

# Einsatz des Gas-Feststoff-Injektors als Einschleusorgan bei der pneumatischen Förderung von Schüttgütern

K. Schneider, Köln

## 1 Einleitung

Injektoren werden bereits seit mehr als 150 Jahren industriell genutzt. Bereits 1820 wurden von STEPHENSON Injektoren in den Schornstein von Dampflokomotiven eingebaut, um den Zug der Rauchgasabführung zu vergrößern. Auch anderweitig wurden etwa zu gleicher Zeit Injektoren als Strahlpumpen zur Wasserförderung (THOMPSON, 1852) und von BUNSEN zur Vakuumherzeugung sowie als Injektoren-Gasbrenner eingesetzt. Dabei handelt es sich um Gas-Gas bzw. Flüssigkeit-Gas-Injektoren. Injektoren zur pneumatischen Förderung wurden erstmals 1928 von DENCKER zum Einschleusen von Heu und Stroh in der Landwirtschaftstechnik untersucht [1].

Seitdem haben die Injektoren wegen ihrer vielen Vorteile in der pneumatischen Fördertechnik einen festen Platz gefunden.

Allerdings sind Injektoren nicht überall kritiklos einsetzbar, sondern die unbestreitbaren Vorteile sind an bestimmte Voraussetzungen bezüglich Fördermaterial, Anlagenbau und Luftversorgung gebunden. Dieser Artikel soll zeigen, wie Injektoren praxisgerecht eingesetzt werden können, welche Schwierigkeiten bei falschem Einsatz auftreten können und wie diese unerwünschten Erscheinungen beseitigt bzw. vermieden werden können.

Wir werden uns hier wegen der Vielfalt von Anwendungsmöglichkeiten auf den Einsatz von Gas-Feststoffinjektoren im Bereich der Kraftwerk- und Umwelttechnik beschränken. Als Treibmedium wird ausschließlich Luft eingesetzt. Die genannten Beispiele sind aber typisch für das gesamte Anwendungsspektrum und

sollen die Vor- bzw. Nachteile der Injektoren anhand von Einzelfällen symbolisch darstellen.

Die verfahrenstechnische Auslegung von Injektoren nach dem neuesten Stand der Technik wird Gegenstand einer weiteren separaten Veröffentlichung sein, während dieser Artikel die mehr praktischen Probleme und deren Lösungen aus Sicht des Betreibers und Planers von pneumatischen Förderanlagen beschreiben soll.

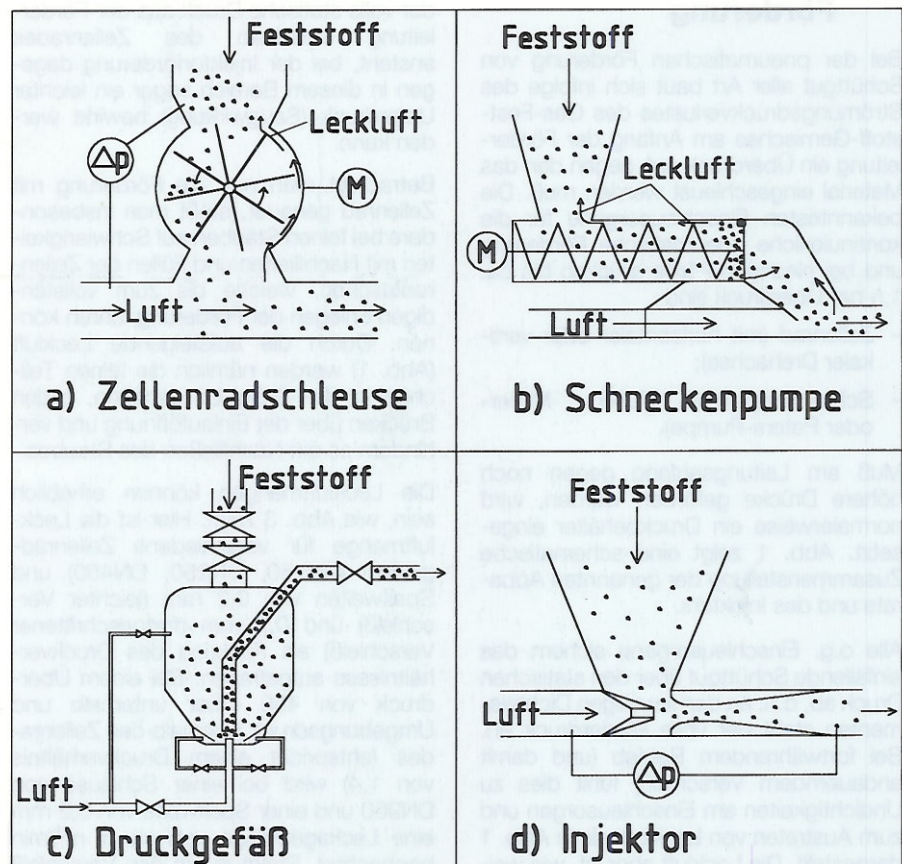
Dieser Artikel wurde geschrieben für

- Betreiber, die Schwierigkeiten mit einer normalen pneumatischen Zellenradförderung (Leckluftabführung, Stau

des Fördergutes vor Zellenrad, ungenügende Förderleistung, großer Verschleiß am Zellenrad, Produktionsstillstände etc.) haben

- Betreiber und Planer, die kleine Mengen an Schüttgut sicher über kürzere Entfernungen pneumatisch transportieren wollen
  - insbesondere wenn kontinuierliche Förderung erforderlich ist
  - bei backenden und haftenden Stäuben
  - bei hohen Temperaturen
  - wenn keine Leckluft im Aufgaberaum auftreten darf;

