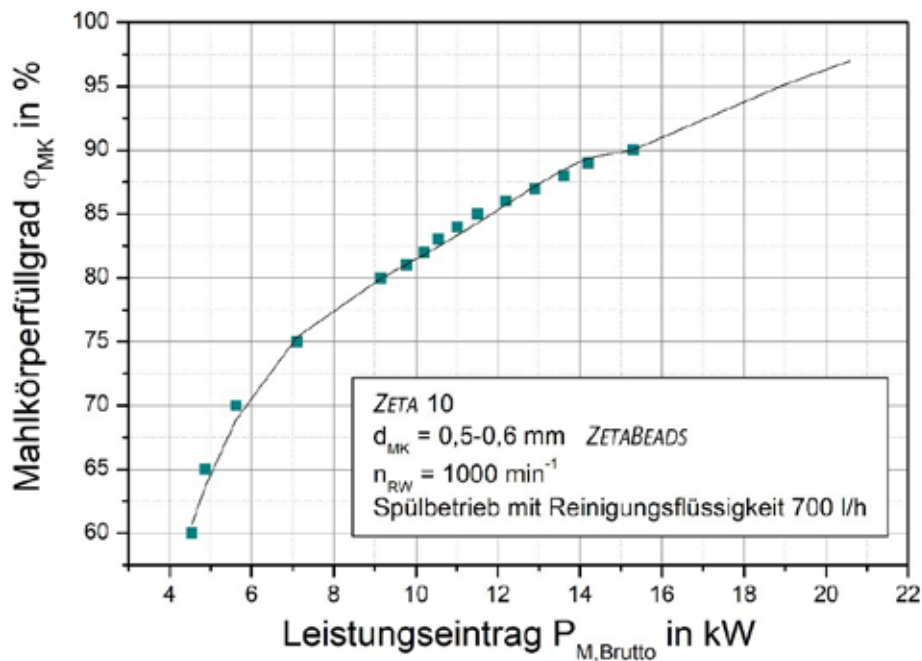
Abb. 1 zeigt eine solche Kennlinie für eine Mühle ZETA® 10. Die Mühle wird nach jedem Ansatz mit einer speziellen Reinigungsflüssigkeit gespült. Die Reinigungsflüssigkeit ist vom Produkt abhängig und kann Wasser, ein spezielles Lösungsmittel oder auch ein Öl sein. Werden mit der Mühle unterschiedliche Produkte verarbeitet, die eine Spülung mit unterschiedlichen Reinigungsflüssigkeiten und den Betrieb mit unterschiedlichen Mahlkörpern erfordern, muss für jede Reinigungsflüssigkeit und jede Mahlkörpersorte eine unabhängige Kennlinie aufgenommen werden.

Der verwendete Mahlkörperfüllgrad liegt bei NETZSCH Rührwerkskugelmühlen in der Regel in einem Bereich zwischen 70 und 90%. In seltenen Fällen werden weniger als 70% des 100% Mahlkörpervolumen $V_{MK, 100\%}$ mit Mahlkörpern befüllt. In anderen Ausnahmefällen werden Mahlkörperfüllgrade φ_{MK} von bis zu 95% verwendet.

TE VON MAHLKÖRPERN BEI DER ZERKLEINERUNG MIT RÜHRWERKSKUGELMÜHLEN

Abbildung 1

Leistungseintrag in Abhängigkeit vom Mahlkörperfüllgrad



Im vorliegenden Fall wurde ein Mahlkörperfüllgrad ϕ_{MK} von 90% definiert. Bei der Inbetriebnahme der Mühle wurde der Mahlraum zunächst nur mit einem Mahlkörperfüllgrad von 60% befüllt. Anschließend wurde die Mühle mit einer Rührwerksdrehzahl von 1000 min^{-1} betrieben, während sie mit der Reinigungsflüssigkeit bei einem definierten Durchsatz von 700 l/h gespült wurde. Dabei ergab sich ein Bruttoleistungseintrag $P_{M,Brutto}$ von ca. $4,5 \text{ kW}$. Anschließend wurde diese Prozedur mit zunehmendem Mahlkörperfüllgrad wiederholt, bis die vollständige Mahlkörperschüttung im Mahlraum vorhanden war.

