

TROMMELMÜHLEN

Einleitung:

Trommelmühlen werden hauptsächlich zur Zerkleinerung des Aufgabeproduktes eingesetzt. Die Korngrößenreduzierung in einem solchen diskontinuierlichen Prozess ist mit der Oberflächenvergrößerung gleichzusetzen. Physikalisch betrachtet stellt sich der Mahl-Zerkleinerungsvorgang als laufende Erzeugung von Bruchflächen dar. Trommelmühlen zeichnen sich durch einen rotierenden Behälter aus, der mit Mahlkörpern (meist mit Mahlkugeln) und einem zu bearbeitenden Produkt bis zu einem nach Anwendung unterschiedlichen Grad gefüllt wird. Trommelmühlen gehören daher in die Klasse der Kugelmühlen.

Funktionsprinzip:

Kugelmühlen sind Geräte, bei denen ein Produkt einer Belastung durch (Mahl-)Kugeln ausgesetzt wird. Kugelmühlen unterscheiden sich im Wesentlichen durch die unterschiedliche Art dieser Belastung, die grundsätzlich in Scherung, Reibung und Kollision zu unterteilen ist, wobei eine klare Trennung nur selten möglich ist. Die Kugeln übernehmen dabei die Aufgabe, kinetische Energie von einem rotierenden Behälter (Rollenmühle, Ballmill oder Trommelmühle) oder einem rotierenden Rotor (Simoloyer®) auf das Produkt zu übertragen. In Kugelmühlen die einen hohen kinetischen Energieeintrag zulassen (Simoloyer®) erfolgt diese Übertragung vorwiegend durch Kollision frei fliegender Kugeln, in minderkinetischen Systemen (z.B. Trommelmühlen) überwiegend durch Scherung und Reibung in einem abrollenden bis kaskaden/katarakt-formig eingestellten Kugelpaket.

Anwendungsbereich:

Der Anwendungsbereich von Trommelmühlen reicht in Abhängigkeit eingestellter Parameter von Mischen, Dispergieren, De-Agglomerieren und Zerkleinern bis hin zur Beeinflussung der Gefügestruktur von Werkstoffen u.U. verbunden mit chemischen und mit Festkörperreaktionen, was zum Mechanischen Legieren führen kann. Aufgrund der relativ geringen Kinetik und der nicht überbrückbaren Barriere der kritischen Geschwindigkeit bei rotierenden Behältern ist letztere Anwendung allerdings extrem begrenzt und sollte besser in hochkinetischen Systemen durchgeführt werden. Trommelmühlen finden im Grunde ausschließlich industrielle Anwendung. Das reicht von Porzellan- oder keramisch ausgekleideten Mühlen für die chemisch-pharmazeutische und keramische Industrie, hier insbesondere die Farbpigment- und Glasurherstellung, bis hin zur Aufbereitung von Hartphasenwerkstoffen in Stahl-Mühlen oft mit Hartstoffbeschichtung. Hier kommen auch gummierte Mühlen zum Einsatz.

Optionen und Zubehör:

Zu den Trommelmühlen gehören Zubehör-Baugruppen wie Zufülllager, Sicherheitsventile und Kühl- oder Heizsysteme. Zuzuordnende Produkte sind Siebe/Schwingsiebe, Magnetfilter, Füllrichtungen, Mahlkörper, Kugelsortieranlagen und Rührwerke womit der gesamten Materialtransfer, das Produkthandling und der Anlagenbetrieb abgedeckt werden.

Aufbau einer Trommelmühle:

Die Trommelmühlen in Ständerbauart sind in einem Baukastensystem (122 Standardtypen, davon 14 Topfmühlentypen) aufgebaut und daher die günstigere der Bauformen. Die Ständer müssen allerdings immer auf einer Bodenplatte oder auf einem Fundament fest verankert werden. Bei Trommelmühlen in Kompaktbauart ist dieses nicht zwingend erforderlich, Trommelmühlen in Rahmenbauart sind für den Einbau in eine Etagendecke konzipiert.

