

Injektoren - Bauformen, Varianten und Anwendungen

Ingenieurbüro Schneider für Umwelt & Verfahrenstechnik
Niehler Str. 151-153, D-50733 Köln



Sonderdruck aus **Schüttgut**

5. Jahrgang, Nummer 2
April/Juni 1999

Injektoren - Bauformen, Varianten und Anwendungen

1 Einleitung

Die seit langer Zeit bekannte Injektorförderung war an dieser Stelle [1] sowie in [2-5] bereits Gegenstand ausführlicher Untersuchungen. Während dort die Injektorförderung eher unter prinzipiellen bzw. theoretischen Gesichtspunkten betrachtet sowie Vor- und Nachteile verglichen mit anderen Förderverfahren herausgearbeitet wurden, sollen hier insbesondere die vielfältigen Variationen der Injektorkonstruktionen und deren praktische Einsatzmöglichkeiten in den Vordergrund gestellt werden. Anhand konkreter Aufgabenstellungen wird die Injektorkonstruktion und -dimensionierung sowie die Materialwahl erläutert und so dem potentiellen Anwender nähergebracht.

2 Zusammenfassung bereits bekannter Merkmale der Injektorförderung

a) Funktionsprinzip

Der vorteilhafte Einsatz des Injektors als Einschleus- bzw. Förderapparat in eine pneumatische Förderleitung beruht auf der dynamischen Abdichtung des Förderdruckes gegen das über dem Einlaufbereich angeordnete Dosierorgan. Die potentielle Druckenergie des Treibmediums (i.a. Luft) wird in der Treibdüse in kinetische Energie umgewandelt. Dadurch wird im Einlaufbereich bei richtiger Auslegung ein leichter Unterdruck erzeugt, der das Einschleusen von Fördergut begünstigt. Das Material wird in die Förderleitung "gesaugt". Im anschließenden Diffusor wandelt sich die kinetische Energie wieder in potentielle Druckenergie zurück, die für die nachfolgende Förderung erforderlich ist. Aufgrund der gerade bei hohen Geschwindigkeiten in Treib- und Fangdüse sowie im ersten Diffusorabschnitt auftretenden, gravierenden Reibungsverluste (Wandreibung, intermolekulare Reibung) und der Gutbeschleunigung lässt sich die ursprüngliche, vor dem Injektor gegebene potentielle Energie im Diffusor nicht vollständig wiedergewinnen. Ein Maß für die Verluste ist der Injektorwirkungsgrad, dessen Wert je nach Güte der Konstruktion und des zu fördernden Materials sowie der Gutbelastung zwischen 0,2 und 0,7 liegt.

b) Vorteile gegenüber anderen Einschleus- bzw. Förderverfahren der Dünnstromförderung (z.B. Zellenradförderung mit Aufgabeschuh, Schneckenpumpe etc.)

Wie bereits unter a) dargestellt, besteht der größte Vorteil in der Unterdruck-Betriebsweise des Injektors. Leckluft, die bei fehlender dynamischer Abdichtung immer auftritt, führt einerseits zu verstärktem Verschleiß im Dosierorgan (z.B. Zellenrad schleuse), andererseits zu einer Behinderung des Materialnachlaufs. Dies ist insbesondere bei schwerfließenden, sehr leichten und feinkörnigen sowie solchen Schüttgütern wichtig, welche ein hohes Lufthaltevermögen und eine Neigung zur Brückenbildung aufweisen (z.B. Kalkhydrat, Filterstaub). Weiterhin ist die Injektorförderung bei konstanter Zudosierung sehr betriebssicher, wartungsarm und, wie die weiteren Ausführungen noch zeigen werden, sehr variabel einsetzbar. Schließlich zeichnet sich die Injektorförderung noch durch einen geringen Aufwand an Mess- und Regeltechnik aus.

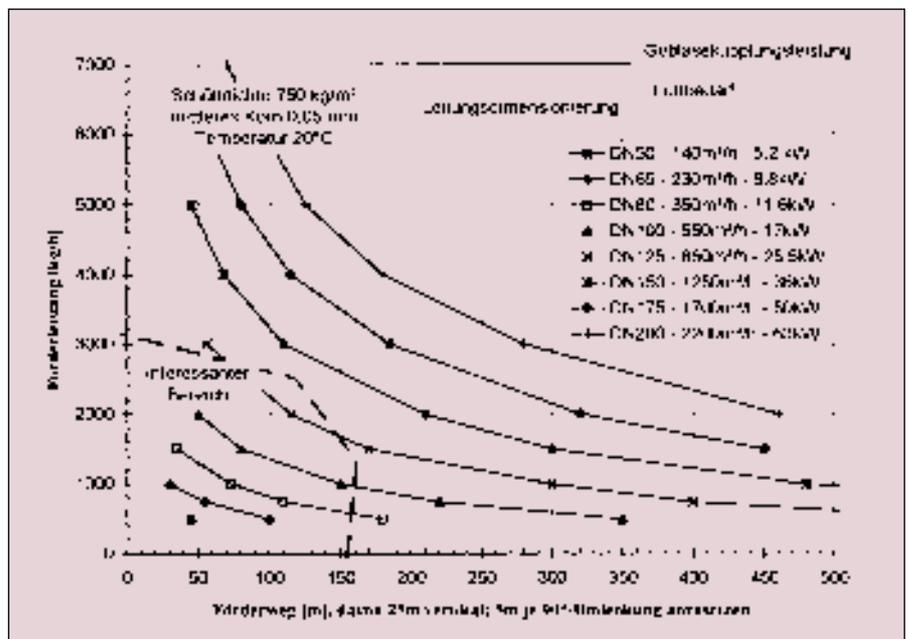
c) Vorteile gegenüber anderen Einschleus- bzw. Förderverfahren der Dichtstromförderung (z.B. Druckgefäßförderung, Schneckenpumpe)

