



DRUCKGEFÄSSFÖRDERER ZUR PULSATIONSARMEN DOSIERUNG UND FÖRDERUNG

von K. Schneider

veröffentlicht im Jahrbuch Dampferzeugertechnik 1989, S. 506-516

1. Einleitung (Ausgangslage)

Das Dosieren von Schüttgütern ist in vielen Fällen mit dem Transport des Materials zur Abgabestelle verbunden. Dabei muß oft von einer Aufgabestelle auf mehrere Abgabestellen verteilt werden. Hier bieten sich kombinierte Verfahren zur gleichzeitigen Dosierung und Förderung an. Ein bekanntes und oft genutztes Transportverfahren ist die pneumatische Förderung von Schüttgütern.

Die Dosierung, d.h. die Gutaufgabe in die Förderleitung erfolgt in den allermeisten Fällen mechanisch durch Schnecken- oder Zellenradzuteiler. Die Kombination beider Verfahren hat sich in vielen Einsatzfällen bewährt und ist Stand der Technik. Erhöhte Anforderungen an Dosiergenauigkeit und weitgehende Pulsationsfreiheit können damit jedoch nicht abgedeckt werden.

Die Versorgung von Steinkohlenzündbrennern [1, 2] ist beispielsweise mit der oben erwähnten Standardkombination nicht mehr betreibbar. Entsprechende Versuche mit einer Zellenraddosierung brachten keine befriedigenden Ergebnisse. Da die Flammenüberwachung auf Intensitätsschwankungen mit der Abschaltung des Brenners reagierten, sind selbst höherfrequente Schwankungen, wie sie durch die unregelmäßige Kammerentleerung bei Zellenrädern hervorgerufen werden für eine sichere Anlagenfunktion untragbar.

Daher wurde ein neues Dosiersystem entwickelt und gebaut. Dieses System kann nicht nur dosieren und fördern, sondern ist auch in der Lage, verschiedene Verbrauchs- oder Eintragstellen von einer Aufgabestelle aus zu versorgen. Anders als die oben beschriebene Standardkombination arbeitet das neue MDS-Verfahren (Mehrfach-Dosier-System) rein pneumatisch, d.h. es gibt weder mechanische Dosierorgane noch mechanische Verteiler.

Der grundsätzliche Aufbau sowie Erfahrungen mit einem solchen Mehrfach-Dosier-System (MDS) sollen hier beschrieben werden.

2. Ansprüche an eine pneumatische Dosierförderung (Aufgabe)

Welche Ansprüche werden denn nun an Dosierung und Förderung gestellt ?

Eine pneumatische Dosierförderung sollte neben hoher Mengenkonstanz weitere Ansprüche befriedigen. Hier sind vor allem folgende Kriterien zu nennen:

- möglichst geringer apparativer und regeltechnischer Aufwand

- niedrige Betriebs- und Energiekosten
- Zuverlässigkeit und geringer Verschleiß des Systems
- kontinuierliche Versorgung mehrerer Empfangsstellen von einer Aufgabestelle aus
- Zu- und Abschalten einzelner Empfangsstellen während des Anlagenbetriebes.

Im Hinblick auf die pneumatische Dosierförderung läßt sich dazu folgendes feststellen:

Der apparative und regeltechnische Aufwand ist natürlich für volumenabgrenzende Dosierer wie Zellenrad oder Schnecke am geringsten, jedoch lassen die unvermeidbaren Dosierstromschwankungen den Einsatz dieser Aggregate nicht immer zu. Die Betriebs- und Energiekosten für eine rein pneumatische Dosierförderung sind vergleichsweise geringer als die für z.B. mechanische Dosierung mit anschließender pneumatischer Förderung. Da rein pneumatische Dosierförderer keine im Feststoffstrom drehenden Teile enthalten, ist deren Verschleiß niedriger und die Zuverlässigkeit entsprechend höher.

Insbesondere gilt das zuvor Gesagte für Dichtstrom-Förderungen wegen der dort auftretenden relativ hohen Beladungen. Unter Beladung ist hier das Verhältnis von Feststoff- zu Gas-Massenstrom zu verstehen.

