

Entscheidungskriterien für die Trockenaufbereitung von keramischen Rohstoffen und betriebswirtschaftlicher Vergleich mit dem plastischen Aufbereitungsverfahren

O. Jung, R. Bissot, U. Schnabel



Dipl.-Ing. Otto Jung (50) studierte allgemeinen Maschinenbau und ist seit 1973 bei der GEBRÜDER PFEIFFER AG in Kaiserslautern beschäftigt. O. Jung nahm in den Bereichen Verfahrenstechnik, Projektierung und Vertrieb Führungsaufgaben wahr und wurde am 1. Juli 1996 in den Vorstand der GEBRÜDER PFEIFFER AG berufen.



Dipl.-Ing. Roland Bissot (61) studierte Maschinenbau und Verfahrenstechnik an der TH MAGDEBURG. Zwischen 1959 und 1992 war er im SKET-ZEMENTANLAGENBAU in Dessau als Leiter der Konstruktionsabteilung für Aufbereitungsmaschinen und dann als Leiter der Hauptabteilung Konstruktion tätig. Seit 1992 arbeitet R. Bissot bei der GEBRÜDER PFEIFFER AG in Kaiserslautern im Außendienst für Kundenberatung und Verkauf. Als Spezialist für Aufbereitung befaßt er sich intensiv mit der Trockenaufbereitung von keramischen Rohstoffen.



Dipl.-Ing. Uwe Schnabel (58) studierte allgemeinen Maschinenbau und ist seit 1972 bei der Firma GEBRÜDER PFEIFFER AG beschäftigt. U. Schnabel ist als Projektleiter im Bereich Mahltrocknungsanlagen tätig. Er hat sich unter anderem auf dem Gebiet der Aufbereitung keramischer Rohstoffe spezialisiert.

Kurzfassung

In der Ziegelindustrie sind Produktqualität, Kosten und Innovationen wesentliche Wettbewerbsfaktoren. Produktqualität und Herstellkosten können bereits auf der Rohstoffseite entscheidend beeinflusst werden. Vor diesem Hintergrund kommt der richtigen Wahl des Aufbereitungsverfahrens hohe Bedeutung zu. Bei der Festlegung von opti-

malen Aufbereitungsprozessen sind Rohstoffressourcen, Rohstoffqualität, Rohstoffzusammensetzung und Produktpalette die wesentlichsten Entscheidungsfaktoren [1]. Durch den Einsatz von Trockenaufbereitungsanlagen können auch mit schwierigen Rohstoffen hochwertige und innovative Produkte hergestellt werden.

1 Einleitung

Am Beispiel eines 30 Mio Stck/a Dachziegelwerks werden Trockenaufbereitung und plastische Aufbereitung vergleichend gegenübergestellt. Bei schwierigen Rohstoffen fällt der Vergleich zugunsten der Trocken-, bei hochwertigen und sehr feuchten Tonen zugunsten der plastischen Rohstoffaufbereitung aus. Bei der Trockenaufbereitung entstehen jedoch noch zusätzliche, kostensenkende Effekte, die projektbezogen zu bewerten und zu berücksichtigen sind.

Die MPS-Walzenschüsselmühle ist das Zentralagregat eines Trockenaufbereitungsprozesses. Die Rohstoffe werden in dieser Maschine gleichzeitig getrocknet, gemahlen, gemischt und gesichtet [2-4]. Die Mahlfeinheit kann in weiten Grenzen variiert werden. Soweit erforderlich können unerwünschte, im Rohmaterial enthaltene Begleitstoffe kontinuierlich ausgeschleust werden. Bei sehr feuchten Rohstoffen wird der MPS-Mühle zusätzlich ein Trockner vorgeschaltet. Mühle und Trockner werden dann im Verbund betrieben [2]. Für die Trockenaufbereitung von Rohstoffen sind ausgereifte und betriebserprobte Techniken für alle heute in Frage kommenden Kapazitäten verfügbar. Aufgrund umfangreicher Betriebserfahrungen und ausgereifter Testmethoden können Trockenaufbereitungsprozesse sicher dimensioniert werden. Basis für die Dimensionierung sind Ergebnisse aus Mahlbarkeitsuntersuchungen und erprobte Berechnungsmethoden.

