

Präzises Dosieren in der pneumatischen Dichtstromtechnik

Thomas Feldhaus, Feldhaus-Technik, Duisburg,
tfeldhaus@feldhaus-technik.de

Fachbeitrag

4

Die Dosierförderanlage ist eine vollkommen neuartige Technik in der pneumatischen Dichtstromförderung von rieselfähigen Feststoffen. Ursprünglich für die Stahlindustrie zur Dichtstromförderung von Magnesiumgranulat in Roheisenschmelzen entwickelt, gehen die potenziellen Anwendungsfelder für pneumatische Dünn- und Dichtstromförderung von Granalien weit über die Stahlindustrie hinaus.

1999 wurde die Pilotanlage bei ThyssenKrupp Steel (TKS) in Duisburg in Betrieb genommen. Seit Oktober 2004 ist der weiterentwickelte Typ 2 ebenfalls bei TKS im Einsatz. Beide im Kontibetrieb arbeitenden Maschinen sind extrem verschleiß- und wartungsarm, zeigen Vorteile gegenüber allen bekannten konventionellen Verfahren und bestechen mit einer exakten Dosiergenauigkeit (Soll = Ist). Die Leistungsfähigkeit der Dosierförderanlage überschreitet in vielerlei Hinsicht bisherige technische Grenzen. Beide Maschinen entschwefeln bei der Thyssen Krupp Steel AG über 5 Mio. Tonnen Roheisen pro Jahr.

Die patentierte Dosierförderanlage (DFA) kann rieselfähiges Granulat nonstop gegen höchste Drücke (0,1 - > 20 bar) exakt ihren Sollvorgaben entsprechend fördern; vorzugsweise im Dichtstromverfahren aber auch im Dünnstromverfahren. Das Kornband kann dabei in jeder Zusammensetzung von 0,1- bis 5 mm variieren, die mögliche Schüttdichte liegt zwischen 0,2 und 5 kg/dm³. Die ex-geschützte Maschine benötigt keinen Abluftfilter und kann mit jedem denkbaren Fördergas betrieben werden, wie z.B. mit getrockneter Pressluft aber auch mit kritischen Gasen wie Sauerstoff oder Erdgas.

Der Vergleich mit der konventionellen Technik zeigt: Die DFA setzt vollkommen neue technische Standards hinsichtlich ihrer Dosiergenauigkeit, verbunden mit einer hohen Variabilität der Dosiermenge und einer schnellen Reaktionszeit. Die Steuerung der DFA basiert auf dem Prinzip der vorausschauenden volumetrischen Förderung (keine Regelkreise). Das Leistungsspektrum einer Maschine umfasst den Bereich von kleinen Mengen wie z.B. 0,3 kg/h bis 10 kg/h, den Bereich von mittleren Mengen wie z.B. 2 kg/min bis 15 kg/min und erstreckt sich bis hin zum Bereich von 10 kg/min bis 100 kg/min.

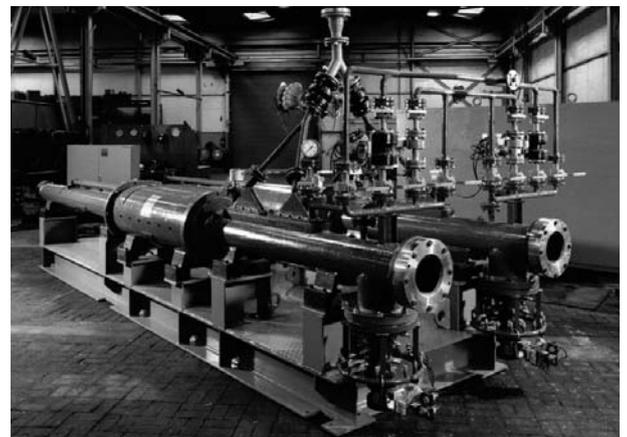


Abb. 1: Pilotanlage Typ 1 wird seit 1999 zur kontinuierlichen Förderung von Magnesiumgranulat eingesetzt.