Die dabei entstandene Maschinenkennlinie kann nun bei einem regulären Spülbetrieb zwischen zwei Ansätzen herangezogen werden, um sehr genau zu bestimmen, welche Mahlkörpermasse durch Verschleiß in das Produkt übergegangen ist, bzw. welche Mahlkörpermenge nachgefüllt werden muss, um den Mahlkörperfüllgrad wieder auf 90 % einzustellen und den Leistungseintrag auf einem konstanten Niveau zu halten.

Beispiel:

Das 100% Mahlkörpervolumen $V_{MK,100\%}$ der hier verwendeten Mühle ZETA® 10 wird in der Betriebsanleitung mit 9,5 Litern angegeben. Dies bedeutet, dass 1% des gesamten Mahlkörpervolumens 95 ml entsprechen. Die verwendeten Mahlkörper sind ZETABEADS® mit einem Durchmesser von 0,5 - 0,6 mm. Die Schüttdichte $\rho_{MK,Schütt}$ wird vom Hersteller mit $3,65 \text{ kg/dm}^3$ angegeben.

Bei einem Mahlkörperfüllgrad ϕ_{MK} von 90% betrug der Bruttoleistungseintrag in die Mühle im Spülbetrieb $15,3 \text{ kW}$. Nach der Vermahlung des ersten Ansatzes wurde im Spülbetrieb ein Leistungseintrag von $14,2 \text{ kW}$ gemessen. Dies entspricht einem Mahlkörperfüllgrad ϕ_{MK} von 89%. Dies bedeutet, dass ca. 347 g Mahlkörpermaterial durch Verschleiß in den Produktansatz übergegangen sind. Um den Leistungseintrag wieder auf das vorherige Niveau anzuheben sollten 347 g Mahlkörper der Originalfraktion nachgefüllt werden.

1.3. Einfluss des Mahlkörperfüllgrades

Der Mahlkörperfüllgrad hat nicht nur einen entscheidenden Einfluss auf den Leistungseintrag in den Mahlraum der Maschine. Untersuchungen von Joost [1], Kwade [2] und Schwedes [3] zeigten, dass der Mahlkörperfüllgrad ebenso einen signifikanten Einfluss auf den spezifischen Energiebedarf sowie auf den Mahlkörperverschleiß haben. Diese Ergebnisse konnten in der Praxis durch zahlreiche Erfahrungen mit unterschiedlichsten Produkten bestätigt werden (s. Abb. 2 und Abb. 3).

Insbesondere der Einfluss des Mahlkörperfüllgrades auf den Mahlkörperverschleiß hat eine große Bedeutung bei der Auslegung von Prozessen, bei denen eine möglichst geringe Kontamination des Produktes gefordert ist, wie z.B. bei aktiven pharmazeutischen Wirkstoffen. Bei solchen Zerkleinerungsprozessen wird sehr häufig mit einem Mahlkörperfüllgrad von 60-70% gearbeitet. Dadurch wird zwar die Produktionsleistung verringert und insgesamt ein höherer spezifischer Energieeintrag benötigt, um die geforderte Produktqualität zu erreichen, der absolute Mahlkörperverschleiß und somit die Kontamination des Produktes können aber verringert werden.

Abbildung 2

Zerkleinerungsergebnis in Abhängigkeit vom spezifischen Energieeintrag, für die Zerkleinerung von Schmelzkorund [1]

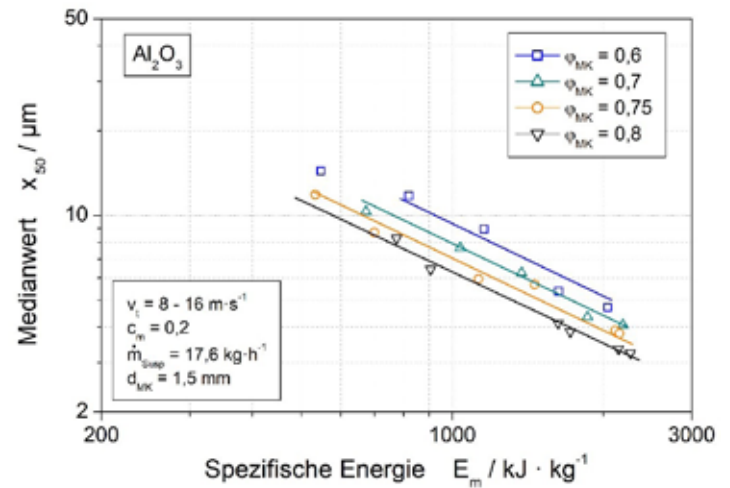
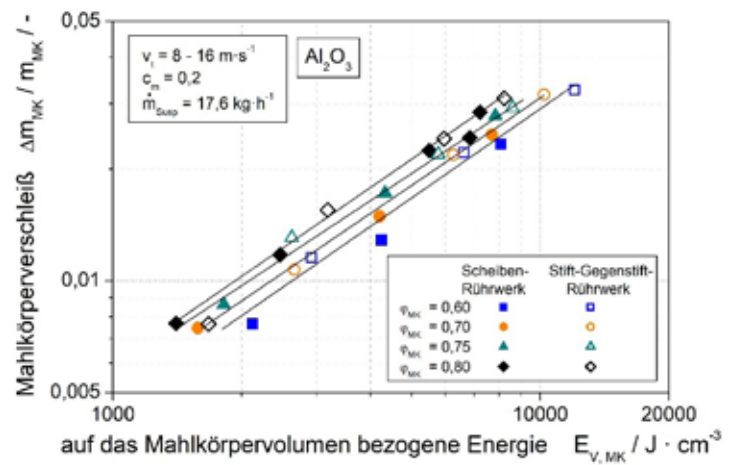