2 Rohstoffe

Für die Herstellung hochwertiger Produkte und den störungsfreien Betrieb von automatischen Produktionsanlagen müssen Rohstoffe bestimmte, möglichst gleichbleibende chemisch-mineralogische Eigenschaften aufweisen. Dies erfordert bereits im Vorfeld einer Investitionsentscheidung die genaue Kenntnis der Zusammensetzung der zum Einsatz kommenden Rohstoffe [1-3]

Tonmineralien und Mineralgehalt, Zusatzstoffe, Stückgröße, Korngrößenverteilung, Quarz-Kalkspat-, Pyrit-, Kohle- und Torfeinschlüsse, Grubenfeuchte und Grobanteile sind aus Sicht der Rohstoffauf-

bereitung wichtige Kenngrößen von keramischen Rohstoffen. Je nach Rohstoffvorkommen, Ausbeutungsgrad der Vorkommen, Sekundärrohstoffeinsatz oder Bezugsquelle ist eine gleichbleibende Rohstoffqualität am wirkungsvollsten und wirtschaftlichsten mit Trockenaufbereitungsverfahren zu erreichen. Der Mitverarbeitung der wachsenden Mengen unterschiedlicher Sekundärrohstoffe ist dabei in besonderem Maße Aufmerksamkeit zu schenken.

Produktqualität, Ausschußrate, Anlagenverfügbarkeit und Herstellkosten können bereits auf der Rohstoffseite entscheidend beeinflusst werden. Vor diesem Hintergrund kommt der Wahl des Aufbereitungsverfahrens hohe Bedeutung zu [1, 4, 5].

3 Trockenaufbereitung

Mit Trockenaufbereitungsverfahren können keramische Massen mit gleichbleibenden chemisch-mineralogischen Eigenschaften, auch beim Einsatz von schwierigen Rohstoffen oder Rohstoffgemischen, hergestellt werden. Bei diesem Verfahren werden alle Rohstoffkomponenten getrocknet, gemahlen, intensiv vermischt und gesichtet. Maximalkorngrößen und Korngrößenverteilungen können auch bei Zusatz von Hartstoffen unproblematisch eingestellt und in weiten Grenzen variiert werden. Störende und qualitätsbeeinträchtigende Begleitstoffe werden fein aufgemahlen und homogen verteilt unschädlich [1]. Je nach Begleitstoffkonzentration und Begleitstoffart können diese aber auch im Mahlprozeß vom Rohstoff abgetrennt, kontinuierlich aus dem Prozeß ausgeschleust und auf diesem Wege unschädlich gemacht werden. Betriebsergebnisse bei Begleitstoffaustrag sind beispielhaft in Tafel 1 aufgelistet. Das Herzstück dieser Trockenaufbereitungsanlagen sind MPS-Walzenschüsselmühlen mit Hochleistungssichtern. Der erzielbare Begleitstoffanreicherungsgrad im Begleitstoffaustrag ist 5- bzw. 10-fach bezogen auf 3,9 und 7,8 Masse-% Sodaunlösliche Bestandteile im Ursprungsrohstoff. Als zusätzlichen positiven Nebeneffekt ergibt sich eine auf 22 bzw. 45 % reduzierte spezifische Verschleißrate an den Mahlwerkzeugen der MPS-Mühle.

Bild 1 zeigt das typische Verfahrensschema einer Trockenaufbereitungsanlage. Die Rohstoffkompo-

Tafel 1: Begleitstoffaustrag bei Trockenaufbereitung von Ton

Mühle	Mahlleistung t/h	Begleitstoffaustrag t/h	Soda-unlösliche Bestandteile > 63 µm		Verschleißrate Begleitstoffaustrag	
			im Aufgabematerial %	im Begleitstoffaustrag %	ohne g/t	mit g/t
[A] MPS 125A	25	0,5	3,9	37,8	64,1 100 %	29,1 45,40 %
[B] MPS 112A	16-18	0,51	7,8	34,7	10,5 100 %	2,27 22,60 %