Die ThyssenKrupp Steel AG in Duisburg betreibt die kontinuierlich arbeitende Pilotanlage in einer ihrer Roheisenentschwefelungsanlagen seit 1999 (Abb. 1). Im Oktober 2004 wurde die zweite, weiterentwickelte Maschine

(Abb. 2) mit einer Förderleistung von 2 kg/min bis 15 kg/min Magnesiumgranulat (Kornband 0,2 bis 0,8 mm) bei einer Schüttdichte von 1 kg/dm³ in Betrieb genommen. Beide Dosierförderanlagen wurden von ThyssenKrupp Anlagenservice den Vorgaben von Feldhaus-Technik entsprechend gebaut und in Betrieb genommen und entschwefeln heute bei ThyssenKrupp Steel über 5 Mio. Tonnen Roheisen jährlich.

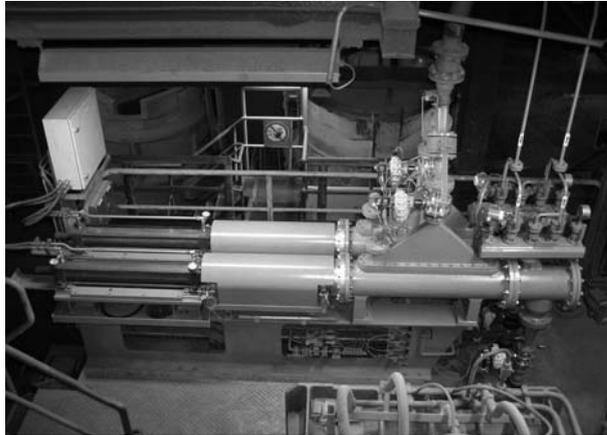


Abb. 2: Der weiterentwickelter Typ 2 ist seit Oktober 2004 im Betrieb

Die Dosierförderanlage wurde speziell für Granulatförderung im Dichtstromverfahren entwickelt, weil die bekannte Methode der Druckgefäßförderer mit ihrer aus dem Wägezellsignal abgeleiteten Differentiation des zeitabhängigen Gewichtes verspätet reagiert und somit keinen zufriedenstellenden Regelkreis aufbauen kann. Erschwerend kommt bei konventionellen Verfahren hinzu, dass bedingt durch die Granulatform unbekannte Gasmengen aus der Oberdruckzone des Druckgefäßes durch die Granulatschicht in die Förderleitung diffundieren und einen pulsierenden Austrag erzeugen (Abb. 3).

Das Grundgebot einer pneumatischen Dichtstromförderung ist es, der Kompressibilität des Gases so wenig Raum wie möglich zu bieten, um eine harte, direkte Förderung zu erhalten. Verfahren mit Druckgefäßen haben den Nachteil, dass sehr große Volumina mit Gas gefüllt sind. Die Dosierförderanlage hingegen benötigt nur wenig Raum und kleine Förderleitungsnennweiten.

Die konventionelle Technik eignet sich zum Fördern von pulvrigen Materialien, stößt allerdings beim Fördern von körnigen Materialien, insbesondere gegen hohe Drücke, bei Druckschwankungen im Reaktor und bei Multiinjektion (Förderung von mehreren Materialien zeitgleich durch eine Förderleitung) verfahrensbedingt an ihre Grenzen. Die Abb. 3 und 4 zeigen die Dosiergenauigkeit von konventionellen Druckfördergefäßen bei ThyssenKrupp Steel im Vergleich zur Dosiergenauigkeit der Dosierförderanlage bei einem Transportdruck von 5 bar.

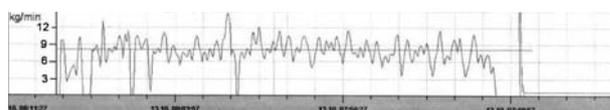


Abb. 3: Austrag von Magnesium-Granulat mit konventioneller Fördertechnik. Der Austrag pulsiert um einen konstanten Sollwert von 8 kg/min.