Abb. 1: Einschleusorgane für die pneumatische Förderung



Dipl.-Phys.-Ing. Klaus Schneider, Ingenieurbüro für Umwelt- und Verfahrenstechnik, Stammheimer Straße 12, D-50735 Köln  
Tel: 0221 / 76 77 70 • Fax: 0221 / 76 77 70  
Über den Autor: Seite 326



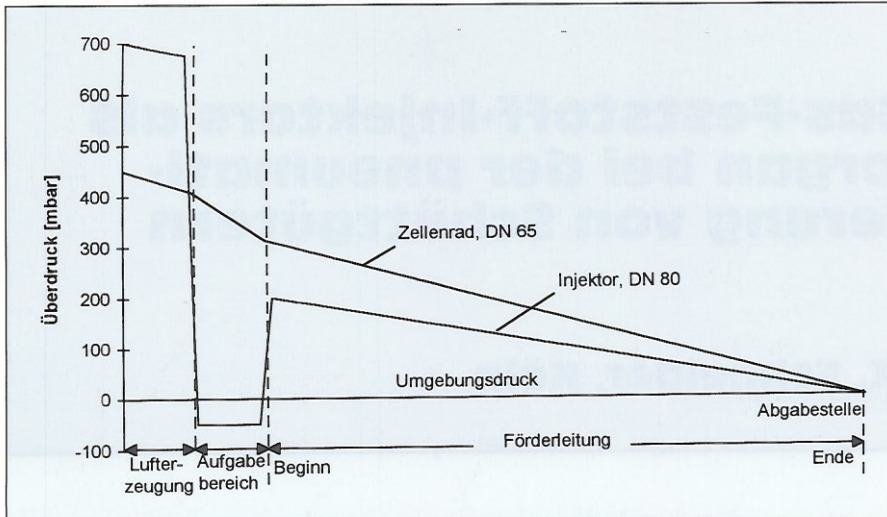


Abb. 2: Druckverlauf einer pneumatischen Förderanlage für Zellenrad und Injektor als Einschleusorgan

- Betreiber und Planer, die mit der pneumatischen Förderung weitere verfahrenstechnische Ziele (z.B. Einschleusen von Feststoffen in Verbrennungsanlagen oder Rauchgaskanäle zur Verringerung der Schadstoffbelastung von Abgasen etc.) erreichen wollen;
- Betreiber, die bereits über eine Injektorförderung verfügen, welche aber nicht zufriedenstellend arbeitet.

## 2 Einschleusorgane bei der pneumatischen Förderung

Bei der pneumatischen Förderung von Schüttgut aller Art baut sich infolge des Strömungsdruckverlustes des Gas-Feststoff-Gemisches am Anfang der Förderleitung ein Überdruck auf, gegen den das Material eingeschleust werden muß. Die bekanntesten Einschleusorgane für die kontinuierliche pneumatische Förderung und bei niedrigen Förderdrücken bis ca. 1,5 bar Überdruck sind

- Zellenrad (mit horizontaler oder vertikaler Drehachse);
- Schneckenpumpe (Fuller-, Möller- oder Peters-Pumpe).

Muß am Leitungsanfang gegen noch höhere Drücke gefördert werden, wird normalerweise ein Druckbehälter eingesetzt. Abb. 1 zeigt eine schematische Zusammenstellung der genannten Apparate und des Injektors.

Alle o.g. Einschleusorgane sichern das einfallende Schüttgut über den statischen Druck ab, d.h. an den jeweiligen Dichtelementen steht der volle Förderdruck an. Bei fortwährendem Betrieb (und damit andauerndem Verschleiß) fühlt dies zu Undichtigkeiten am Einschleusorgan und zum Austreten von Leckluft wie in Abb. 1 dargestellt. Die Leckluft aber ist, wie wei-

ter unten ausführlich erläutert, Hauptursache für fast alle Störungen.

Anders beim Injektor: Hier wird die Abdichtung über den dynamischen Druck des Treibstrahls erreicht und das Fördergut in die Leitung eingeschleust. Bei richtig dimensioniertem Injektor herrscht an der Aufgabestelle stets ein leichter Unterdruck. Damit wird aufsteigende Leckluft sicher vermieden.

In Abb. 2 ist der Druckverlauf einer pneumatischen Förderanlage (Zellenradförderung, Injektorförderung) schematisch dargestellt. Man erkennt, daß im Bereich der Gutaufgabe bei der Zellenradförderung der volle statische Druck aus der Förderleitung unterhalb des Zellenrades ansteht, bei der Injektorförderung dagegen in diesem Bereich sogar ein leichter Unterdruck (Saugwirkung) bewirkt werden kann.

Betrachtet man nun die Förderung mit Zellenrad genauer, stößt man insbesondere bei feinen Stäuben auf Schwierigkeiten mit Nachfließen und Füllen der Zellenradtaschen, welche bis zum vollständigen Erliegen der Förderung führen können. Durch die aufsteigende Leckluft (Abb. 1) werden nämlich die feinen Teilchen in der Schwebe gehalten, bilden Brücken über der Einlauföffnung und verhindern so ein Nachfließen des Staubes.

Die Leckluftmengen können erheblich sein, wie Abb. 3 zeigt. Hier ist die Leckluftmenge für verschiedene Zellenradgrößen (DN150, DN250, DN450) und Spaltweiten von 0,2 mm (leichter Verschleiß) und 0,5 mm (fortgeschrittener Verschleiß) als Funktion des Druckverhältnisses aufgetragen. Bei einem Überdruck von 400 mbar unterhalb und Umgebungsdruck oberhalb des Zellenrades (entspricht einem Druckverhältnis von 1,4) wird bei einer Schleuse von DN250 und einer Spaltweite von 0,2 mm eine Leckagemenge von ca. 1 m<sup>3</sup>/min beobachtet. Steigt durch den Verschleiß

die Spaltbreite auf 0,5 mm an, vergrößert sich die Leckagemenge auf ca. 3,5 m<sup>3</sup>/min und der gesamte Einlauftrichter kann je nach Materialeigenschaften fluidisiert werden.