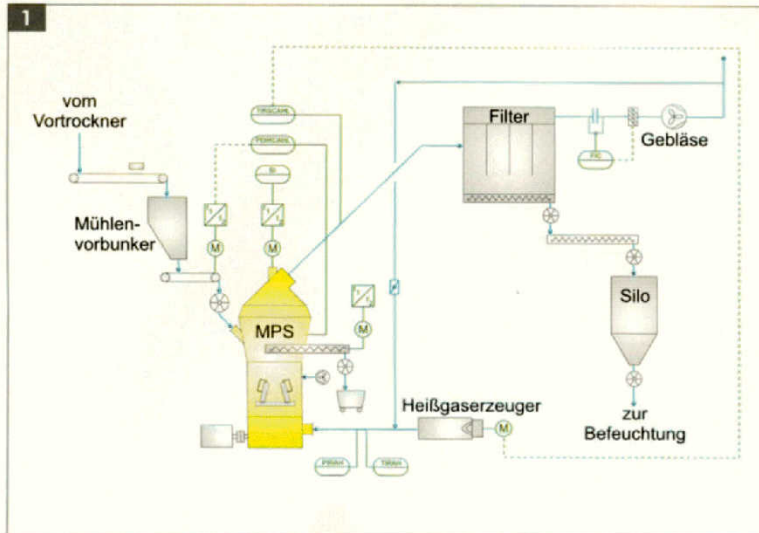


Bild 1
Mahltröcknungs-
anlage mit
MPS-Mühle

nennten werden in der gewünschten Zusammensetzung der MPS-Mühle aufgegeben und in der Mühle getrocknet, gemahlen, gemischt und gesichtet [2,5,6]. Das pulverförmige Produkt wird mit dem Gasstrom aus der Mühle ausgetragen, in einem nachgeschalteten Gewebefilter abgeschieden und in Silos zwischengelagert. Zur Minimierung des Wärmebedarfs wird die Abgasmenge der abzuführenden Wassermenge angepaßt. Die zur Trocknung des Rohstoffs notwendige Wärme kann in einem Heißgaserzeuger erzeugt oder auch einer sonst zur Verfügung stehenden Wärmequelle (z.B. Prozeßabgase) entnommen werden. Bei sehr feuchten Rohstoffen kann der Mühle zusätzlich ein Trommeltrockner vorgeschaltet werden. Mühle und Trockner arbeiten dann im Verbund. Der gesamte Anlagenbetrieb kann mit nur wenigen Regelkreisen automatisiert werden.

Bild 2
Vergleich
plastische mit
Trocken-
aufbereitung für
Dachziegel-
massen

Die Kriterien für eine Investitionsentscheidung zu Gunsten einer Trockenaufbereitung sind vielfältig

und müssen deshalb auch projektbezogen untersucht werden. Tafel 2 enthält eine rohstoff-, produkt- und brennverfahrenbezogene Aufstellung von allgemein gültigen Auswahlkriterien [1, 2, 4].

4 Trockenaufbereitung / plastische Aufbereitung

Am Beispiel eines 30 Mio Stck/a Dachziegelwerks werden Trockenaufbereitung und plastische Aufbereitung vergleichend gegenüber gestellt. Bild 2 zeigt



Tafel 2: Kriterien für den Einsatz der Trockenaufbereitung in der Ziegelindustrie

Restoff	Produkt	Herstellung
Rohstoffe, deren Begleitstoffe die Produktqualität beeinträchtigen	Herstellung von Ziegeln mit feinkeramischer Gefügeausbildung hohe Scherbendichte, niedrige Wasseraufnahme geringe Wanddicke	Herstellung von Ziegeln im Schnellbrand
Herstellung der Verwendbarkeit durch Feinmahlung < 200 µm (bezogen auf Kalk, Pyrit, Markasit, Holz, Kohle)	Herstellung von dünnstegigen Hochlochleichtziegeln (Stegdicke < 4 mm)	
Herstellung der Verwendbarkeit durch Abscheidung von Pyrit, Markasit und / oder Quarz	Herstellung von Ziegeln mit Mikroporosierung durch Kalk	
Zugabe von Hartstoffen zum Tonrohstoff wie z.B. Granit- oder Diabasbrechsand, Brennbruch u.a. Feinmahlung bei gleichzeitig intensiver Vermischung		