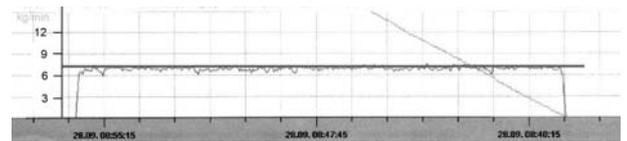


Abb. 4: Austrag von Magnesium-Granulat mit der Dosierförderanlage. Der Austrag entspricht dem konstanten Sollwert von 7 kg/min.

Die Austragsorgane heutiger pneumatischer Dichtstromverfahren sind Dosierschnecken, Dosierzellenrad-schleusen oder Regelkugelhähne mit nachführender Massenstromregelung (gravimetrische Erfassung von Gewichts-differenzen). Diese Prinzipien arbeiten mit verschiedenen Druckzonen (Differenzdruck zwischen Druckfördergefäß und Zielgefäß) und leiden folglich unter teilweise erheblichem Verschleiß im Bereich von engen Spalten, die für die Funktion zwingend erforderlich sind.

Ein weiterer Nachteil konventioneller Verfahren beim Fördern von Granulat sind unkontrollierte und nicht messbare Druckgasmengen, die aus einer höheren Druckzone zum Zielgefäß fließen. Pulsierende ungenaue Austragsraten sind die unweigerliche Konsequenz. Bei der Dosierförderanlage hingegen ist der Innendruck immer annähernd gleich dem Druck in der Förderleitung. Es werden nur geringe Fördergasmengen benötigt.

Im Innenraum des Förderers entstehen nur sehr geringe Geschwindigkeiten, daher sind Gehäuse, Kolben und Auslaufkonus verschleißfrei. Ein- und Auslaufkugelhähne unterliegen nur geringem Verschleiß, da Schaltungen generell bei Druckgleichheit (Druck vor und hinter der Armatur gleich) vorgenommen werden. Die Kolbendichtungen werden an den beiden im Kontinuum arbeitenden Maschinen bei ThyssenKrupp Steel alle 10 Monate vorsorglich gewechselt.

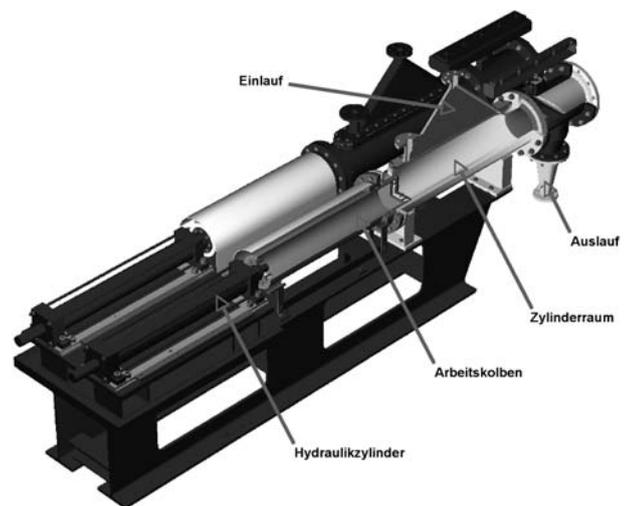


Abb. 5: Die wichtigsten Bauteile der Dosierförderanlage Typ 2

Das Konzept der DFA basiert auf dem Prinzip einer vorausschauend volumetrischen Zwangsförderung und ist absolut genau und reproduzierbar. Bei einer Kolbenverdrängung von 1 dm³/min und einer Schüttdichte von 3

kg/dm³ werden in 1 Minute exakt 3 kg Fördergut ausgetragen. Im Falle von wechselnden Schüttdichten kann ein automatischer Abgleich durchgeführt werden. Abb. 5 zeigt den Aufbau der DFA, Abb. 6 das Steuerungsschema. Der Aufbau der Maschine ist vergleichbar mit einer Kolbenpumpe und besteht bei Anwendung im kontinuierlichen Betrieb immer aus zwei Einheiten. Für einen intermittierenden Betrieb ist nur eine Einheit notwendig.