Bei Injektoren dagegen wird im Aufgabetrichter ein Unterdruck erzeugt, bzw. Luft mit Material angesaugt und somit jegliche aufsteigende Leckluft vermieden. Die beschriebenen Störungen wie Rückblasen, Verstopfen in der Gutzuführung etc. können vollständig eliminiert werden. Das Nachfließen des Materials vom Dosierorgan zum Injektor kann durch eine richtig angebrachte Rückschlagklappe noch unterstützt werden.

Weiter lassen sich folgende Vorteile des Injektors herausstellen

- Durch dosierte Falschluffansaugung (Rückschlagklappe) lassen sich Anbackungen im Zulauf vermeiden bzw. die Zuführung von Schüttgütern mit kleinen Partikelgrößen unterstützen, d.h. das Schüttgut wird in den Injektor gesaugt.
- Injektoren sind wartungsarm, d.h. außer einer Sichtkontrolle (Unterdruck im Gehäuse) ist keine weitere Wartung erforderlich.
- Die Förderung mit Injektoren erfolgt kontinuierlich, der Materialfluß wird nicht gestoppt oder unterbrochen.
- Injektoren enthalten keine beweglichen Teile und sind auch für hohe Temperaturen geeignet.

## 3 Aufbau eines Injektors

Der Aufbau eines Injektors (Grundform) wird in Abb. 4 gezeigt. Der Injektor enthält (außer einer eventuellen Rückschlagklappe) keine bewegten Teile. Nachfolgend werden die wichtigsten Bauteile kurz beschrieben.

### 3.1 Treibdüse und Aufgabetrichter

Der Luftstrom wird in der Treibdüse auf hohe Geschwindigkeiten (bis max. Schallgeschwindigkeit, in Lavaldüsen auch höher) beschleunigt. Dabei wird die potentielle Energie des Luftstromes in kinetische Energie umgesetzt. Der Treibstrahl tritt mit Umgebungsdruck in die Fangdüse und das Mischrohr ein.

Dadurch wird erreicht, daß das über den Fördertrichter zugeführte Schüttgut ohne zusätzliche mechanische Abdichtung in die Förderleitung eingetragen werden kann. Um ein Ausblasen insbesondere staubförmiger Partikel durch den Aufgabetrichter zu vermeiden, muß der Injektor so ausgelegt werden, daß auch bei Nennleistung ein geringer zusätzlicher Gasstrom aus der Umgebung mit angesaugt wird.



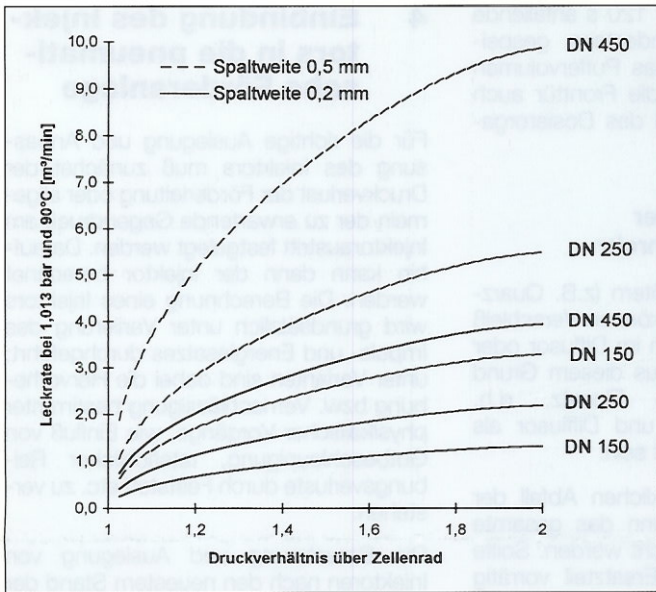
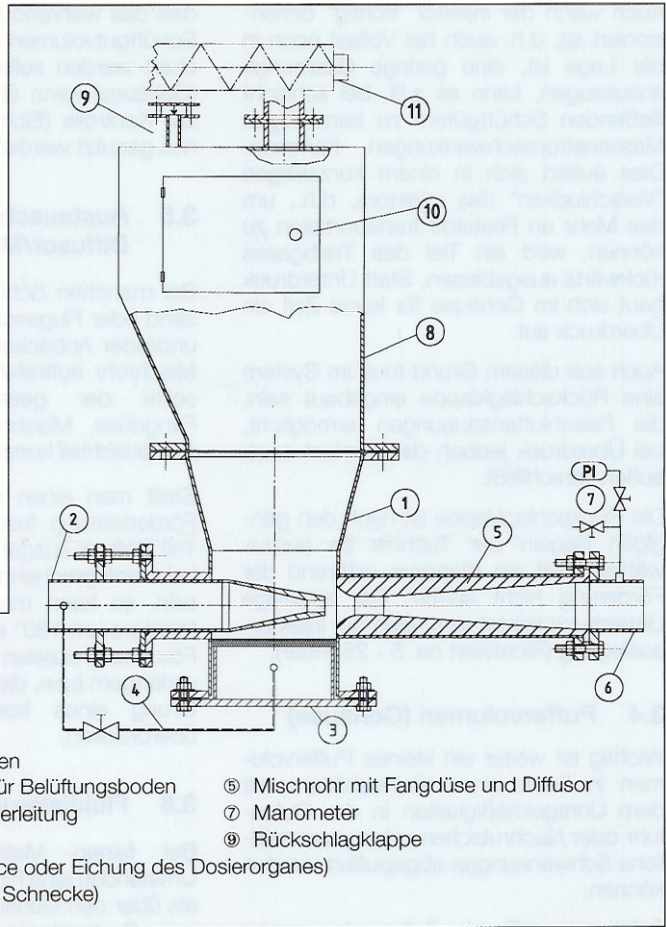