ein Blockdiagramm der beiden Aufbereitungsvarianten. Anzahl von Maschinen und Verfahrensschritten sind bis zur pressfertigen Masse für beide Systeme in etwa gleich. Während bei der plastischen Aufbereitung mehrstufig gemahlen werden muß, um Maximalkorngrößen von 0,6 mm zu erreichen, können mit der Trockenaufbereitung bei einstufiger Mahlung und Sichtung Maximalkorngrößen $< 0,2$ mm unproblematisch hergestellt werden. Am Ende der plastischen Aufbereitung steht pressfähige Masse, am Ende der Trockenaufbereitung ein Massepulver zur Verfügung. Aus dem Massepulver wird dann durch gezieltes Anfeuchten eine sehr homogene Pressmasse hergestellt. Der umbaute Raum zur Aufstellung von Maschinen und Ausrüstungen ist für beide Prozeßvarianten in etwa gleich.

Die Wahl des Aufbereitungsverfahrens ist unter technischen und betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten zu treffen. Bei sehr schwierigen Rohstoffen dominieren eher technische, bei hochwertigen und sehr feuchten Rohstoffen eher betriebswirtschaftliche Aspekte die Investitionsentscheidung. Bild 3 zeigt den Betriebskostenvergleich zwischen Trockenaufbereitung und plastischer Aufbereitung für ein 30 Mio Stck/a Dachziegelwerk. Der Vergleich zeigt nennenswerte Abweichungen bei Abschreibungskosten und kalkulatorischen Zinsen sowie den Kosten für die thermische Energie. Während bei der Trockenaufbereitung die Investitionskosten und in der Folge Abschreibung und kalkulatorische Zinsen günstiger sind, entfallen bei der plastischen Aufbereitung Kosten für thermische Energie. Betriebskostenneutralität ergibt sich bei einer durchschnittlichen Rohstofffeuchte von 10–12 %. Bei geringeren Feuchten ergeben sich Vorteile für die Trocken-, bei höheren für die plastische Aufbereitung.

Bei der Trockenaufbereitung können zusätzliche kostensenkende Effekte wie größere nutzbare Rohstoffressourcen, geringerer Rohstoffeinsatz, geringere Ausschußquote, und Gebrauchswertsteigerung von Erzeugnissen entstehen. Aufgrund von Massequalitätsverbesserungen im Trockenaufbereitungsprozeß können ggf. auch Rohstoffe von entfernt gelegenen Lagerstätten durch Rohstoffe aus dem Nahbereich der Ziegelwerke substituiert werden. Diese Möglichkeit bietet einen zusätzlichen Ansatzpunkt zur Kostensenkung.

5 MPS-Walzenschüsselmühle

In Bild 4 ist das Konstruktions- und Funktionsprinzip einer MPS-Walzenschüsselmühle dargestellt. Drei ortsfeste Mahlwalzen rollen auf der sich drehenden Mahlschüssel ab. Das Material wird von den Mahlwalzen durch Druck und Schub zerkleinert. Der Mahldruck wird von einem hydropneumatischen Spannsystem erzeugt und ist in weiten Grenzen einstellbar [1].

Das zerkleinerte Mahlgut wird von der rotierenden Mahlbahn auf den feststehenden Düsenring gefördert, von den Heißgasen getrocknet und zum Sichter transportiert. Im Sichter erfolgt eine Trennung in Feingut und Grieße. Das Feingut wird durch den Gasvolumenstrom ausgetragen, die Grieße hingegen werden im Grieskonus abgeschieden und wieder dem Mahlprozess zugeführt. Über den Gries-