Eine Einheit besteht aus dem Linearantrieb, der hier ein Hydraulikzylinder ist, alternativ aber auch aus einem elektromechanischen Antrieb bestehen kann. Eine programmierbare hydraulische Seriensteuerung bestimmt die Vorschubgeschwindigkeit des Hydraulikzylinders (im Mittel ca. 0,2 m/min), so dass nach ca. 4 bis 5 Minuten ein Arbeitshub beendet ist. Während der Hydraulikzylinder dann im Eilgang (ca. 1,5 m/min) zurückfährt, füllt sich der Zylinderraum über das geöffnete Einlaufventil erneut mit Fördergut.

Der Hydraulikzylinder trägt und treibt den Arbeitskolben, der an seinem freien Ende eine Gleitlagerung und die Abdichtung zum Zylinderraum durchfährt. Der Kolbendurchmesser ist der Förderleistung entsprechend dimensioniert. Die Kolben der beiden Maschinen bei ThyssenKrupp Steel wurden für eine Austragsleistung von 3 bis 15 kg/min mit einem Durchmesser von 200 mm ausgelegt.

Die besondere Einlaufgeometrie des Zylinderraumes gewährleistet, dass das von oben einfließende Fördergut den Zylinderraum komplett befüllt. Am freien Ende des Zylinderraumes befindet sich ein Auslaufkonus, in den das vorgeschobene Fördergut hineinfällt. Die Fallgeschwindigkeit der Partikel wird im Auslaufkonus durch eingeleitetes Fördergas bis zur Dichtstromgeschwindigkeit erhöht.

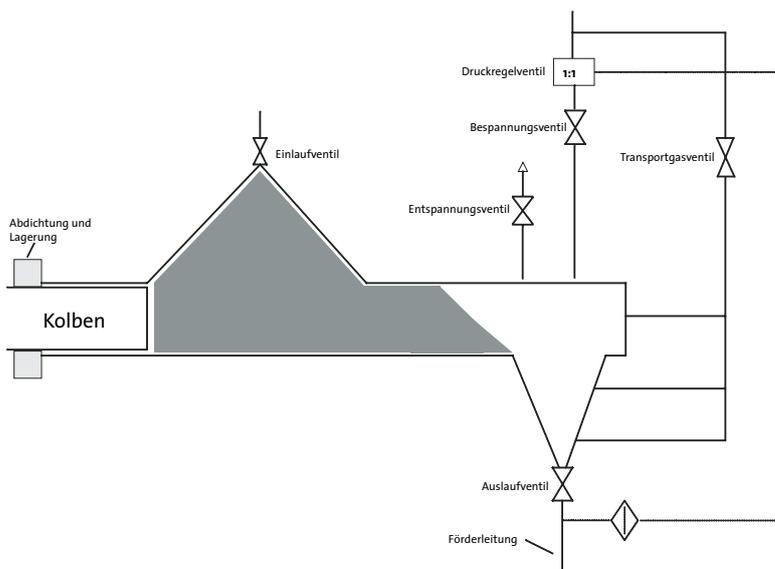


Abb. 6: Steuerungsschema der Dosierförderanlage

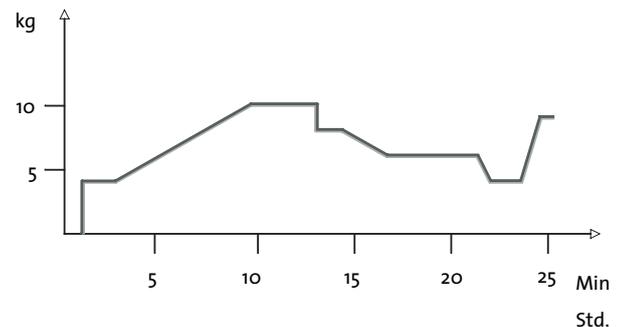
Die Funktion der Dosierförderanlage:

Beim Öffnen der Einlaufventile werden beide Zylinderräume durch die Dreiecksführung der Einlaufkonen

dem Schüttwinkel des Fördergutes entsprechend komplett gefüllt (grauer Füllbereich in Abb. 6). Vor dem Start sind die Ein- und Auslaufventile geschlossen und der Zylinderraum wird über das geöffnete Bespannungsventil mit dem aktuellen Druck der Förderleitung bespannt.

Bei Prozessbeginn fällt das durch den Kolben verdrängte Fördergut in den Auslaufkonus. Gleichzeitig schließt das Bespannungsventil und das Auslaufventil und Fördergasventil öffnen. Durch spezielle Sintermetallpatronen mit Feinregulierung fließt mit dominantem Druck eine kleine Menge Fördergas (z.B. 10 m³(STP)/h) in den Innenraum der Dosierförderanlage und entspannt sich in Richtung Förderleitung. Der Fördergasstrom reißt das in die gleiche Richtung fallende Fördergut mit in die Förderleitung und bildet eine sehr dichte pneumatische Förderung. Falls eine Verstopfung in der Förderleitung (Druckerhöhung) droht, bleibt der Kolben ohne Prozessunterbrechung stehen, d.h. es fließt nur noch Fördergas und die drohende Verstopfung wird in ihrer Entstehung bereits verhindert. Sobald sich der Förderdruck wieder normalisiert hat, startet der Kolben über eine Anfahrrampe und sorgt bis zur vorgegebenen Austragsleistung dafür, dass sich das Fördergut langsam wieder in die Förderleitung hineinbewegt.

Wenn ein Kolben sein Hubende erreicht hat, wird eine Schnellumschaltung auf den anderen Kolben eingeleitet. Der neue Kolben übernimmt mit gleichem Sollwert ohne Unterbrechung die Förderung, während der andere Kolben zurückeilt und über das geöffnete Einlaufventil seinen Innenraum füllt. Weitere Funktionsbeschreibungen und Verfahrenssimulationen sind auf www.feldhaustechnik.de dargestellt. Falls Förderraten angefordert werden, die unterhalb der Auslegung der Maschine liegen (z.B. 1 kg/min bei einer Auslegung von 3 bis 15 kg/min), ist ein leicht schwingendes Sieb (Abstreifprinzip) an der Materialabwurfzone so platziert, dass die horizontale Fördersäule regelrecht abgeschält wird. Somit werden Lawinenbildungen im untersten Austragsbereich bei Vorschubgeschwindigkeiten von <0,1 m/min vermieden.



hell = Sollwert

dunkel= Istwert

Abb. 7: Leistungsspektrum der Dosierförderanlage

In Abb.7 ist das Leistungsspektrum einer DFA bei einer Anforderung von 2 bis 10 kg/min dargestellt. Eine serienmäßige hydraulische Proportionalsteuerung der Firma BoschRexroth gewährleistet ein exaktes Nachfahren der Sollvorgabe. Weiterhin zeigt das Diagramm, dass die Maschine ohne Unterbrechung (z.B. tagelang) eine pneumatische Feststoffförderung aufrechterhalten kann. Eine Dosierförderanlage kann beweglich, aber auch fest montiert unter Silos oder Big-Bags aufgestellt werden. Die Maschine kann weit unterhalb oder oberhalb des Zielortes aufgestellt werden und stellt keinerlei Ansprüche an ihren Stellplatz (z.B. nicht schwingungsentkoppelt). Die Förderleitung kann im Vergleich zu konventionellen Dichtstromleitungen, bedingt durch die harte und direkte Förderung, in ihrer Nennweite klein und in ihrer Strecke relativ lang sein.