Abb. 3: Leckluftmengen verschiedener Zellenradgrößen in Abhängigkeit vom Druckverhältnis



- ① Gehäuse
- ② Treibdüse (austauschbar) mit Düsenstock (einstellbar)
- ③ Fluidisierungsboden
- ④ Handeinstellung für Belüftungsboden
- ⑤ Mischrohr mit Fangdüse und Diffusor
- ⑥ Anschluß für Förderleitung
- ⑦ Manometer
- ⑧ Pufferbehälter
- ⑨ Rückschlagklappe
- ⑩ Tür (z.B. für Service oder Eichung des Dosierorganes)
- ⑪ Dosierorgan (z.B. Schnecke)

Abb. 4: Aufbau eines Injektors

### 3.2 Mischrohr und Diffusor

Der Treibstrahl wird im Mischrohr wieder verzögert und die kinetische Energie wird unter erheblichen Verlusten wieder in potentielle Druckenergie umgewandelt. Ein Teil der Energie wird zur Beschleunigung des Feststoffes und der zusätzlich angesaugten Falschlufmenge verbraucht.

Der Diffusor verzögert die Geschwindigkeit des Luftstromes weiter bis auf den Wert des sich anschließenden Förderleitungssystemes und sorgt so für einen weiteren Druckrückgewinn. Treibdüse, Mischrohrdurchmesser und -länge sowie Diffusor müssen sorgfältig aufeinander und auf das Fördergut abgestimmt werden, um einen möglichst hohen Wirkungsgrad des Injektors zu erhalten.

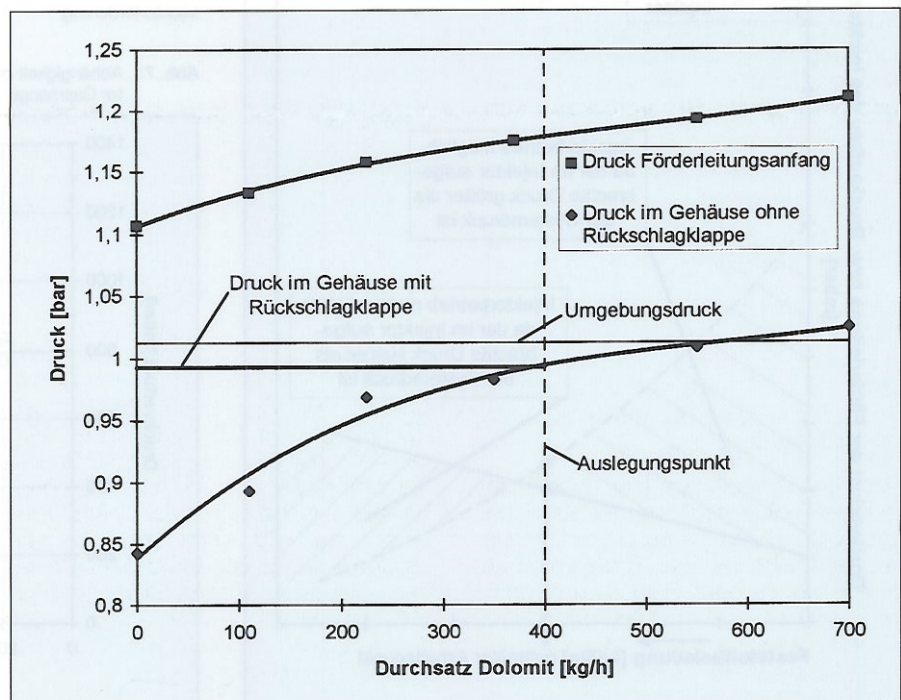
### 3.3 Rückschlagklappe

Die schon erwähnte Rückschlagklappe dient dem Eintritt von Falschluff. Wird die Anlage nicht mit einer konstanten Last (Fördermenge) betrieben, sondern sind auch Teillasten möglich, kann es dabei zu hohen Unterdrücken im Injektorgehäuse kommen. Abb. 5 zeigt für die Förderung von Dolomit den Einfluß der Fördermenge auf den Druck am Förderleitungsanfang und den Druck im Gehäuse (ohne Rückschlagklappe). Der geforderte Material-

durchsatz beträgt 400 kg/h. Man erkennt, daß bei dieser Leistung der Druck im Gehäuse noch unter dem Umgebungsdruck liegt. Ungünstigstenfalls kann ohne Rückschlagklappe das Material (z.B. aus einer Dosierschnecke)

angesaugt werden. Um diese Problematik zu vermeiden, wird über die Rückschlagklappe für einen Falschluffeintritt gesorgt und der Unterdruck auf einem definierten Niveau gehalten.

Abb. 5: Drücke im Injektorgehäuse und am Förderleitungsanfang als Funktion des Massenstromes





Auch wenn der Injektor "richtig" dimensioniert ist, d.h. auch bei Vollast noch in der Lage ist, eine geringe Gasmenge anzusaugen, kann es z.B. bei schlecht fließenden Schüttgütern zu kurzzeitigen Massenstromschwankungen kommen. Dies äußert sich in einem kurzzeitigen "Verschlucken" des Injektors, d.h., um das Mehr an Feststoff transportieren zu können, wird ein Teil des Treibgases rückwärts ausgeblasen. Statt Unterdruck baut sich im Gehäuse für kurze Zeit ein Überdruck auf.

Auch aus diesem Grund muß im System eine Rückschlagklappe eingebaut sein, die Falschlufansaugungen ermöglicht, bei Überdruck jedoch das System nach außen verschließt.

Die Rückschlagklappe ist nach den gängigen Regeln der Technik so auszuwählen, daß ein Klappern während der Förderung nicht auftritt. Der zulässige Unterdruck richtet sich nach der Injektorauslegung (Richtwert ca. 5 - 25 mbar).