Abbildung 3

Mahlkörperverschleiß bei der Zerkleinerung von Schmelzkorund [1], in Abhängigkeit von dem auf das Mahlraumvolumen bezogenen Energieeintrag



2. EINFLUSS DER FRAKTIONSBREITE DER MAHLKÖRPER

Ein weiterer Parameter ist die Fraktionsbreite der Mahlkörper. Kwade [3, 4] stellte hierzu interessante Untersuchungen an, bei denen er Mischungen von Glas-mahlkugeln unterschiedlicher Größe für die Zerkleinerung von Kalziumkarbonat einsetzte. Genutzt wurden dabei Mahlkörper mit einem Durchmesser 838 μm und 1500 μm . Es wurden jeweils die reinen Fraktionen und Mischungen der Mahlkörper eingesetzt (s. Abb. 4).

Dabei konnte gezeigt werden, dass eine Mischung unterschiedlicher Mahlkörpergrößen zwar insgesamt energetisch effizienter zerkleinerte, als die reine Mahlkörperfraktion mit einem Durchmesser von 1500 μm . Dieses Ergebnis stellte sich jedoch nur ein, weil bei einer Ausgangspartikelgröße des Produktes von weniger als 10 μm die kleineren Mahlkörper mit einem Durchmesser von 838 μm ausreichende Beanspruchungsenergien auf die Produktpartikeln übertragen konnten, die bei nahezu jedem Beanspruchungsvorgang zu einer Zerkleinerung führten. Das beste Ergebnis konnte demnach erreicht werden, wenn die reine Fraktion der kleineren Mahlkörper eingesetzt wurde.

Eine weitere Beobachtung bei der Mischung unterschiedlicher Mahlkörperfraktionen ist der Anstieg des Mahlkörperverschleißes. Dies ist damit zu begründen, dass große Mahlkörper zusammenstoßen und dabei teilweise kleinere Mahlkörper beanspruchen. Auf der anderen Seite ist zum Teil ein erheblich höherer Energiebedarf notwendig, um die geforderte Qualität zu erreichen.

Weiterhin konnte immer wieder gezeigt werden, dass der Einsatz breiterer Mahlkörperfraktionen zu einer breiteren Partikelgrößenverteilung im Produkt führt [5], (s. Abb. 5).

Dieser Befund kann damit erklärt werden, dass durch den höheren Energiebedarf insgesamt auch der Feinanteil weiter ansteigt, während aufgrund der Tatsache,

Abbildung 4

Zerkleinerungsergebnis in Abhängigkeit vom spezifischen Energieeintrag, für die Zerkleinerung von Kalziumkarbonat mit Mischungen von Mahlkörpern unterschiedlicher Größe in unterschiedlichen Verhältnissen [3]