Die Vorteile liegen im wesentlichen im geringeren Investitionsbedarf für eine Injektor-Förderanlage, welches sich im wesentlichen aus dem geringeren apparativen und regelungstechnischen Aufwand ergibt. Weiterhin sind zu nennen:

- höhere Temperaturen möglich
- weniger Verstopfungsneigung
- kontinuierlicher Betrieb

Bei zu Anbackungen neigenden Stäuben hat der kontinuierliche Betrieb wesentliche Vorteile, beispielsweise kann der Batchbetrieb bei Druckgefäßförderern, verbunden mit z.T. langen Verweilzeiten im Gefäß, zu großen Problemen führen.

Abb. 1:
Einsatzbereich der Injektorförderung für eine Kesselasche 2. Zug einer MVA (gerechnet mit einer 20%igen Reserve)



d) Nachteile gegenüber anderen Einschleus- bzw. Förderverfahren

Als Nachteile der Injektorförderung lassen sich in erster Linie die Grenzen der Einsatzmöglichkeiten bezüglich Förderleistung und Förderentfernung nennen. Die Gründe dafür liegen in der energetischen Betrachtung der Injektorförderung. Der in a) beschriebene Energieverlust und der, aufgrund der i.a. auf 3 bis 4 begrenzten Gutbeladung, erforderliche Energieeinsatz begünstigen bei hohen Förderleistungen oder/und großen Förderentfernungen den Einsatz anderer Förderverfahren.

e) Einsatzgrenzen der Injektorförderung

In der Abb. 1 ist der sich aus den Erläuterungen in a) - d) ergebende interessante Bereich der Injektorförderung hinsichtlich Förderleistung und Förderentfernung dargestellt. Über der Förderentfernung ist die erreichbare Förderleistung mit der jeweiligen Dimensionierung als Parameter aufgetragen. Die Kurven sind Ergebnis einer Berechnung des Druckverlustes mit bekannten Berechnungsmethoden für eine typische Kesselasche, 2. Zug, einer MVA. Da die erreichbare Förderleistung auch von Materialdaten (wie z.B. Dichte und Korngröße bzw. Größenverteilung) abhängig ist, können die Förderkurven für andere Güter anders ausfallen. In der Parameterlegende sind die für die jeweilige Dimensionierung der Förderleitung erforderlichen Auslegungsdaten für die Auswahl von Drehkolbengebläsen (Luftmenge, Kupplungsleistung), welche überwiegend als Luftversorgung zum Einsatz kommen, aufgeführt. Der Energiebedarf für die Förderung von 3 t/h über eine Entfernung von ca. 60 m ist demnach mit ca. 25 kW recht hoch, eine entsprechende Realisierung vermutlich nur in Ausnahmefällen sinnvoll (Anwendung 2 in Kap. 3). Im "nicht-interessanten" Bereich kommen daher überwiegend andere Förderverfahren zum Einsatz.

Die Darstellung soll einen groben Rahmen für die Realisierbarkeit der Injektorförderung darstellen. Eine individuelle Betrachtung und Nachrechnung ist für jede Aufgabenstellung unbedingt anzuraten.

3 "Standard"-Injektoren: Einsatzbeispiele

Die Standard-Baureihe zeichnet sich durch eine robuste und kompakte Bauweise aus. Es handelt sich um ein Gehäuse (Stahlschweißkonstruktion), in das die Düse und der Diffusor (Drehteile) eingeschoben und fixiert werden. Die Düse ist justierbar, der Diffusor kann (als Verschleißteil) leicht ausgetauscht werden. Der Injektor ist standardmäßig mit einem Vordruckmanometer ausgestattet. Auf Wunsch kann eine Inspektionsöffnung integriert werden. Je nach Materialeigenschaften wird der Boden blind verschlossen oder als Fluidisierboden ausgeführt. Der Injektor ist ausführlicher in [1] beschrieben.