Die kontinuierliche Versorgung mehrerer Empfangsstellen von nur einer Aufgabestelle aus ist bei der pneumatischen Dosierförderung ohne nachgeschaltete Verteiler möglich. Sind die Widerstände der parallelgeschalteten Rohrleitungen gleich, fließen auch gleiche Massenströme an Gas und Feststoff durch die einzelnen Stränge. Das Zu- und Abschalten einzelner Förderstränge vergrößert den Einsatzbereich, da Zwischenzustände oder Teillasten relativ einfach angefahren werden können.

3. Vorstellung des MDS-Systems (Lösung)

Um die vorgenannten Ansprüche befriedigen zu können, wurde ein Druckgefäßfördersystem konzipiert, welches in Bild 1 dargestellt ist.

Dieses System erlaubt die kontinuierliche Versorgung einer oder mehrerer Empfangsstellen von einem Aufgabebehälter aus und ist insbesondere für die Dosierförderung feinkörniger und pulvriger Schüttgüter wie z. B. Kohle, Asche oder Kalkprodukten geeignet.

Die im Bild 1 gezeigte Anlage wurde für die Versorgung von Kohlenstaub-

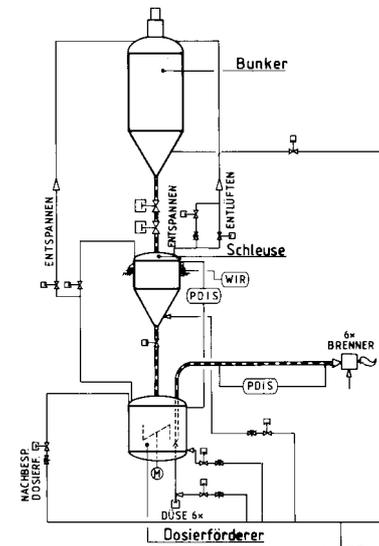


Bild 1: Verfahrensschema der Dosieranlage

Zündbrennern mit fein aufgemahltem Steinkohlenstaub ausgelegt. Die wichtigsten technischen Daten der Anlage sind in Tafel 1 zusammengefaßt. Die Gesamtanlage und Erfahrungen mit der Zünd-

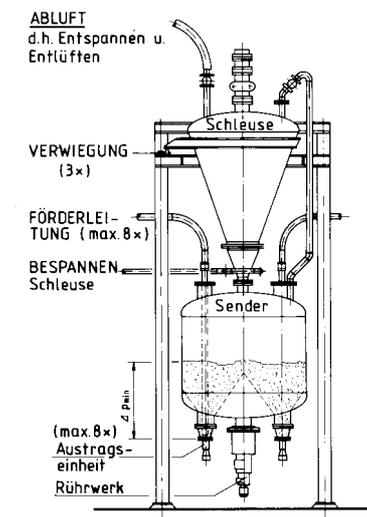


Bild 2: Grundsätzlicher Aufbau des Mehrfach-Dosier-Systems

feuerung wurden bereits an anderer Stelle veröffentlicht [1, 2].

Insgesamt 6 (maximal 8) Brenner können von einem Dosiersystem versorgt werden. Bild 2 zeigt schematisch den Aufbau des Mehrfach-Dosier-Systems und ermöglicht so die Zuordnung zum Verfahrensschema Bild 1.

Jede Förderleitung versorgt einen Brenner. Da die Brenner untereinander

gleich sind, mithin auch die gleiche Brennstoffmenge benötigen, wurden die Rohrleitungswiderstände sorgfältig angeglichen. Jede Förderleitung hat eine eigene Differenzdruckmessung auf die im folgenden noch näher eingegangen wird.

Der einstellbare Durchsatzbereich ist vom Material abhängig und liegt bei ca. 2:1 bis 4:1.