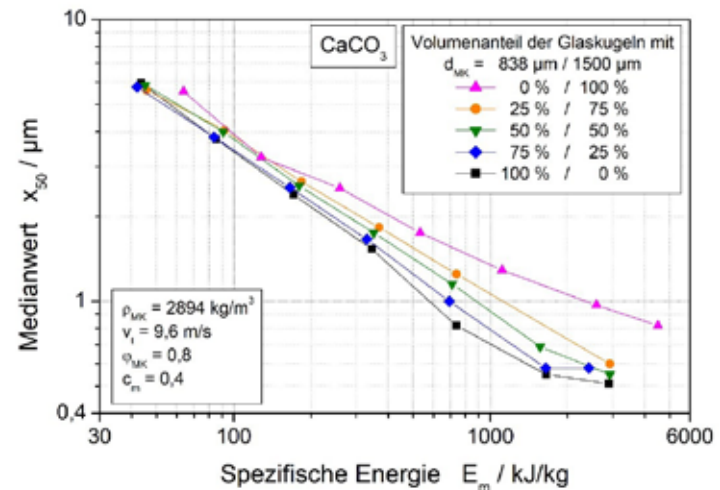
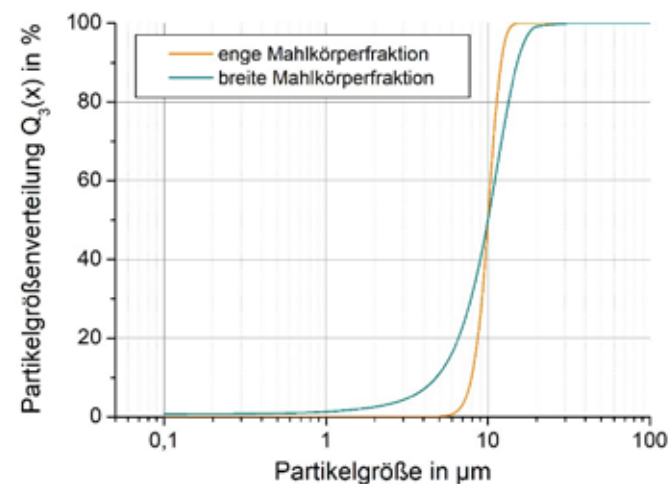


Abbildung 5

Einfluss der Mahlkörperfraktionsbreite auf die Partikelgrößenverteilung (qualitativ)



dass speziell bei der Beanspruchung der größten Produktpartikeln auch immer wieder ineffektive Zusammenstöße zwischen großen und kleinen Mahlkörpern stattfinden. Dies führt dazu, dass zur gleichen Zeit bei gleicher mittlerer Partikelgröße auch der Anteil größerer Partikeln im Gesamtsystem festgestellt werden, sodass die Partikelgrößenverteilung, also die Fraktionsbreite der Mahlkörperschüttung, in vielen Fällen einen direkten Einfluss auf die Produktqualität hat.

2.1. Austausch oder Siebung der Mahlkörperschüttung

In der Praxis lässt es sich in der Regel nicht vermeiden, dass sich durch Mahlkörperverschleiß und durch das Nachfüllen mit Mahlkörpern der möglichst engen originalen Mahlkörperfraktion eine „natürliche Fraktionsbreite“ der Mahlkörper einstellt. Nur unter sehr speziellen Bedingungen, bei extrem teuren Produkten oder Prozessen für die Herstellung pharmazeutischer Produkte werden die Mahlkörper nach jedem Produktansatz gewechselt.

Normalerweise werden die Mahlkörper möglichst lange eingesetzt, da sie einen erheblichen Kostenfaktor darstellen. Möchte man möglichst genau abschätzen, zu welchem Zeitpunkt ein Wartungsintervall mit Austausch der Mahlkörper sinnvoll ist, sollte man zunächst eine Vorstellung von der Entwicklung der Mahlkörpergröße im Mahlraum entwickeln.

Dazu wurde die folgende Überlegung angestellt:

Das Volumen einer Kugel berechnet sich:

$$V_{MK} = \frac{d_{MK}^3 \cdot \pi}{6}$$

Das Volumen einer Kugel, die durch oberflächlichen Verschleiß kleiner wurde wird mit der zweiten Gleichung beschrieben:

$$V_{MK, \text{reduziert}} = \frac{d_{MK}^3 \cdot \pi}{6} \cdot (1 - \text{Verschleiß})$$

$$d_{MK, \text{reduziert}} = \sqrt[3]{\frac{d_{MK}^3 \cdot \pi}{6} \cdot (1 - \text{Verschleiß}) \cdot \frac{6}{\pi}}$$