Anwendung 1

Problem: Verschleißverhalten des Schüttgutes

Betrachtet wird die Förderung von Kesselasche, 2. Zug, einer norddeutschen MVA. Die Anlage ist seit einem Jahr in Betrieb. Die Aufgabenstellung war wie folgt:

Schüttgut	Kesselasche 2. Zug einer MVA
Schüttgewicht	ca. 700-800 kg/m ³
Körnung	ca. 0-3 mm
Temperatur	ca. 80°C
Förderleistung normal	ca. 600 kg/h für 7000 h/a
Förderleistung maximal	ca. 800-1000 kg/h
Förderentfernung	45 m in ein Aschesilo, davon 25 m vertikal
Umlenkungen	4 Stück, je 90°

Eine Druckverlustberechnung (wie auch der Blick auf die Abb. 1) ergibt eine notwendige Dimensionierung von Injektor und För-

derleitung zu DN80. Das Drehkolbengebläse wurde unter Zugrundelegung der Auslegungsdaten 350 m³/h Luftvolumenstrom (im Ansaugzustand) und 800 mbar Druckerhöhung ausgewählt (15 kW-Motor). Der Injektor selbst wurde komplett aus St 37-2 hergestellt. Im Übergangsstück ist eine Rückschlagklappe angeordnet, welche bei definiertem Unterdruck öffnet und dann Falschluff mit in die Förderleitung einträgt. Die Rückschlagklappe verhindert damit ein zu starkes Ansteigen des Unterdruckes im Einlaufbereich des Injektors bei geringer Förderleistung. Die Asche fällt kontinuierlich aus dem Trichter des 2. Zuges, größere Schülpen oder Verklumpungen werden in einem Vorbrecher zerkleinert bzw. ausgesondert. Die Umlenkungen der Förderleitung sind nicht mit Schmelzbasalt sondern Al₂O₃ ausgekleidet, ebenso ein gerades Auslaufstück hinter jeder Umlenkung.

Aufgrund der besonderen Förderbedingungen im Diffusor (hohe Geschwindigkeiten, starke Turbulenz) ist die Materialwahl für dieses Element besonders bedeutsam. Die Härte des Diffusorwerkstoffes muss größer sein als die des Fördergutes. Da sich im Diffusor wandnahe Strähnen bilden, kommt es bei der Verwendung von Stahldiffusoren (auch gehärtet) zu Auswaschungen, wie die Abb. 2 deutlich zeigt. Diese können sich bis in den ersten Förderleitungsabschnitt fortsetzen, weshalb auch dieser Bereich gefährdet und entsprechend auszukleiden ist. Im hier betrachteten Einsatzfall wurde für den Diffusor eine spezielle Keramikkomposition (Si/SiC) gewählt. Siliziumkarbid zeichnet sich durch eine besonders große Härte aus und gewährleistet eine entscheidende Standzeitverlängerung gegenüber der Stahlausführung.

Anwendung 2

Problem: Hohe Temperatur, hohe Förderleistung

Betrachtet wird die Fließbettkühlerentäschung (Entleerung bei Störungen und Revision, 2 Förderstränge) eines Kessels mit zirkulierender Wirbelschichtfeuerung eines Heizkraftwerkes. Das Beispiel zeigt eine Spezialanwendung der Injektorförderung (in Abb. 1 außerhalb des "interessanten Bereiches").

Schüttgut	Umlaufmaterial einer zirkulierenden Wirbelschicht eines HKWs
Schüttgewicht	ca. 1200 - 1500 kg/m ³
Körnung	ca. 0 - 1 mm
Temperatur bis	450°C
Förderleistung gefordert	ca. 3500 kg/h je Strang
Förderentfernung	26 m in den Tauchtopf des Zyklonrücklaufes, davon 15 m vertikal, 4 Umlenkungen à 90°

Abb. 2: Auswaschungen an einem Stahldiffusor nach der Förderung von stark schleißender Grobasche



Die Dimensionierung der Leitungen erfolgte zu je DN175. Das Reservegebläse zur Tauchtopffluidisierung mit den Kennwerten ca. 1500 m³/h Luftvolumenstrom im Ansaugzustand, ca. 800 mbar Druckerhöhung, 110 kW Motorleistung stand für beide Förderleitungen gemeinsam zur Verfügung. Auf ein Dosierorgan konnte in diesem Fall verzichtet werden, da das Umlaufmaterial sehr leicht fließend ist. Der Injektor zieht das Material "aus dem Vollen" ab.

Die Schwierigkeit bestand einerseits im komplizierten, durch die baulichen Gegebenheiten nicht frei wählbaren Verlauf der Förderleitungen und der Berücksichtigung der Temperaturdehnung in diesen Leitungen (Auswahl von Kompensatoren, Feder- und Konstanthängern, max. Temperatur kurzzeitig über 500°C), andererseits in der Konstruktion des Injektors, insbesondere des Diffusors. Dieser hat in der Ausführung DN175 einen Außendurchmesser von ca. 225 mm bei einer Länge von knapp 900 mm und wird im Normalfall aus einem Stück gedreht (Außen- sowie Innenkontur). Aufgrund der erheblichen Masse wurde der Diffusor derart konstruiert, dass er in drei Teilen gefertigt und anschließend bündig verschraubt werden konnte. Weiterhin konnte durch Aussparungen eine Gewichtsreduktion von über 40% vom ursprünglichen erwartenden Gewicht (knapp 200 kg) erzielt werden. Als Material für den Injektor selber, den Diffusor sowie die Förderleitungen kam 16Mo3 zum Einsatz. Die Umlenkungen sind trotz der Verschleißanfälligkeit bei der Förderung von Umlaufmaterial aufgrund der zeitlich begrenzten Einsatzfälle (4 - 5 mal pro Jahr jeweils ca. 30 - 40 h) nicht ausgekleidet. Weiterhin musste sichergestellt werden, dass die Förderung in einem weiten Temperaturbereich des Umlaufmaterials (ca. 100 - 500°C) und damit auch der Fördergeschwindigkeit (10 - 20 m/s, ergibt sich aus dem Temperaturfeld und der Luftmenge) stabil ist.