Bild 4 zeigt exemplarisch den Massenstrom, die Beladung und den korrespondierenden Behälterdruck für einen

Anzahl der Förderleitungen	1 – 8
Durchsatz pro Förderleitung	200 – 3500 kh/h
Beladung	10 – 60 kg/kg
Förderleitungslänge	10 – 60 m
Druckverlust der Förderleitung möglicher Gegendruck	0,5 – 4 bar
Gasgeschwindigkeit (Austritt)	8 – 20 m/s
mittlerer Partikeldurchmesser	0,04 – 1 mm
Schüttdichte	250 – 1.600 kg/m ³

Tabelle 1: Technische Daten zum Mehrfach-Dosier-System MDS

Alle Förderleitungen münden in sogenannten Austrageinheiten, welche gleichmäßig verteilt am Boden des Sendegefäßes montiert sind.

Über pneumatisch betätigte Düsen können die einzelnen Stränge zu- oder abgeschaltet werden. Für eine gleichmäßige Verteilung des Schüttgutes im Sender sorgt ein elektromotorisch angetriebenes Rührwerk. Der Senderinhalt wird über Niveausonden kontrolliert. Der Druck im Sender wird mittels Druckaufnehmern überwacht.

Um einen kontinuierlichen Betrieb der Anlage zu ermöglichen, wird über dem Sendegefäß ein sogenannter Schleusbehälter als Druckwechseinheit angeordnet. Dieser sorgt bei Anforderung durch die Niveauüberwachung des Dosierenders für Materialnachschub ins Sendegefäß.

Bevor auf den genauen Taktplan des Fördersystems eingegangen wird, sollen zunächst die Austrageinheit und deren Regelverhalten beschrieben werden.

3.1. Beschreibung der Austrageinheit

Die Austrageinheit ist das eigentliche Herzstück des Dosierförderers und wird am unteren Teil des Druckgefäßes montiert. Bild 3 zeigt den schematischen Aufbau einer Austrageinheit, die durch zwei Merkmale gekennzeichnet ist:

- Die Aufteilung der zugeführten Gasmenge in zwei Teilgasströme (Austragsgas V_A und Fördergas V_F)
- die mittels pneumatischem Zylinder höhenverstellbare Düse

Durch die Aufteilung des Gesamtgasstromes in Fördergas V_F und Austragsgas V_A ist die Möglichkeit einer Durchsatzänderung gegeben. Bei konstantem Gasstrom wächst die pro Zeiteinheit ausgebrachte Feststoffmenge mit steigendem Austragsgasanteil. (Da das Trägergas nicht unbedingt immer Druckluft sein muß, wird im folgenden allgemein von Gasstrom gesprochen).

Kohlenstaub, abhängig vom Austragsgasanteil. Die verstellbare Düse dient zur Absperrung der Förderleitung vom Behälter. Dazu wird die Düse mittels eines pneumatischen Zylinders direkt auf die Förderleitung gefahren. So wird der Feststoffstrom unterbrochen und die Leitung kann freigeblasen werden. Der Abstand von Boden und Förderleitungsanfang wird so dimensioniert, daß größere Fremtteile nicht eingetragen werden und zu Verstopfungen führen können. Der Behälter bleibt dabei unter Druck, so daß durch einfaches Auffahren der Düse die Feststoffförderung wieder fortgesetzt werden kann.

Die Absperrung einzelner, beliebiger Förderleitungen ermöglicht so z.B. auch das Fahren von Teillasten, d.h. einzelne Brenner oder Brennergruppen können

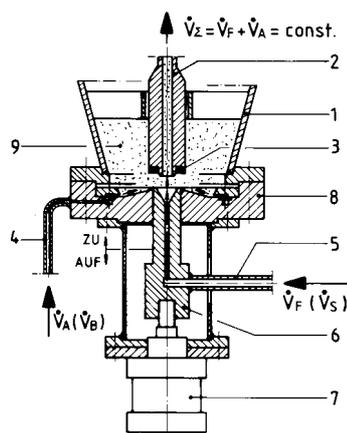


Bild 3: Die Austrageinheit

wahlweise zu- oder abgeschaltet werden. Die stillgesetzten Förderleitungen der Brenner können dabei durch die geschlossene Düse ständig mit Spülgas V_S (z. B. zur Kühlung) versorgt werden.