Setzt man den Durchmesser der durch Verschleiß im Durchmesser reduzierten Mahlkörper ins Verhältnis zum Durchmesser des originalen Mahlkörpers ergibt sich folgende Beziehung:

$$\frac{d_{MK, \text{reduziert}}}{d_{MK}} = \sqrt[3]{(1 - \text{Verschleiß})}$$

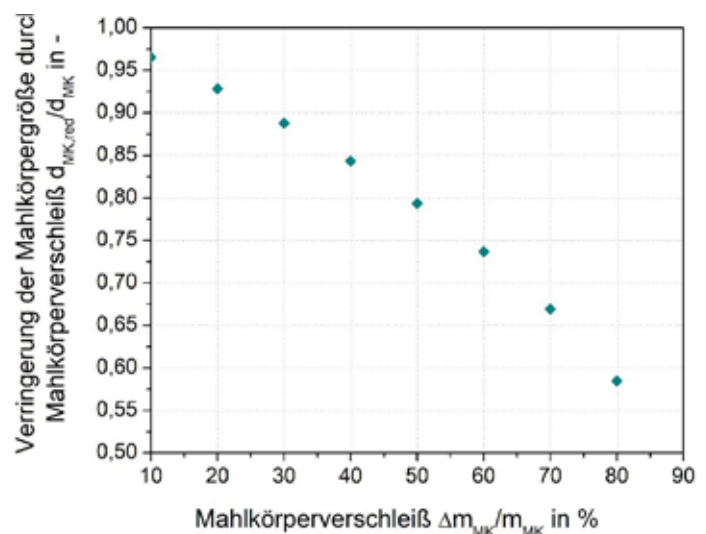
Stellt man diesen Zusammenhang über dem prozentualen Mahlkörperverschleiß dar, ergibt sich Abb. 6. Diese Überlegung verdeutlicht, dass auch nach einem insgesamt über den gesamten Prozesszeitraum angefallenen Mahlkörperverschleiß von 50%, die Mahlkörper noch immer einen Durchmesser aufweisen, der 79,4% der Originalgröße entspricht, wenn man von einem gleichmäßigen und ausschließlich an der Oberfläche der Mahlkörper stattfindendem Verschleiß ausgeht.

Diese Voraussetzung ist nur dann erfüllt, wenn ein Mahlkörperbruch ausgeschlossen werden kann. Ein Austausch der Mahlkörperschüttung oder ein Sieben der der Mahlkörperschüttung wird notwendig, wenn die Gefahr besteht, dass zu kleine Mahlkörper das Trennsieb zusetzen und blockieren oder dieses sogar passieren können. Ein anderer Aspekt ist die Steilheit der Partikelgrößenverteilung.

Durch die regelmäßige Messung des Mahlkörperverschleißes und die gewissenhafte Dokumentation der Nachfüllmenge mit Mahlkörpern der Originalfraktion kann eine sehr gute Prognose darüber abgegeben werden, wann ein Wartungseinsatz zum Mahlkörper-Tausch, bei dem die Maschine geöffnet werden muss, erfolgen sollte.

Abbildung 6

Entwicklung der Mahlkörpergröße in Abhängigkeit vom Verschleiß



3. EINFLUSS DER MAHLKÖRPERQUALITÄT

Applikationsunabhängig müssen Mahlkörper, die bei der Vermahlung in Rührwerkskugelmøhlen eingesetzt werden, besondere Anforderungen erfüllen. Diese Anforderungen sind im Wesentlichen:

- konstante Gefügeeigenschaften
- möglichst hohe Dichte
- hohe Härte, geringe Elastizität
- hohe Abrieb- bzw. Verschleißbeständigkeit
- Korrosionsbeständigkeit
- hohe Bruchzähigkeit

Zur Erfüllung dieser Anforderungen eignen sich insbesondere keramische Materialien, wie z.B. Zirkonoxid oder Aluminiumoxid.

Die Qualität der Mahlkörper beeinflusst im Wesentlichen den Mahlkörperverschleiß und die damit verbundene Produktkontamination. Es finden sich jedoch auch Mahlkörper minderer Qualität auf dem Markt, bei denen die Gefahr des Mahlkörperbruchs während des Betriebs der Rührwerkskugelmøhle besteht. Brechen Mahlkörper während des Betriebs führt dies zu einem Zusetzen des Siebes im Mahlkörpertrennsystem. Im ungünstigsten Fall können Bruchstücke in die Gleitringdichtung eindringen und dort zu schwerwiegenden Schädigungen führen. In jedem Mahlkörperbruch mit Stillstandzeiten, Produktionsausfall und häufig mit einem zusätzlichen Ersatzteilbedarf verbunden.