Die Anlage wurde zur Sommerrevision '98 in Betrieb gesetzt. Durch betriebliche Zeitverzögerungen kühlte sich der Fließbettkühlerinhalt vor der Inbetriebnahme auf ca. 250°C ab. Dies führte zu der verfahrenstechnisch ungünstigen Situation einer relativ "langsamen" Förderung. Die gemessene Außentemperatur der Förderleitungen lag zwischen 160°C (Anfang) und 125°C (Ende). Die Geschwindigkeiten in der Leitung erreichten so nur ca. 65% - 70% des Auslegungswertes. Trotzdem wurde eine sehr gleichmäßige Förderung mit hoher Leistung erreicht. Die Auswertung des Brennkammerdruck-Messschriebes (Maß für die Schütthöhe in der Brennkammer) ergab eine Förderleistung von 2 x ca. 6,5 t/h, also fast doppelt soviel, als von der Auslegung her zu erwarten war. Unterstützend wirkte hierbei eine Materialsäule von ca. 2.000 mm Höhe über dem Injektor.

Das Beispiel zeigt, dass selbst unter schwierigen Bedingungen (Temperaturbereich, Dimensionierung, Förderleitungsverlauf) eine Injektorförderung zu guten Ergebnissen bei überschaubarem Investitionsaufwand führt.

Anwendung 3

Problem: Schüttgut neigt zur Zementierung an festen Wänden

Betrachtet wird eine Kalkhydratförderung zur Direktentschwefelung eines steinkohlebefeueren Wanderrostkessels in einem süddeutschen Kraftwerk.

Die Aufgabenstellung war wie folgt:

Schüttgut	Kalkhydrat Ca(OH) ₂
Schüttgewicht	ca.450 kg/m ³
Körnung	ca. 0 - 0,1 mm
Temperatur	ca.20°C
Förderleistung gefordert	ca.0 - 200 kg/h im Dauerbetrieb
Förderentfernung:	55 m, davon 15 m vertikal, 5 Umlenkungen à 90°
Förderziel:	Verteiler vor Eindüsung in den Kessel

Die Schwierigkeit bei der pneumatischen Förderung von Kalkhydrat besteht darin, dass bei relativ geringen Beladungen und Geschwindigkeiten oberhalb etwa 15 -18 m/s Kalkhydrat an festen Wänden teilweise zu Kalkstein CaCO₃ auszementiert. Als Mechanismen dazu sind die Dehydratation von Ca(OH)₂ zu CaO (unterstützt durch die freiwerdenden Reibungs- und Stoßenergien) und die anschließende Kalksteinbildung mit Luft-CO₂ zu nennen.

Als Folge davon können Rohrleitungen oder Injektordiffusoren aus Stahl zuwachsen, bis die Förderung zusammenbricht. Beim Einsatz darauf abgestimmter Materialien kann jedoch das Zuwachsen der genannten Elemente vermieden bzw. abgemindert werden. Insbesondere Gummi-Schläuche sind den Stahlrohrleitungen vorzuziehen. Die flexible weiche Oberfläche hat einen "Selbstreinigungseffekt" und bewirkt das Abplatzen von festen Anbackungen. Bei der Verlegung der Gummi-Förder-schläuche muss allerdings darauf geachtet werden, dass diese nicht durchhängen, da dies sich negativ auf die Förderkapazität der Anlage auswirkt. Die Diffusoren sind ebenfalls weich und flexibel ausgeführt (Spezial-Kautschuk-Mischung).

Für die üblichen Einsatzfälle, wie auch im hier beschriebenen, ist eine Dimensionierung zu DN50 ausreichend, um die Förderaufgabe mit genügend Sicherheit zu bewältigen. Als Luftversorgung wurde ein Drehkolbengebläse mit den Kennwerten 150 m³/h Ansaugvolumenstrom und 800 mbar Druckerhöhung gewählt (7,5-kW-Motor).

Eine besondere Schwierigkeit tritt beim Austragen von Kalkhydrat aus dem Vorratssilo und dem Dosieren ins Förderorgan auf. Kalkhydrat ist normalerweise schwer fließfähig und

Abb. 3: Diffusoren der Injektor-Standardbaureihe, verschiedene Baugrößen und Werkstoffe



brückenbildend, neigt aber bei Luftzuführung zum Schießen. Die Gegenwart von Fluidisierluft oder Leckluft (siehe Kap. 2a) ist störend, da Kalkhydrat ein hohes Lufthaltevermögen besitzt (GELDART-Klassifikation C). Das Austragen wird dann sehr ungleichmäßig, da sich Phasen mit Luftaufnahme und Brückenbildung mit Phasen abwechseln, in denen das Material schießt. Geeignete Organe zum gleichmäßigen Austragen sind beispielsweise eine Schnecke mit kombinierter Rührarm-Vorrichtung oder, wie im hier betrachteten Beispiel, ein Vibrationsboden mit anschließender Vibrations-Dosierschnecke.