3.2. Änderung und Überwachung des Feststoffdurchsatzes

Der Feststoffdurchsatz in der Förderleitung läßt sich bei vorstehend beschriebener Austrageinheit in sehr einfacher Weise ändern und überwachen. Mecha-

nisch bewegte Teile oder Fluidisierung der Schüttung mit all ihren bekannten Nach-

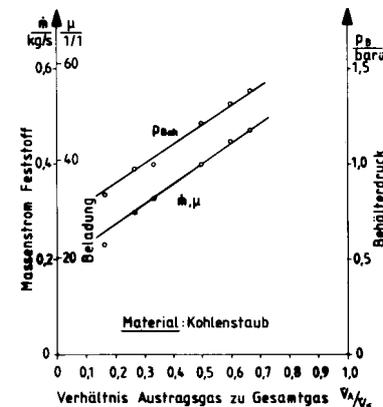


Bild 4: Durchsatzdiagramm für eine Förderleitung

teilen sind daher nicht erforderlich.

Bild 3 zeigt, daß der ankommende Gasstrom (Summengas) in zwei Teilgasströme (Fördergas und Austragsgas) aufgespalten wird. Das Fördergas V_F tritt direkt zentrisch in das untere Ende der Förderleitung ein und übernimmt eine Träger- und Verdünnungsfunktion für das mit dem seitlichen Austragsgasstrom V_A einfließende Schüttgut. Dabei wird auf eine Fluidisierung bewußt verzichtet. Der Materialfluß in die Förderleitung wird zum einen durch den Entzug der Stützkkräfte für die Materialschüttung entlang des Bodens und zum anderen durch die Impulsübertragung des mit relativ hohen Geschwindigkeiten ringförmig austretenden Gasstrahles übernommen.

Erläuterungen zu Bild 3:

- 1 = Fördergefäß
- 2 = Förderleitung
- 3 = Dichtung
- 4 = Anschluß für Austragsgas / Bespanngas
- 5 = Anschluß für Fördergas / Spülgas
- 6 = Höhenverstellbare Düse (Auf-Zu)
- 7 = Pneumatikzylinder für Düsenverstellung
- 8 = Ausstragboden mit Ringspalt und Führungsfläche für Austragluft
- 9 = Feststoff / Schüttgut

Um über den gesamten Regelbereich stabile Förderbedingungen in den Feststoffleitungen verwirklichen zu können, wird die Gesamtgasmenge \dot{V}_Z konstant gehalten. Dies bedeutet konstante Geschwindigkeit am Leitungsaustritt und unterschiedliche Drücke bzw. Geschwindigkeiten am Förderleitungsanfang. Die Beladung, d. h. das Verhältnis von Feststoff zu Gasdurchsatz, wird variiert. Ein Beispiel hierfür ist in Bild 4 angegeben. Man erkennt, daß eine nahezu lineare Abhängigkeit zwischen Feststoffdurchsatz



und dem Verhältnis Austragsgas zu Gesamtgas besteht. Gleiches gilt für den korrespondierenden Behälterdruck.

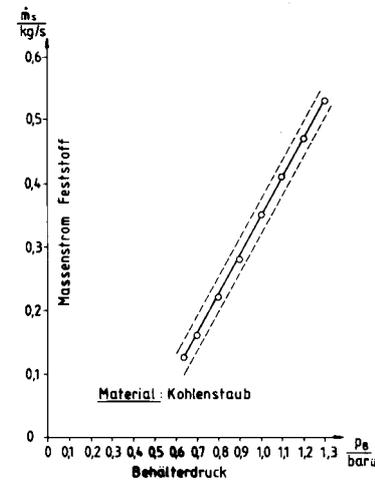


Bild 5: Feststoffmassenstrom als Funktion des Behälterdruckes

Die gezeigten Kurven sind reproduzierbar anzufahren, aber von dem zu dosierenden Feststoff abhängig. Entsprechende Eichkurven müssen aber für jeden Feststoff aufgenommen werden. Schüttgutabhängig verändert sich auch die Form der Kurve, d. h. manche Eichkurven sind nicht mehr linear, sondern haben z. B. einen parabolischen Verlauf.

Auch die Grenzen für den maximalen Austragsgasanteil sind von Material zu Material unterschiedlich. Während zum Beispiel körnige Schüttgüter mit Austragsgasanteilen von bis zu 95 % gefördert werden können, liegen die Grenzen für feinkörniges Gut bei ca. 80 % oder noch darunter. Überschreitet man diese Grenzwerte, so kann die Förderleitung verstopfen.