**3.4 Puffervolumen (Gehäuse)**

Wichtig ist weiter ein kleines Puffervolumen in Form eines Kleinbehälters mit dem Unregelmäßigkeiten in der Gutzufuhr oder Nachrutschen oder unvermeidliche Schwankungen abgepuffert werden können.

Setzt man z.B. ein Zellenrad zu nahe (ohne Pufferbehälter) auf den Injektor, kann sich Material im Injektorzulauf verpressen und die Förderung kommt zum Erliegen. Für die Dimensionierung des Behälters kann als Anhaltswert gelten,

daß das während 90 - 120 s anfallende Schüttgutvolumen mindestens gespeichert werden sollte. Das Puffervolumen (Gehäuse) kann über die Fronttür auch zur Kontrolle (Eichung) des Dosierorgans genutzt werden.

**3.5 Austauschbarer Diffusor/Mischrohr**

Bei manchen Schüttgütern (z.B. Quarzsand oder Flugasche) können Verschleiß und/oder Anbackungen im Diffusor oder Mischrohr auftreten. Aus diesem Grund sollte der gesamte Einsatz, d.h. Fangdüse, Mischrohr und Diffusor als Austauschteil konzipiert sein.

Stellt man einen merklichen Abfall der Förderleistung fest, kann das gesamte Teil einfach ausgetauscht werden. Sollte kein entsprechendes Ersatzteil vorrätig sein, so kann man durch Drehen des Injektors um 180° eine Verbesserung der Förderung erzielen und so die Standzeit verlängern bzw. die Wartezeit bis zur Lieferung eines kompletten Ersatzteiles überbrücken.

**3.6 Fluidisierungsboden**

Bei feinen Materialien kann unter Umständen eine Fluidisierung des Materials über den Gehäusebodens von Vorteil sein. So kann ein besseres Nachfließen des Schüttgutes zum Injektoreintritt erreicht werden. Der Boden ist leicht zu demontieren (abklappbar) um so eine einfache Reinigungs- und Entleerungsmöglichkeit zu schaffen.

**4 Einbindung des Injektors in die pneumatische Förderanlage**

Für die richtige Auslegung und Anpassung des Injektors muß zunächst der Druckverlust der Förderleitung oder allgemein der zu erwartende Gegendruck am Injektoraustritt festgelegt werden. Daraufhin kann dann der Injektor berechnet werden. Die Berechnung eines Injektors wird grundsätzlich unter Variierung des Impuls- und Energiesatzes durchgeführt; unter Varianten sind dabei die Hervorhebung bzw. Vernachlässigung bestimmter physikalischer Vorgänge, wie Einfluß von Gutbeschleunigung, tatsächlicher Reibungsverluste durch Feststoff etc. zu verstehen.

Die Berechnung und Auslegung von Injektoren nach den neuestem Stand der Technik soll in einer separaten Arbeit beschrieben werden. Deshalb wurde auch nur kurz auf die wichtigsten Bauteile wie Treibdüse und Mischrohr/Diffusor eingegangen. Hier sollen die mehr praktischen Anwendungen und die Vermeidung von Aufstellungs- und Planungsfehlern im Vordergrund stehen.

Wegen ihrer steilen Kennlinie für Volumenstrom und Druck werden als Luftlieferanten für die Injektorförderung bevorzugt die preiswerten Dreikolbengebläse eingesetzt. Dies bedeutet aber auch, daß ein maximaler Vordruck des Injektors von 900 - 1000 mbar(ü) keinesfalls überschritten werden darf.

Abb. 6 zeigt den Kennlinienverlauf für den Injektor und die zugehörige pneumatische Förderleitung als Funktion der Feststoffbeladung. Der durch den Injektor aufgebaute Druck muß mindestens so hoch sein wie der Druckverlust der För-

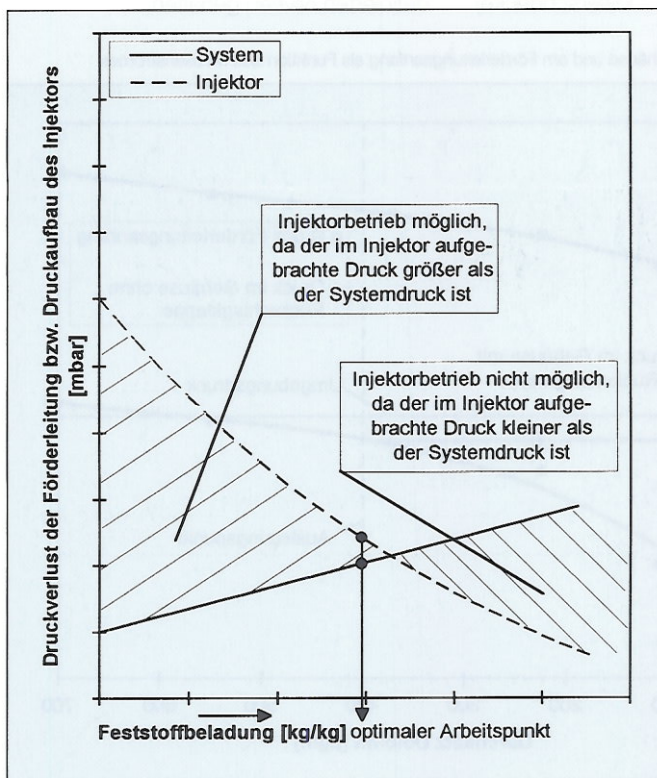
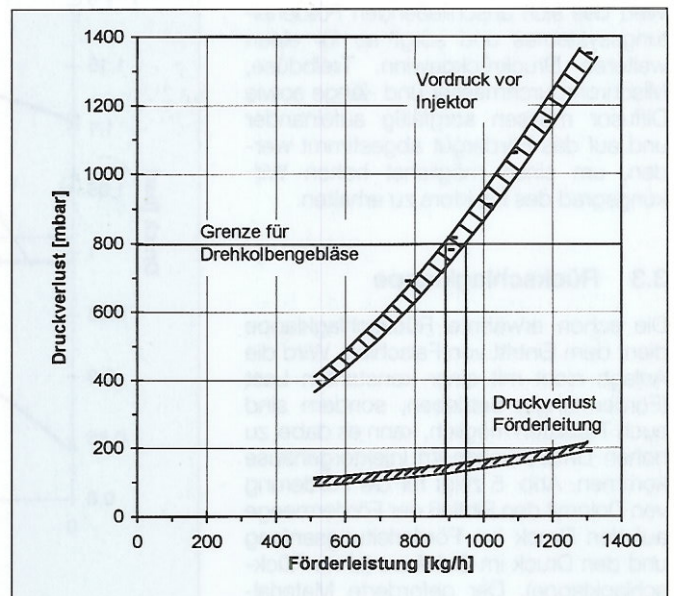