Die Dimensionierung von Injektor, Förderleitung und Gebläse ist besonders bei der Direktentschwefelung von entscheidender Bedeutung, da sich am Ende der Förderleitung meist ein Verteiler befindet, der gleichmäßig auf 2 - 6 Abgänge verteilt, welche über kürzere und kleinere Schläuche zu den Einblasdüsen führen, durch die in den Kessel eingeblasen wird (siehe auch [5]). Die Berechnung der Druckverluste dieser letztgenannten Elemente muss sorgfältig in die Gesamtrechnung eingebracht werden.

Die betrachtete Anlage läuft seit mehreren Jahren nahezu störungsfrei. Die Standzeiten der Spezial-Diffusoren sind im wesentlichen abhängig von Art und Menge der Verunreinigungen im selbst nicht besonders schleißenden Kalkhydrat. Die Standzeit kann meist nicht im voraus angegeben werden, da die (schleißenden) Verunreinigungen von Produkt zu Produkt variieren.

Die Abb. 3 zeigt die drei hauptsächlich in Injektoren der Standard-Baureihe eingesetzten Diffusoren:

- schwarz lackierter Diffusor, Baugröße DN100, Werkstoff St 52: Der Normalstahldiffusor (gehärtet) wird eingesetzt für nicht bis leicht schleißende Schüttgüter, z.B. leichte Filtersachen, Kunststoffe, etc.
- grauer Diffusor, Baugröße DN80, Werkstoff Si/SiC (Siliziumcarbid, keramisch): Der Si/SiC-Diffusor wird bei stark schleißenden Schüttgütern eingesetzt, z.B. Flug- und Grobsachen, Umlaufmaterial
- beigefarbener Diffusor, Baugröße DN50, weicher, gummiartiger Spezialwerkstoff: Dieser Diffusor ist insbesondere für die Kalkhydratförderung geeignet, durch die Elastizität bilden sich keine Anbackungen (Selbstreinigung).

4 Spezialanwendungen der pneumatischen Förderung mit Injektoren

Bei den in Kap. 2 betrachteten Anwendungen im sogenannten Mitteldruckbereich (siehe hierzu auch [3]) wurden ausnahmslos Drehkolbengebläse als Luftversorgung eingesetzt, da die für die Förderung erforderlichen relativ großen Luftmengen bei Druckerhöhungen von 500 - 1000 mbar für Mitteldruckinjektoren von diesem Verdichtertyp in wirtschaftlich günstigster Weise bereitgestellt werden können. In den allermeisten Fällen ist keine Nachbehandlung (Trocknung o.ä.) der verdichteten Luft erforderlich. Preiswertere Luftverdichter (Ventilatoren, Seitenkanalverdichter) dagegen scheiden überwiegend aufgrund der zu geringen möglichen Druckerhöhung für Mitteldruckinjektoren aus. Solche Luftverdichter haben aber für die Förderung mit Niederdruckinjektoren, eingesetzt beispielsweise zur Heu- oder Getreideförderung in der Landwirtschaft sowie zur Förderung von Kunststoffgranulaten etc. bei kleinen Entfernungen, eine große Bedeutung. Andererseits sind Verdichter mit hohen Enddrücken bei größeren Luftmengen unwirtschaftlich, wenn am Verbraucher (Mitteldruckinjektor) nur ein Vordruck von max. 1 bar (p_0) benötigt wird.

Es gibt jedoch Anwendungen, in denen der Hochdruckbereich wieder interessant wird. Dies gilt für geringe Förderleistungen (z.B. 0 - 30 kg/h) und den Einsatz von sogenannten Hoch-

druckinjektoren. In vielen Fällen kann ein vorhandenes Werksluftnetz "angezapft" werden. Die Beschaffung einer kleinen mobilen Drucklufteinheit (Kompressor, Abscheider, Trockner, Filter) ist für Verbräuche meist unter 80 Nm³/h aber auch nicht mit hohen Kosten verbunden. Im folgenden werden Beispiele aufgeführt, in denen Injektoren speziell für den Hochdruckbereich ausgelegt und konstruiert wurden.

Anwendung 4: Hochdruckinjektor zur Förderung und Zerstäubung von Gas-Feststoff-Gemischen

In der Verfahrenstechnik wird häufig die Aufgabe gestellt, Feststoffe in feinverteilter Form optimal in einen Reaktionsraum einzubringen. Beispielsweise werden in der Abgasreinigung Sorbentien in Abgaskanäle oder Feuerräume dispergiert eingetragen. Wichtig dabei ist eine ausreichende Eindringtiefe und Strahlaufweitung / Vermischung.