Bild 5 zeigt den Feststoffmassenstrom als Funktion des Behälterdruckes. Hier wurde bei Voreinstellung des Austragsgasanteils der korrespondierende Behälterdruck stabilisiert. Dazu wird, wie in Bild 1 gezeigt, das Ersatzgas durch den Anschluß „Nachbespannen“ dem Dosiersender zugeführt. Der Abzug des Feststoffes nach unten in die Förderleitungen vergrößert nämlich das Gasvolumen oberhalb der Schüttung und führt bei fehlender Durchströmung von unten zu Druckabsenkungen. Diese Druckschwankungen beeinflussen direkt den Massendurchsatz, können aber durch Zugabe von Ersatzgas oberhalb der Schüttung aufgefangen werden.

Der Massenstrom durch die Förderleitung wird, wie in Bild 5 dargestellt, dadurch sehr konstant und die Güte der Dosierung nochmals verbessert. Mit einer überlagerten Druckregelung lassen sich feststoffabhängige Dosierfehler von weniger als 2-5 % erreichen.

3.3. Betriebsablauf beim Mehrfach-Dosier-System MDS

Bei Materialanforderung durch eine oder mehrere Verbrauchsstellen öffnen die Düsen der entsprechenden Austrags-einheiten nach Aufschalten der zugeordneten Gasströme.

Vorbedingung hierfür ist ein ausreichender Druck im Dosiersender. Wird ein bestimmter Füllstand, in Bild 2 als ΔP_{\min} gekennzeichnet, unterschritten, muß Material nachgezogen werden. Dazu wird die drucklose Schleuse mit Material aus einem Vorratsbunker befüllt (vergleiche Bild 6). Anschließend wird der Schleusebehälter bis zur Druckgleichheit mit dem Dosiersender bespannt. Dann öffnet sich die Überströmleitung zwischen Schleuse und Sender sowie die Materialabsperklappe und das Material fließt in den Dosiersender. Nach Ende des Schleusvorganges wird das Schleusgefäß wieder vom Sendegefäß abgekopp-

Bild 6: Druckverlauf bei MDS

pelt und auf Umgebungsdruck entspannt.

Insbesondere bei feinen kohäsiven Stäuben kann der verdichtete Staub schlecht oder gar nicht aus dem Schleusgefäß auslaufen. Wirksame Abhilfe schafft hier ein besonderes Besspannverfahren für die Schleuse. Dabei wird z.B. schon während des Befüllens auf eine Gasanreicherung im Schüttgut geachtet. Erst dieses, an einer Versuchsanlage entwickelte und erprobte Verfahren, hat einen reibungslosen und störungsfreien Gesamtablauf der Förderung ermöglicht.

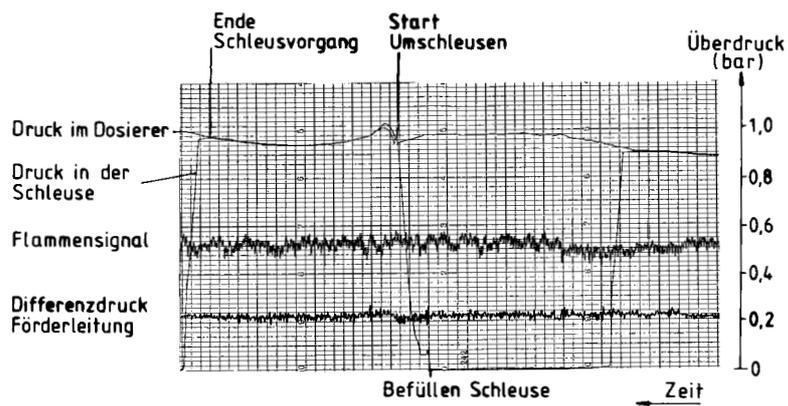
Durch Verwiegung der Dosierbehälter wird der gesamte Dosierstrom für alle Leitungen erfaßt. Bei mehreren Förderleitungen werden die einzelnen Stränge getrennt über Differenzdruckmessungen kontrolliert.