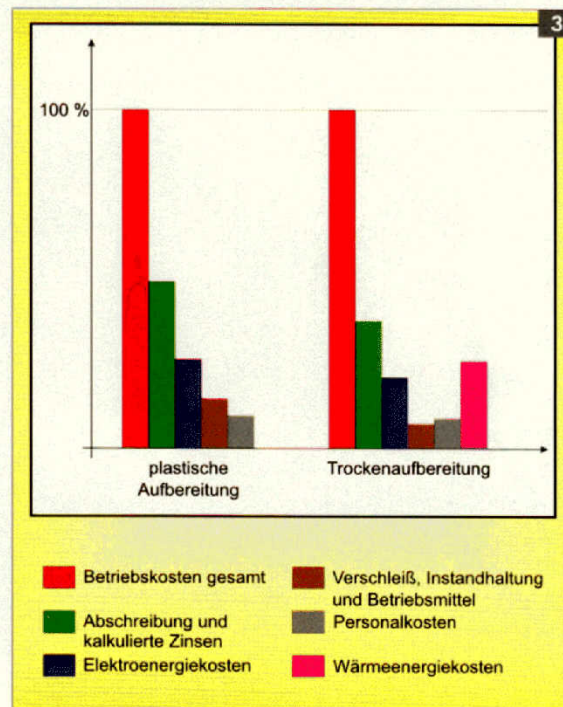


Bild 3
Betriebskostenvergleich bei 12 % Rohstofffeuchte

serücklauf können bei Bedarf auch unerwünschte Begleitstoffe gezielt ausgetragen werden. Die auszutragende Menge wird mit einer speziellen Dosierschnecke geregelt.

Im Gegensatz zum Pendelmühlensystem kann bei der MPS-Mühle die Mahlkraft völlig unabhängig

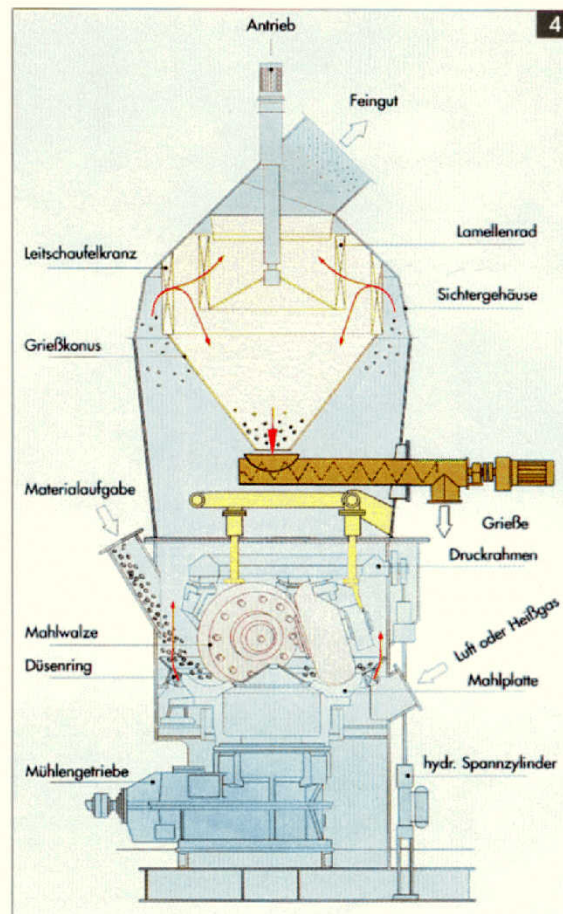


Bild 4
MPS-Mühle mit Grießeaustrag

von der Mahlbahngeschwindigkeit eingestellt werden. MPS-Mühlen können deshalb auch Rohstoffgemische vermahlen, bei denen die Einzelkomponenten sehr verschiedene Mahlbarkeiten aufweisen.

6 Dimensionierung von Trockenaufbereitungsanlagen

Die Mahlbarkeit des jeweiligen Rohstoffs ist die Grundlage für die Dimensionierung industrieller Mahlanlagen. Es kommt also darauf an, die mit dem Begriff Mahlbarkeit bezeichneten Eigenschaften des Mahlguts zuverlässig zu erfassen. Am zweckmäßigsten wird die Mahlbarkeit in einer halbindustriellen Mahlanlage bestimmt, in der sich möglichst genau die Bedingungen der geplanten Betriebsanlage simulieren lassen. Die außerordentlich gute Korrelation von Betriebs- und Testergebnissen bestätigt die Zuverlässigkeit dieser Testmethode.