Der neu entwickelte Hochdruckinjektor löst diese Aufgaben und ist darüberhinaus noch in der Lage, die Sorbentien über einen kurzen Weg (max. ca. 10 m) anzusaugen. Dadurch kann bei kleineren Anlagen und kurzen Wegen die sonst notwendige zusätzlich zur Düse erforderliche pneumatische Zuförderanlage entfallen. Im Prinzip handelt es sich um eine besondere Bauform des bekannten Coanda-Injektors, wie er zum Beispiel in [1] beschrieben wird. Das Fördergut tritt mittig ein und durchläuft das Zentralrohr, welches keine Verengung aufweist und damit besonders vorteilhaft bei zu Verstopfungen neigenden Sorbentien ist. Ein koaxial über einen Spalt austretende Luftfilm legt sich von außen um den Feststoff bzw. um das Düsenendstück und mischt sich mit dem Sorbens. Durch die hohen Geschwindigkeiten im Spalt und das ausgeprägte Schergefälle wird eine ausgezeichnete Dispergierung des Feststoffes im Luftstrahl erreicht. Der Aufweitungswinkel des Luft-/Feststoffgemisches lässt sich durch die Düsenkontur beeinflussen. Übliche Beladungen von ca. 0,5 bis 3 kg Feststoff pro kg Luft sind möglich.

Die Luft wird aus einem meist vorhandenen Pressluftnetz mit 6 - 7 bar (p_0) entnommen oder in einer kleinen mobilen Einheit vor Ort erzeugt. Die Luftmenge richtet sich nach der zu fördernden bzw. zu zerstäubenden Feststoffmenge und den Bedingungen des Reaktionsraumes, insbesondere falls dort Überdruck herrscht. Ohne weitere Hilfsmittel können Gegendrücke bis ca. 80 - 100 mbar (p_0) überwunden werden. Die Kennlinie eines solchen Hochdruck-Einblasinjektors ist in Abb. 4 dargestellt. Durch Justage der Spaltweite kann der gewünschte Betriebspunkt wie auch die Zerstäubungsintensität eingestellt werden. Die Förderluft muss trocken (kältegetrocknet als Mindestanforderung), partikel- und ölfrei sein. Luftmenge und -druck können mit Durchflussmessgerät bzw. Manometer überwacht werden. Der Einblasinjektor lässt sich leicht über einen Rohrfansch (hier DN100) und -stutzen an den Reaktionsraum anschließen (siehe Abb. 5).

Zusammenfassend löst der neue Hochdruckinjektor die Teilaufgaben

- gute Dispergierung,
- definierte Eindringtiefe und
- pneumatische Ansaugung über kurze Distanz

in einfacher, platzsparender und zuverlässiger Weise. Durch die wenigen Elemente einer solchen Einblasanlage können erhebliche Kosten eingespart werden. Ein Test vor Ort ist auf einfache Art und Weise möglich.

Bevorzugte Einsatzgebiete sind beispielsweise Rauchgasreinigungen in Müllverbrennungsanlagen, wo bei leichten Unterdrücken in den Rauchgaskanal eingedüst wird.

Die Abb. 5 zeigt den Einblasinjektor während eines Spezialeinsatzes (Druckluftanschluss grün, Saugleitung schwarz, Mano-

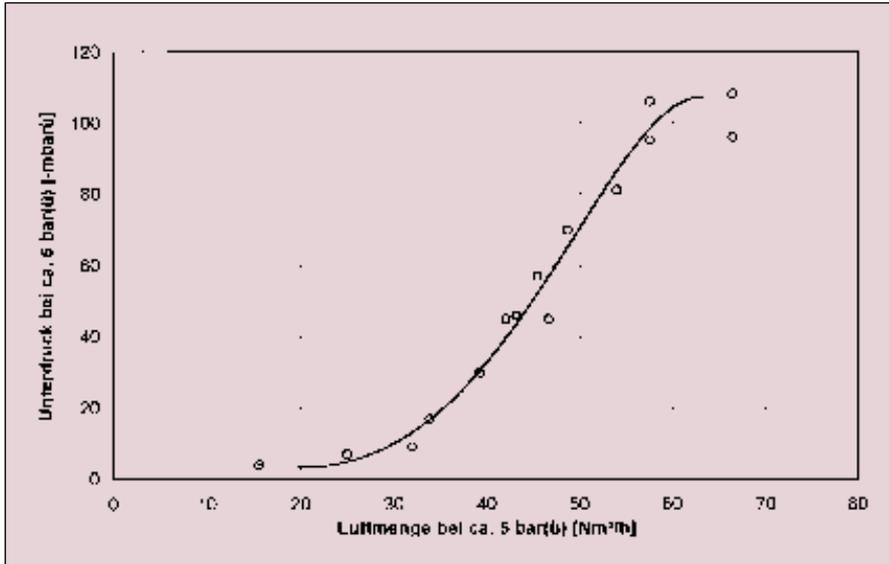


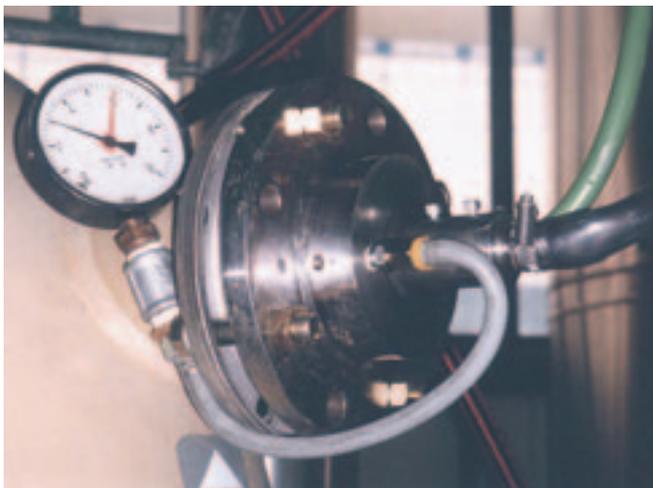
Abb. 4:
Kennlinie eines
Hochdruck-Einblasinjektors