4. Erste Ergebnisse mit MDS

4.1. Druckmessungen und Pulsationen

Bild 6 zeigt den schon erwähnten Druckverlauf im Dosiersystem. Neben den Behälterdrücken ist dort auch der Differenzdruck einer Förderleitung nebst zugehörigem Flammenwächtersignal aufgezeichnet. Da bei diesem Aufschrieb die Druckstabilisierung noch nicht realisiert war, sieht man deutlich den Einfluß der Behälterdruckschwankungen auf die Differenzdruckmessung. Entsprechende Massenstromschwankungen (bis ca. 8 %) waren die Folge. Durch die Druckstabilisierung konnten, wie bereits unter 1.3.2. beschrieben, die Dosierfehler entscheidend verringert werden.

Die Förderung selbst war, wie ein Blick auf Bild 6 zeigt, äußerst pulsationsarm und in keinem Fall Ursache für ein Ansprechen des Flammenwächters.



4.2. Durchsatzleistung und -verteilung

In Bild 7 sind die Förderleistungen der einzelnen Stränge (6fach Dosiersystem) aufgetragen. Für die Einstellung der Förderleistung war die Brennerstabilität ausschlaggebend, so daß bestimmte Abwei-

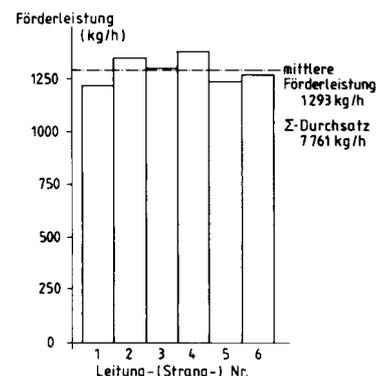


Bild 7: Durchsatzverteilung beim 6-fach-Dosiersystem

chungen durchaus beabsichtigt waren. Die Mindestschütthöhe im Behälter und die damit verbundene Druckdifferenz zwischen den einzelnen Austragsseinheiten gestattet nämlich je nach Feststoff eine Vertrimmung von bis zu 15 % der jeweiligen Durchsatzleistungen.

4.3. Betriebsablauf und Zuverlässigkeit

Die einzelnen Leitungen werden mittels einer Differenzdruckmessung überwacht. Eine Steuerung oder Regelung mit dem Differenzdruck als Istwertgeber ist Stand der Technik [3], wurde im vorliegenden Fall jedoch nicht realisiert. Die Überwachung beschränkt sich auf mögliche Druckschwankungen in der Leitung, d.h. sich ankündigende Verstopfungen. Diese werden signalisiert und bewirken ein Zufahren der Düse bei gleichzeitiger Spülgaserhöhung. Die beginnende Ver-

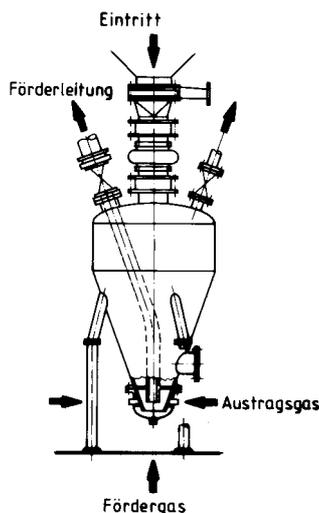


Bild 8: Pneumatischer Dosiersender

stopfung kann so in jedem Fall aufgelöst werden. Eine Störung durch blockierte Förderleitungen wurde bisher nicht beobachtet.

Auch das Nachziehen von Material aus der Schleuse in den Dosiersender verläuft mit dem erwähnten Steuerungsablauf problemlos. Sollte trotzdem einmal eine Schleusenfüllung nicht vollständig in den Dosierbehälter entleert werden, kann das Schleusprogramm wiederholt und das verbliebene Schüttgut beim zweiten Durchlauf umgeschleust werden.