Ein weiteres Qualitätskriterium für Mahlkörper ist deren Oberflächenbeschaffenheit. Hochqualitative Mahlkörper verfügen über eine glatte Oberfläche. Mahlkörper, die mit einer rauen Oberfläche ausgeliefert werden, weisen in den ersten Betriebsstunden einen wesentlichen höheren Verschleiß auf, der dann mit zunehmender Betriebsdauer abnehmen kann.

NETZSCH-BEADS® sind die richtigen Mahlkörper für jeden Einsatzfall. NETZSCH-BEADS® werden von Herstellern hochqualitativer Mahlkörper eingekauft und nach interner Qualitätskontrolle als NETZSCH-BEADS® gebrandet. Die Mahlkörper unterliegen strengen Qualitätskriterien.

Da die Mahlkörper die eigentlichen Werkzeuge im Zerkleinerungsprozess sind, können Garantien und Leistungszusagen für die Møhlen nur gegeben werden, wenn sichergestellt ist, dass die verwendeten Mahlkörper über die entsprechende Qualität und Verschleißbeständigkeit verfügen.

MANAGER OF TECHNICAL AND SCIENTIFIC COMMUNICATION

DR. STEFAN MENDE

NETZSCH
Feinmahltechnik GmbH
Sedanstraße 70
95100 Selb | Deutschland

Tel.: +49 9287 797 215
Fax: +49 9287 797 149
Mobil: +49 172 881 2069
stefan.mende@netzsch.com
www.netzsch.com



QUELLENANGABEN

- [1] B. Joost
Zerkleinerung von Schmelzkorund und Mahlkörperverschleiß in Rührwerkskugelmøhlen, Dissertation, TU Braunschweig, 1995, ISBN 3-8265-0625-1
- [2] B. Joost, A. Kwade
Feinstzerkleinerung in Rührwerksmøhlen.
Das Keramiker-Jahrbuch 1996
- [3] J. Schwedes, A. Kwade, H.-H. Stender
Hochschulkurs Zerkleinern und Dispergieren mit Rührwerkskugelmøhlen Umdruck zum Hochschulkurs vom Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Kwade + Schwedes Zerkleinerungstechnik, Braunschweig, 2008
- [4] A. Kwade
Autogenzerkleinerung von Kalkstein in Rührwerksmøhlen. Dissertation, TU Braunschweig, 1996, ISBN 3-8265-2082-3
- [5] Mende, S., et al.
NETZSCH Kompendium, Zerkleinerung & Charakterisierung von Partikeln, September 2016



Die NETZSCH-Gruppe ist ein inhabergeführtes, international tätiges Technologieunternehmen mit Hauptsitz in Deutschland. Die Geschäftsbereiche Analysieren & Prüfen, Mahlen & Dispergieren sowie Pumpen & Systeme stehen für individuelle Lösungen auf höchstem Niveau. Mehr als 4000 Mitarbeiter in 36 Ländern und ein weltweites Vertriebs- und Servicenetz gewährleisten Kundennähe und kompetenten Service.

Dabei ist unser Leistungsanspruch hoch. Wir versprechen unseren Kunden Proven Excellence – herausragende Leistungen in allen Bereichen. Dass wir das können, beweisen wir immer wieder seit 1873.

Proven Excellence. ■

Geschäftsbereich Mahlen & Dispergieren – weltweit führende Mahltechnologie

NETZSCH-Feinmahltechnik | Deutschland
NETZSCH Trockenmahltechnik | Deutschland
NETZSCH Vakumix | Deutschland
NETZSCH Lohnmahltechnik | Deutschland
NETZSCH Mastermix | Großbritannien
NETZSCH FRÈRES | Frankreich
NETZSCH España | Spanien
ECUTEC | Spanien

NETZSCH Machinery and Instruments | China
NETZSCH India Grinding & Dispersing | Indien
NETZSCH Tula | Russland
NETZSCH Makine Sanayi ve Ticaret | Türkei
NETZSCH Korea | Korea
NETZSCH Premier Technologies | USA
NETZSCH Equipamentos de Moagem | Brasilien

NETZSCH-Feinmahltechnik GmbH
Sedanstraße 70
95100 Selb
Deutschland
Tel.: +49 9287 797 0
Fax: +49 9287 797 149
info.nft@netzsch.com

NETZSCH®

www.netzsch.com