Abb. 6: Arbeitsdiagramm für die pneumatische Injektorförderung

Abb. 7: Abhängigkeit des Injektorvordruckes von der Förderleistung bei konstanter Gasmenge





derleitung. Der Druckaufbau des Injektors wird bei steigender Feststoffbelastung stärker zurückgehen als der Druckverlust der Förderleitung zunimmt. Es kann so ein optimaler Arbeitspunkt (links vom Schnittpunkt der Kennlinien) festgelegt werden, welcher in Abb. 6 gekennzeichnet ist. Links vom Schnittpunkt ist ein Einspeisen des Materials über den Injektor möglich, da an der Aufgabestelle jederzeit ein Unterdruck erzeugt wird. Rechts vom Schnittpunkt der Kennlinien ist der Druckverlust der Förderleitung größer als der Druckaufbau über den Injektor. Ein Einschleusen des Materials über den Injektor ist zwar unter Umständen möglich, jedoch herrscht dann an der Aufgabestelle ein Überdruck (siehe auch Abb. 5) und die erwünschte Wirkung des Injektors fehlt.

Da die Beladung den notwendigen Injektorvordruck stark beeinflusst, ist hier mit besonderer Sorgfalt vorzugehen. In den allermeisten Fällen sind die Injektoren als sogenannte Mitteldruck-Injektoren anzusehen. Diese sind nach [2] gekennzeichnet durch ein Druckverhältnis  $P_{\text{vor}}/P_{\text{system}}$  zwischen 1,2 und 3. Bezogen auf den Umgebungsdruck als Systemdruck kann sich damit der Injektorvordruck zwischen 1,2 und 3 bar absolut bewegen. Ist das Druckverhältnis größer oder kleiner spricht man von Hoch- oder Niederdruckinjektoren.

In Abb. 7 wird am Beispiel einer Ascheförderung gezeigt, wie entscheidend die Beladung für den notwendigen Injektorvordruck ist. Man erkennt daß bei konstanter Luftmenge aber steigender Beladung recht schnell der kritische Punkt erreicht wird. Der maximale Vordruck war bei dem vorhandenen Drehkolbengebläsen auf ca. 800 mbar(ü) begrenzt und dadurch auch die max. Förderleistung auf ca. 900 kg/h beschränkt.

Da Injektoren, wie schon besprochen, recht hohe Energien für den Einschleusvorgang benötigen, sollte natürlich der maximale Druck möglichst gut ausgenutzt werden, da andererseits mit den Luftmengen auch die Investitionskosten für Rohrleitungen, Luffterzeugung und Bunkeraufsatzfilter ansteigen.

Die Auswahl der Transportgeschwindigkeit ist abhängig von dem eingesetzten Schüttgut und der Froudezahl der Rohrleitung. Bei feinkörnigen Feststoffen sind Gasgeschwindigkeiten (insbesondere in kleineren Leitungen) von ca. 16 - 20 m/s völlig ausreichend. Da auch die meisten anderen Förderanlagen (auch Druckgefäßförderungen) mit Endgeschwindigkeiten in dieser Größenordnung arbeiten, kann so dem weitverbreiteten Vorurteil eines erhöhten Rohrleitungsverschleisses bei der Injektorförderung widersprochen werden.

	Kalkstein CaCO <sub>3</sub>	Kalkhydrat Ca(OH) <sub>2</sub>	Dolomit CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Magnesiumoxid MgO
mittlerer Partikel- durchmesser $d_{50}$ mm	0,01-0,02	0,0025-0,004	0,015-0,025	0,02-0,03
spez. Dichte kg/m <sup>3</sup>	2.700	2.300	2.900	3.500
Schüttdichte kg/m <sup>3</sup>	800-1.200	300-500	950-1.300	60-80
Schüttwinkel °	30-45	40-55	35-45	45-60
Mohshärte	2-4	1,5-3	2-4	1-2
spez. Oberfläche m <sup>2</sup> /g	0,8-5	20-45	0,5-2	
Geldart- Klassifikation	1/1	A/C	A/C	C