Trommelmühlen unterscheiden sich nach folgenden Kriterien:

- das zu verarbeitende Produkt bestimmt den **Trommeltyp** bzgl. Werkstoff;
- die zu verarbeitende Produktmenge / Charge bestimmt die **Baugröße**;
- der Zustand des Produktes und der Prozess bestimmen die **Betriebsart** (Naß- oder Trockenbetrieb);
- der Prozess und insbesondere der Prozessablauf bestimmt über die Notwendigkeit von **Optionen**;
- die Aufstellmöglichkeit bestimmt die **Bauart**;

Trommeltyp (Mühlenfutter): $A = \text{Al}_2\text{O}_3$, $M = \text{Steatit}$, $G = \text{Gummierung}$, $T = \text{Hartporzellantopf}$, $S = \text{Manganstahl}$				
Baugröße: Mahlraumvolumen $V = x \cdot 100$ (z.B. $V = 10 \cdot 100 = 1000$ l)				
Betriebsart: $N = \text{Naßbetrieb}$ $T = \text{Trockenbetrieb}$				
Mahlkörper: $A = \text{Al}_2\text{O}_3$, $M = \text{Steatit}$, $G = \text{Al}_2\text{O}_3\text{-/Stahlkern gummiert}$, $P = \text{Hartporzellan}$, $S = \text{Stahl}$, $H = \text{Hartmetall}$				
Optionen: $z = \text{Zufülllager}$, $k = \text{Kühlmantel}$, $h = \text{Hubbalken}$, $s^* = \text{anwendungsspezifisch}$, (siehe Tabelle Optionen)				
A	10	N	A	1000 Liter Naßmühle / Aluminiumoxid-Futter / Aluminiumoxid-Kugeln
S	10	T	S	zk 1000 Liter Trockenmühle / Mn-Stahlwandung / Stahlkugeln / mit Zufülllager und Kühlmantel

Wirtschaftlicher Betrieb einer Trommelmühle:

In der Mahltrommel wirkt auf die Mahlkugeln neben der Gravitationskraft $m_k g_e$ auch die durch die Rotation hervorgerufene Zentrifugalkraft $m_k v^2 r^{-1}$, wobei v die Umfangsgeschwindigkeit der Trommel, und r der Radius der Kugelbahn ist. Das Zusammenspiel dieser Kräfte beschreibt das Verhältnis von Reibung und Schlag in einer Trommelmühle. Für eine feste Mühलगröße mit festgelegter Mahlkugel bezeichnet man die Drehzahl, bei der die Zentrifugalkraft gleich der Schwerkraft ist, als Kritische Drehzahl (n_k).

Der Trommeldurchmesser ist die wesentliche geometrische Komponente der Mahltrommel, da dieser bei fester Rotationsgeschwindigkeit die Umfangsgeschwindigkeit der Trommel bestimmt.

Zur Bestimmung der Mahlleistung / Volumen sind ferner die Füllparameter (Mahlkörperstückvolumen und Dichte, Mahlgutstückvolumen und Dichte sowie Füllgraden in % von Mahlkörper und Mahlgut) zu betrachten. Diese nehmen Einfluss auf die Kritische Geschwindigkeit des Systems. Der absolute Füllgrad (Mahlkörper und Mahlgut) entscheidet bei festgelegter Umfangsgeschwindigkeit (% n_k) über die verbleibende Fall- bzw. Abrollhöhe der Mahlkörper, die bei maximaler potentieller Energie die Umlaufbahn an der Abrisslinie verlassen. Bei festgelegten Mahlkörpern und Mahlgut bestimmt der absolute Füllgrad die Anzahl der Mahlarbeit leistenden Berührungspunkte.

In der Praxis werden Trommelmühlensysteme so eingestellt, das in etwa der Übergang zwischen Kaskaden- und Katarakt-Effekt erreicht wird, d.h. das Mahlkugeln gerade eben abheben, aber in jedem Fall innerhalb der Kugelfüllung wieder auftreffen. Dieser Zustand wird zwischen 60 und 80 % der Kritischen Drehzahl (n_k) erreicht wenn gleichzeitig der Füllgrad (Totalfüllmenge) zwischen 50 und 70 % einer Trommel mit dem Verhältnis Durchmesser : Länge von 1 eingestellt wird.

Füllrichtlinien für Trommelmühlen

Typen	Füllgrad [%] bis ca.	Füllgewicht [kg] bis ca. Mahlraumvolumen [l] x	Kugelanteil [kg] bis ca. Mahlraumvolumen [l] x
A+G+TxxNx	70	1,6	1,0
A+G+TxxTx	50	1,3	1,0
GxxNS	60	1,6	1,4
GxxTS	40	1,8	1,4
SxxNS	60	2,2	1,6
SxxTS	40	1,9	1,6