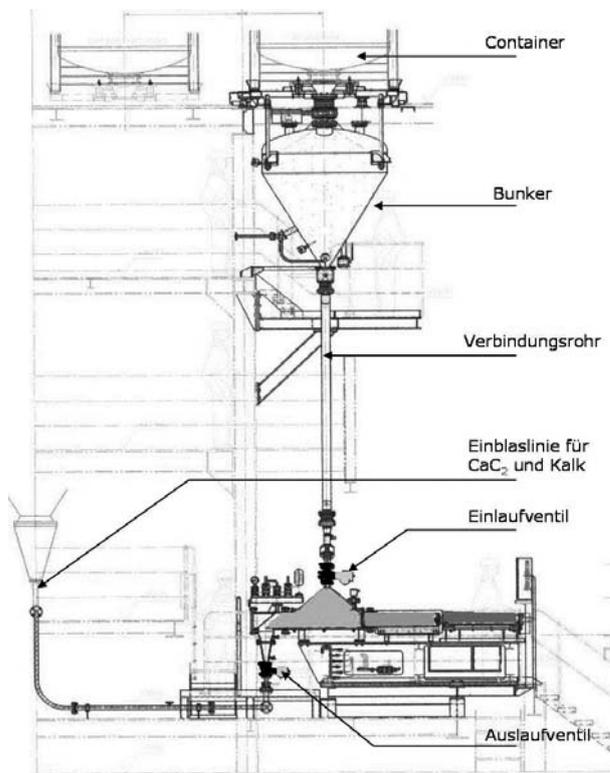


Abbildung 8: Schnittzeichnung der Entschwefelungsanlage mit Dosierförderanlage vom Typ 2

Abb. 8 zeigt schematisch den Aufstellungsplatz der im Oktober 2004 bei ThyssenKrupp Steel in Duisburg in Betrieb genommenen Maschine. Die auf Messdosen stehende Befüllleinrichtung besteht aus einem transportablen Container mit darunter angeordnetem Bunker. Ohne Förderunterbrechung kann ein leerer Container durch einen vollen Container ersetzt werden, da das Bunkervolumen so ausgelegt ist, dass sich noch bei Signal «Container leer» in dem Bunker Fördergut für > 8 h befindet. Durch das Verbindungsrohr wird das Fördergut bis vor die Einlaufventile der DFA geführt.

Mit den seit 1999 gesammelten Erfahrungen mit der ersten Maschine (Abb. 1) wurde die neue DFA (Abb. 2) so konstruiert, dass keinerlei Wartung vor Ort erforderlich ist. Im Störmeldesystem des Leitsystems ist ein Testprogramm hinterlegt, mit Hilfe dessen der Bediener einen

automatischen Leistungstest (Dichtigkeitstest) vom Bildschirm aus durchführen kann.

Des Weiteren ist im Leitsystem ein «Einkolbenbetrieb» programmiert. Bei Störungen an einem Kolben (z.B. Magnetspule verbrannt) wird der betroffene Kolben abgewählt (in Störung gesetzt). Der andere Kolben arbeitet dann intermittierend (5 min fördern, 1 min füllen, 5 min fördern, usw.). Die Förderung ist dann zwar nicht mehr kontinuierlich, in den meisten Fällen kann die Produktion aber aufrechterhalten werden, während der defekte Kolben repariert wird.

Zurzeit werden Versuchsreihen in enger Abstimmung mit einem Chemiekonzern durchgeführt. Die Dosierförderanlage soll zur Förderung kleinster Mengen von Aluminiumgries eingesetzt werden. Zudem wird die Technik derzeit von einem Forschungsunternehmen zur Erzeugung regenerativer Energien geprüft, um Biomasse in einen unter 80 bar stehenden Reaktor dosiert einzutragen.

Internationale Stahlkonzerne aus Großbritannien und aus Indien prüfen derzeit einen Einsatz von Dosierförderanlagen in deren Stahlwerken.

© by Rek & Thomas Medien AG, St.Gallen, 2006