Tab. 1: Physikalische Eigenschaften der Schüttgüter

## 5 Beispiele für ausgeführte Anlagen

### 5.1 Förderung von MgO-Staub aus dem E-Filter einer Ablaugenverbrennung

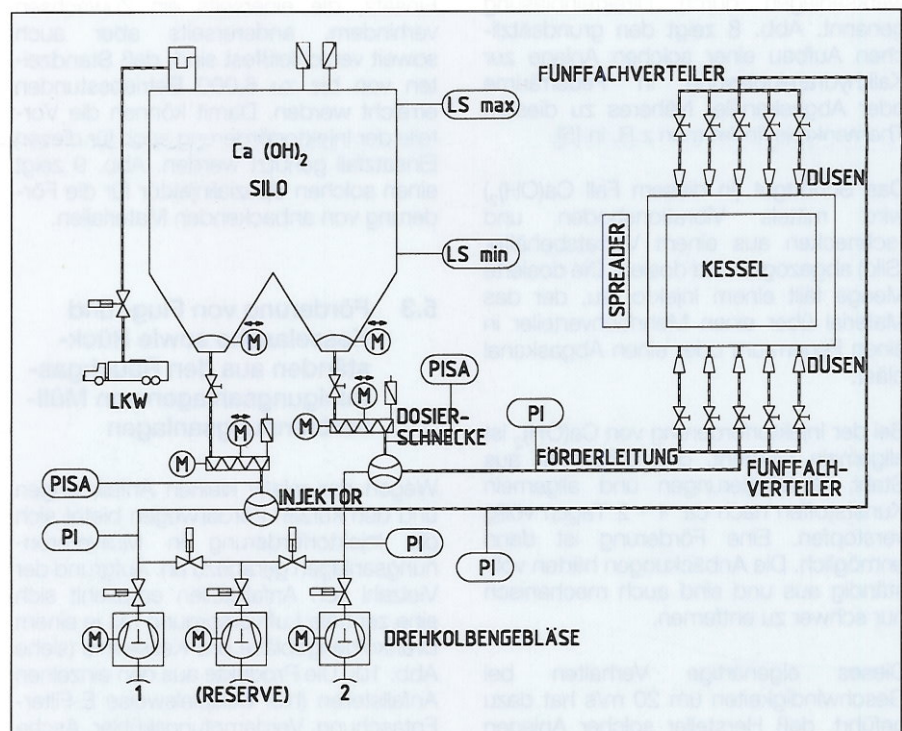
Es handelt sich um die Flugstaubförderung aus einem Sulfitablaugenkessel. Hier war ursprünglich eine Zellenrad-durchblassechleuse eingebaut, die den leichten MgO-Staub (Schüttgutdaten siehe Tabelle 1) aus dem E-Filter in einen Vorlagesilo für die anschließende Naßwäsche fördern sollte. Pro Stunde werden max. 2,6 t MgO-Asche gefördert. (Dies entspricht bei einer Schüttdichte von nur 60 - 80 kg/m<sup>3</sup> einem Asche-Volumenstrom von ca. 32 - 43 m<sup>3</sup>/h).

Die Schwierigkeiten mit den Zellrad-Durchblassechleusen infolge aufsteigender Leckluft waren so groß, daß die För-

derung vollständig zum Erliegen kam und die E-Filter-Trichter völlig mit Staub gefüllt waren. Die gesamte Anlage mußte dann über Kurzschluß im E-Filter abgestellt werden. Anschließend mußte die MgO-Asche aus dem Filter (ca. 150 m<sup>3</sup>) manuell über ein Saugfahrzeug abgezogen werden.

Der Anlagenbetreiber war wegen der ständigen Störungen, die sich auch bei neuen Zellradschleusen in kurzer Zeit wieder einstellen, gezwungen, ständig solche Absaugwagen in Reserve zu halten und in regelmäßigen Abständen den Filterbereich leerzusaugen. Die abgasaugte Asche wurde als wertvoller Rohstoff mehr oder weniger offen gelagert und wehte aufgrund der kleinen Körnung und des geringen Schüttgutgewichtes immer wieder davon und sorgte so für eine ständige Belastung der Umwelt in der näheren Umgebung.

Abb. 8: Direktentschwefelungsanlage





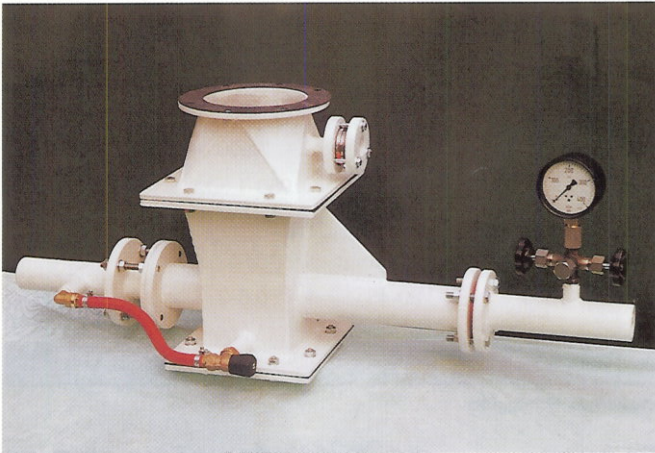


Abb. 9: Spezialinjektor für backende und haftende Materialien

Die alte Ascheförderung wurde aus diesem Grunde während des laufenden Kesselbetriebes durch eine Injektorförderung ersetzt und läuft (abgesehen von einem jährlichen Wechsel des Diffusoreinsatzes) seit nunmehr 5 Jahren störungsfrei rund um die Uhr.