meterleitung grau). Er ist in einen Bogen einer 350er GFK-Leitung montiert und dispergiert eine Menge von ca. 1 kg/h Aktivkohle im Gleichstrom in das Prozessgas, um dort unerwünschte Dioxine u.ä. zu binden. Sogar bis zu einem Gegendruck von 120 mbar (p_g) in der Förderleitung kann die Anlage bei einem Luftbedarf von ca. 60 Nm³/h (trockene Druckluft 6 bar aus dem Werksnetz) ohne Hilfsmittel betrieben werden. Dosiert wird über eine eigens dafür konstruierte frequenzgetriebene Dosierschnecke. Beim Anstieg des Gegendruckes in der Leitung auf über 120 mbar (p_g) reicht die dynamische Druckabspernung nicht mehr aus, und als Folge davon tritt rückwärts Prozessgas aus. In diesem Fall kann die Anwendung 5 zum Einsatz kommen.

**Anwendung 5:
Mini-Hochdruck-Injektor, hier als Treibinjektor**

Der in Abb. 6 gezeigte Mini-Hochdruck-Injektor (aus Edelstahl) wurde in der oben beschriebenen Einblasanlage als Treibinjektor eingesetzt, um den Prozessgegendruck von bis zu 200 mbar (p_g) gemeinsam mit dem nachgeschalteten Einblasinjektor zu überwinden. Der Materialeinlauf (im Photo oben) wurde mit dem Abgang der Dosierschnecke verbunden, das förderseitige Ende mit dem Saugschlauch des Einblasinjektors. Mit dieser Verschaltung konnte die Förderung erfolgreich aufrecht erhalten

Abb. 5: Hochdruck-Einblasinjektor zur Förderung von Sorbentien und Dispergierung in ein Reaktionsraum



werden. Der Eigenluftbedarf des Treibinjektors beträgt ca. 10 - 15 Nm³/h (trockene Druckluft 6 bar aus dem Werksnetz).

Die Konstruktion von Hochdruckinjektoren setzt die Kenntnis und Umsetzung der im Injektor ablaufenden fluiddynamischen Abläufe voraus. Die Konturen der Düse müssen beispielsweise so genau wie möglich an eine Lavaldüse angenähert werden, damit der Hochdruckstrahl ohne Verdichtungsstöße in den Überschallbereich entspannen kann.

Beim Einsatz von Injektoren dieser Größe kommen den Eigenschaften des zu fördernden Schüttgutes besondere Bedeutung zu. Das Material sollte frei fließend und trocken sein, da der Einlauf aufgrund seines kleinen Querschnittes sonst verstopfungsanfällig ist. Auf die Gleichmäßigkeit der Zudosierung ist ebenfalls zu achten, um Überschüttungen und daraus resultierende Störungen der Förderung zu vermeiden.

**Anwendung 6:
Hochdruckinjektor im Baukastensystem für
verschiedene Nennquerschnitte**

Zu Versuchszwecken wurde ein Hochdruckinjektor (Abb. 7, Werkstoff Edelstahl) entwickelt, der für verschiedene Nennquerschnitte (hier DN25 und DN32) der anschließenden Förderleitung und damit für unterschiedliche Förderleistungsbereiche und Luftverbräuche einsetzbar ist. Der Injektor wurde dafür so gestaltet, dass sowohl Düse als auch Diffusor austauschbar sind. Für den Betrieb in DN25 liegt der Luftverbrauch bei ca. 35 - 40 Nm³/h, die Förderleistung (Al_2O_3 pulverförmig, Schüttdichte 800 kg/m³, Körnung 0 - 200 μm) bei max. 80 kg/h, beim Einsatz als DN32-Injektor beträgt der Luftbedarf ca. 55 - 60 Nm³/h, die Förderleistung max. 200 kg/h. Beim Betrieb im überkritischen Druckbereich (Vordruck > 1 bar (p_g) überkritisch)

Abb. 6: Hochdruck-Injektor DN12 aus Edelstahl





Abb. 7:
Hochdruckinjektor im
Baukastensystem aus Edelstahl,
Betrieb wahlweise in DN25 oder DN32

ist die Druckluftmenge konstant und nur vom eingestellten Vordruck abhängig. Rückwirkungen aus dem Förderprozess, wie sie beim Betrieb im Niederdruckbereich (Vordruck < ca. 1 bar (p_e) unterkritisch) beobachtet werden, treten nicht auf (Ausnahme Totalverstopfung). Dies begünstigt einen stabilen Förderprozess und damit eine gute Gesamtperformance der Förderanlage.