Kontakt

Ingenieurbüro Klaus Schneider • Niehler Straße 151–153 • D- 50733 Köln
Telefon: (+49) 221 - 7 12 41 33 • Telefax: (+49) 221 - 7 12 41 55
E-Mail: info@enviro-engineering.de • Internet: www.enviro-engineering.de

Insgesamt waren die Erfahrungen mit der neuen Dosierförderung sehr positiv und der Betrieb ist bis heute (Zeitpunkt der Veröffentlichung) weitestgehend störungsfrei verlaufen.

5. Weitere Anwendungen des kombinierten Dosier- und Fördersystems und Ausblick

5.1. Transport

Um die beschriebenen Vorzüge des Dosiersystems auch für reine Transportarbeiten nutzen und gleichzeitig die Herstellungskosten senken zu können, wurde eine Bauartreihe entwickelt. Eigene Messungen und neuere Untersuchungen anderer Autoren [4] haben gezeigt, daß nach oben austragende Druckgefäßförderer höher beladen werden können als solche mit Bodenauslaß.

Diese Förderer verfügen daher ebenfalls über einen Austragsboden und die Aufteilung in Fördergas, Austragsgas und Ersatzgas. Der Boden ist jedoch einfacher ausgebildet und die Förderleitung wird außerhalb des Gefäßes mittels Quetschventil oder Kugelhahn abgesperrt. Bild 8 zeigt den schematischen Aufbau eines solchen Senders.

Eingesetzt werden diese Aggregate zum pneumatischen Transport von Flug- und Bettasche in Feuerungsanlagen sowie für die Förderung von Kalkprodukten und Inertmaterial (Sand). Durch je eine Drosselstelle in Förder- und Austragsleitung kann bei der Inbetriebnahme die Einstellung des gewünschten Materialdurchsatzes erfolgen.

Weiterhin wird durch Einstellung der Spaltweite zwischen Förderleitungsbeginn und Boden die maximal eintretende Korngröße so begrenzt, daß die Förderleitung nicht verstopfen kann und diese Brocken entweder zerrieben und dann gefördert bzw. von Hand ausgeräumt werden können.

5.2. Dosierförderung unter extremen Bedingungen

Gilt es bei bestimmten Prozessen hohe Drücke und hohe Temperaturen zu überwinden, ist das Dosiersystem ebenfalls erfolgreich einzusetzen.

Denkt man z. B. an die Kohlevergasung im Flugstrom, wo rückgeführter Koksgrus gegen Drücke von bis zu 20 bar und Temperaturen von bis zu 300°C verteilt eingetragen werden muß, bietet sich das Mehrfach-Dosier-System geradezu an. Erfahrungen in den genannten Druck- und Temperaturbereichen sind vorhanden. Wie schon erwähnt, muß das Fördergas nicht unbedingt Luft sein, es wurden Erfahrungen mit z. B. Argon, Stickstoff und Heißdampf als Trägermedium gesammelt. Hier kommt der Vorzug der pulsationsarmen Förderung ebenfalls voll zur Geltung, da die Prozesse und laufenden Reaktionen unter Umständen sehr empfindlich auf Druck- und/oder Massenstromschwankungen reagieren können.

5.3. Ausblick

Mit dem pneumatischen Dosiersystem MDS ist der Bedarfsfall einer pulsationsarmen, hochkonstanten Dosierförderung abgedeckt worden. Die Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit, verbunden mit dem Vorteil der Mehrfachdosierung, wurden in der Praxis nachgewiesen. Das System bietet durch seine hohe Flexibilität auch in anderen Bereichen Vorteile und kann leicht an die jeweiligen Verhältnisse angepaßt werden.

Schrifttum

Rennert, K.D.: Kohlenstaubgefeuerter Zündbrenner. BWK 34(1982), S. 131-135

Rennert, K.D.: Kohlenstaubzündfeuerung: Anwendung, Betriebsergebnisse, Wirtschaftlichkeit - BWK 36 (1984), S. 217-222

Heep, D.: Dosierung von pneumatisch transportierten Schüttgütern mittels Druckdifferenzsteuerung, ZKG 33 (1980), S. 373-374

Jones, M.G., D. Mills und J.S. Mason: A Comparison of the performance of Top and Bottom Discharge Blow Tank systems, Bulk solids handling 7 (1987), S. 701-706