Die Erfahrung mit vielen Betriebsanlagen unterschiedlichster Größe hat auch gezeigt, daß der spezifische Arbeitsbedarf am Antrieb von Walzenschüsselmühlen nur vom Mahlgut und nicht von der Maschinengröße abhängig ist. Dies vorausgesetzt, kann die Antriebsleistung einer geplanten Betriebsanlage, wie folgt, berechnet werden.

$$P_B = W_{mMT} \cdot m_{FB} \quad (1)$$

Die Antriebsleistung kann andererseits auch aus einem mahlgut- und mahlfeinheitsabhängigen Faktor, der Mahlkraft, der Anzahl der Mahlwalzen und der Mahlgeschwindigkeit berechnet werden.

$$P_B = f_{MT} \cdot F_{WB} \cdot z_B \cdot V_{SB} \quad (2)$$

Die Gleichung (2) läßt sich aus den allgemein bekannten Gesetzmäßigkeiten der Kinetik herleiten

$$P = M_d \cdot \omega = F \cdot (D/2) \cdot (\pi \cdot n/30) = F \cdot V \\ F \sim f_{MT} \cdot F_{WB} \cdot z_B$$

Setzt man Gleichung (1) gleich Gleichung (2) ein so wird deutlich,

$$W_{mMT} \cdot m_{FB} = f_{MT} \cdot F_{WB} \cdot z_B \cdot V_{SB} \quad (3)$$

daß im Mahltest zwei mahlgutabhängige Größen (W_{mMT} , f_{MT}) gemessen werden. Diese beiden Größen beschreiben für Walzenschüsselmühlen die mit Mahlbarkeit bezeichneten Eigenschaften eines Mahlguts. Walzenkraft, Anzahl der Mahlwalzen und Mahlgeschwindigkeit können heute auch ohne Mahltest, aufgrund umfangreicher Erfahrungswerte mit hinreichender Genauigkeit festgelegt werden. Spezifischer Arbeitsbedarf W_{mMT} und mahlgutabhängiger Faktor f_{MT} müssen jedoch nach wie vor mit relativ aufwendigen Tests für jedes Mahlgut ermittelt werden.

Um das beim Zerkleinerungsvorgang erzeugte Feingut auszutragen, den mühleninternen Mahlgutkreislauf aufrecht zu erhalten und das Mahlgut zu trocknen muß das Mahlssystem mit heißen Gasen durchströmt werden. Der aus zerkleinerungstechnischen Gesichtspunkten erforderliche spezifische Gasvolumenstrom wird im Test, der aus trocknungstechnischen Gesichtspunkten erforderliche im Rechenverfahren bestimmt. Der sich aus beiden Bestimmungsverfahren ergebende höhere Wert wird auf die Betriebsmühle übertragen.

Formelzeichen:

- P_B = Antriebsleistung der Betriebsmühle
- w_{mMT} = spezifischer Arbeitsbedarf der Testmühle
- m_{FB} ; m_{FT} = Feingutmassenstrom für die Betriebsmühle sowie Testmühle
- f_{MT} = Mahlgut- und mahlfeinheitsabhängiger Faktor aus Test
- F_{WB} ; F = Mahlkraft je Mahlwalze der Betriebsmühle; allgemein
- z_B = Anzahl der Mahlwalzen je Betriebsmühle
- V_{SB} ; V = Mahlbahngeschwindigkeit der Betriebsmühle; allgemein
- M_d = Drehmoment
- ω = Winkelgeschwindigkeit
- D_{SB} ; D_{ST} = Mahlbanddurchmesser der Betriebsmühle bzw. der Testmühle
- n = Drehzahl der Mahlschüssel

Literatur

- [1] Ch. Kokot: Jahrbuch für die Ziegel-, Baukeramik- und Steinzeugröhren- Industrie, 1993
- [2] H. Sillem, U. Schnabel: Feinaufbereitung von Qualitätstonen mit Walzenschüsselmühlen und Dreizug-trocknern, cfi/Ber. DKG 65 (1988) [11/12] 503-9
- [3] R. Bissot, U. Schnabel: Verwendung problematischer Ziegelrohstoffe unter Beachtung betriebswirtschaftlicher Aspekte Ziegelind. Int. 50 (1997) [5]
- [4] R. Bissot, U. Schnabel: Trockenaufbereitung keramischer Rohstoffe für die Grob- und Feinkeramik cfi/Ber.DKG 76 (1999) [3] 12-14
- [5] G. Nasseti, G. Brighenti, H. Sillem: Innovatives Verfahren zur Trockenaufbereitung von Pulvern für rote und weiße Fliesenmassen, cfi/Ber. DKG 70 (1993) [1/2] 10-13
- [6] R. Bissot, U. Schnabel: Trockenaufbereitung in der Ziegelindustrie, Ziegelind. Int. 49 (1996) [3] 173-78