Dem Eintrag von Falschluff kommt beim Hochdruckinjektor eine besondere Bedeutung zu. Unterdrücke bis zu 300 mbar im Aufgabebereich sind gemessen worden (am Treibinjektor aus Anwendung 6). Diese hohen Unterdrücke sind meist nicht erwünscht, als Folge kann das zudosierte Material durch das Dosierorgan gesaugt werden, was nicht im Sinne der Dosierfunktion ist und im Dosierorgan verstärkt Verschleiß verursacht. Gleichzeitig wird durch hohen Unterdruck angezeigt, dass die Förderanlage weit vom Auslegungspunkt betrieben wird. Eine gute Auslegung im Sinne optimaler Energieausnutzung ist dann in die Praxis umgesetzt, wenn der Unterdruck im Betriebszustand nahezu Null ist, allenfalls ein leichter Unterdruck zur Unterstützung des Eintrags herrscht. Verändert sich der Betriebszustand, z.B. durch Abnahme der Dosierleistung (innerhalb eines Regelbereiches), erhöht sich der Unterdruck automatisch, da die eingetragene Energie konstant ist (s.o.). Dann ist es wichtig, den Unterdruck durch Falschluffeintrag zumindest teilweise zu eliminieren. Hier können beispielsweise federbelastete Rückschlagklappen, welche bei definiertem Unterdruck öffnen, Verwendung finden.

Das Zusammenspiel aus Injektorvordruck, Unterdruck im Aufgabebereich und (selbständiges) Öffnen der Rückschlagklappe ermöglicht ein einfaches Bedienen der Förderanlage. Durch das Einstellen des Vordruckes am Druckminderer bis zu dem Punkt, an dem die Rückschlagklappe gerade öffnet, ist der gewünschte Betriebszustand schnell gefunden.

5 Zusammenfassung

Injektoren können in vielfältiger Weise bei der Förderung von Schüttgütern eingesetzt werden. Durch Konstruktionsvarianten und geeignete Werkstoff- sowie Baugrößenwahl lassen sich die Vorteile der Injektorförderung für fast jede Aufgabenstellung nutzen. Vorgestellt wurden Injektoren für den Mittel- und den Hochdruckbereich, für Förderleistungen zwischen 1 und 3.500 kg/h, für schleißende und zu Anbackungen neigende Schüttgüter, für Guttemperaturen von 20 - 350°C, als Förderorgan wie auch gleichzeitig als Düse zur Dispergierung in Reaktionsräume.

Der sorgfältigen Auslegung, Prüfung der Materialeigenschaften sowie Einbindung ins Anlagengesamtkonzept kommt dabei eine besondere Bedeutung zu.

Literatur

- [1] K. SCHNEIDER: Einsatz des Gas-Feststoff-Injektors als Einschleusorgan bei der pneumatischen Förderung von Schüttgütern. Schüttgut 2 (1996) 2, S. 217ff
- [2] W. HUTT: Untersuchung der Strömungsvorgänge und Ermittlung von Kennlinien an Gutaufgabeinjektoren zur pneumatischen Förderung. Diss. Univ. Stuttgart-Hohenheim, 1983
- [3] H.P. SCHLAG: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Berechnung der Kennlinien von gasbetriebenen Einphaseninjektoren und Gutaufgabeinjektoren. Fortschrittberichte VDI, Reihe 3, Nr. 313, Düsseldorf, 1993
- [4] U. WAGENKNECHT: Untersuchung der Strömungsverhältnisse und des Druckverlaufes in Gas-/Feststoff-Injektoren. Diss. Uni. Braunschweig, 1981
- [5] K. SCHNEIDER: Mopping-up Pollution/ Practical Experience with Pneumatic Injection and Conveying Systems. Gypsum, Lime & Building Products Vol. ??? (1996) 1, S. 23ff

Ingenieurbüro für Umwelt- und Verfahrenstechnik

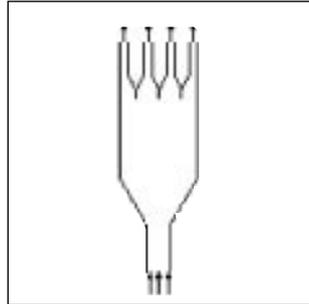
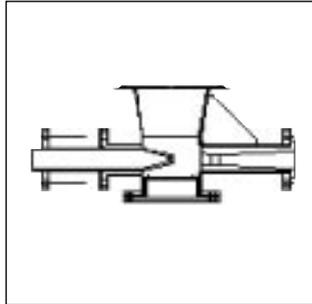
KLAUS SCHNEIDER

Niehler Str.151-153 • D-50733 Köln

Tel. 0221 / 71241-33 (Fax -55)

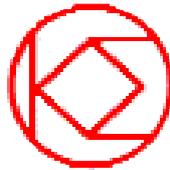
<http://www.enviro-engineering.de>

E-mail: info@enviro-engineering.de



LIEFERUNG VON:

- Injektoren
- Druckgefäßförderern
- Hochdruck-Einblasdüsen
- Verteilern
- Förderanlagen



KS-ENGINEERING'S KNOW-HOW:

- Schüttguthandling
- Pneumatische Förderung
- Umwelttechnik - Luftreinhaltung
- Rauchgasentschwefelung
- Sieben / Sichten / Abscheiden
- Einblas- und Wirbelschichtverf.

UNSER ANGEBOT AN SIE:

- Beratung / Consulting in allen Fragen der Anlagentechnik
- Projektierung / Abwicklung, Basic / Detail
- Inbetriebnahme / Wartung
- Optimierungsuntersuchungen / Messungen
- Studien / Technische Software