### 5.2 Förderung und Einblasen von Kalkhydrat zur Schadstoffreduzierung von Abgasen aus Feuerungen und Trocknern

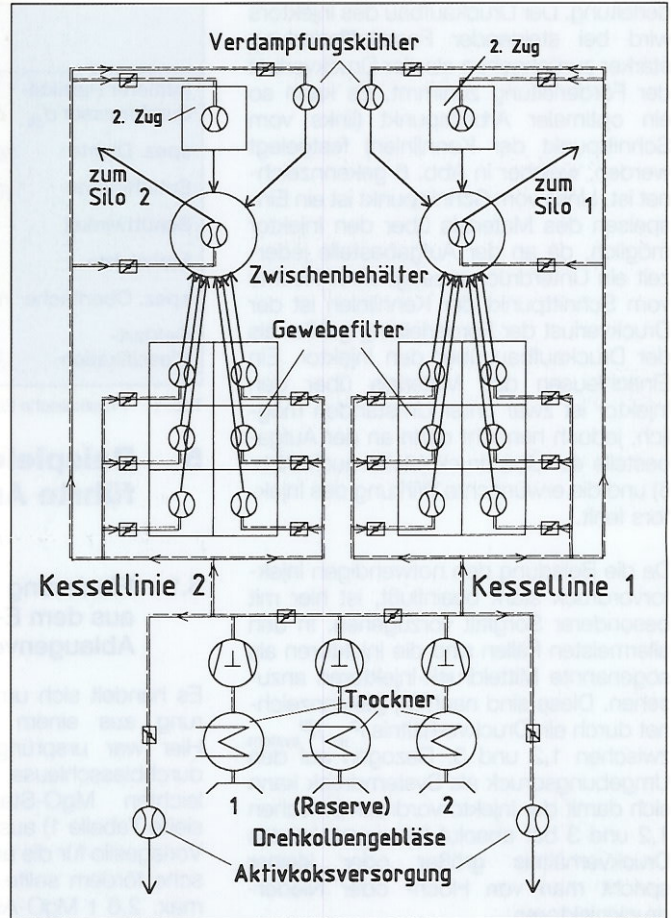
Der Einsatz von Injektoren bietet sich immer dann an, wenn bereits aus verfahrenstechnischen Gründen eine niedrige Feststoffbeladung erforderlich ist. Als Beispiel hierzu sei eine Anlage zur Entschwefelung von kohlegefeuerten Kraftwerksanlagen durch Direkteinblasung genannt. Abb. 8 zeigt den grundsätzlichen Aufbau einer solchen Anlage zur Kalkhydrateinblasung in Feuerräume oder Abgaskanäle. Näheres zu diesem Themenkreis findet man z.B. in [5].

Das Schüttgut (in diesem Fall  $\text{Ca(OH)}_2$ ) wird mittels Vibrationsboden und -schnecken aus einem Vorratsbehälter (Silo) abgezogen und dosiert. Die dosierte Menge fällt einem Injektor zu, der das Material über einen Mehrfachverteiler in einen Feuerraum oder einen Abgaskanal bläst.

Bei der Injektorförderung von  $\text{Ca(OH)}_2$  ist allgemein bekannt, daß Diffusoren aus Stahl, Stahllegierungen und allgemein Kunststoffen nach ca. 1 - 2 Tagen völlig verstopfen. Eine Förderung ist dann unmöglich. Die Anbackungen härten vollständig aus und sind auch mechanisch nur schwer zu entfernen.

Dieses eigenartige Verhalten bei Geschwindigkeiten um 20 m/s hat dazu geführt, daß Hersteller solcher Anlagen

Abb. 10: Asche- und Additivförderung mit Injektoren und zentraler Luftversorgung in einer Müllverbrennungsanlage



die Leitungen nicht aus Stahl sondern aus Gummi herstellen. Das Problem im Injektor selbst konnte damit aber nicht gelöst werden.

Hier kommen spezielle Kunststoffe zum Einsatz, die einerseits ein Zuwachsen verhindern, andererseits aber auch soweit verschleißfest sind, daß Standzeiten von bis zu 6.000 Betriebsstunden erreicht werden. Damit können die Vorteile der Injektorförderung auch für diesen Einsatzfall genutzt werden. Abb. 9 zeigt einen solchen Spezialinjektor für die Förderung von anbackenden Materialien.

### 5.3 Förderung von Flug- und Kesselasche sowie Rückständen aus den Rauchgasreinigungsanlagen von Müllverbrennungsanlagen

Wegen der relativ kleinen Anfallmengen und den kurzen Förderwegen bietet sich die Injektorförderung in Müllverbrennungsanlagen geradezu an. Aufgrund der Vielzahl von Anfallstellen empfiehlt sich eine zentrale Luftversorgung mit je einem Drehkolbengebläse pro Kessellinie (siehe Abb. 10). Die Produkte aus den einzelnen Anfallstellen (hier beispielsweise E-Filter-Entaschung, Verdampfungskühler, Asche

aus 2. Zug usw.) werden zu einem zentralen Empfangs-(Puffer-)behälter gefördert und von hier, ebenfalls über Injektoren, in das Vorratssilo geblasen. Zusätzlich wird über Injektoren die Aktivkoksversorgung sichergestellt.

Da aufgrund der Anlagenfahrweise und der daraus resultierenden Aschekonsistenz schon geringe Feuchtigkeitsgehalte in der Förderluft zu Verklumpungen und Anbackungen führen, sollte nur getrocknete Luft eingesetzt werden. Weiter dürfen Temperaturen von 80 - 100 °C weder in den Förderleitungen noch in den zwischengeschalteten Apparaten unterschritten werden. Die Luft ist also möglichst heiß zu halten und die Förderleitungen sind ausreichend zu isolieren.

Dies gilt in Müllverbrennungsanlagen insbesondere für Stäube aus sogenannten Sprühtrocknern, deren  $\text{CaCl}_2$ -Kristalle mit kleinsten Feuchtigkeitsgehalten von Luft oder Rauchgas reagieren und zum Schmelzen der Kristalle und damit zu nicht beherrschbaren Anbackungen und Verklumpungen führen. Die einzelnen Injektorförderstrecken sind genau zu berechnen und der Gesamtluftstrom entsprechend auf die Einzelstränge aufzuteilen.



## 6 Spezielle Bauformen von Injektoren für feinkörnige Schüttgüter

### 6.1 Injektoren mit mehreren Treibdüsen

Teilt man den Treiblufstrom eines Injektors flächengleich auf mehrere konzentrisch angeordnete Austrittsöffnungen auf, so läßt sich bei einphasigen Luft-Luft-Injektoren [2] eine deutliche Wirkungsgradsteigerung beobachten. Gleiches wurde experimentell für Zwei-Phasen-Gemische (Luft-Wasser) bei der Belüftung von Klärbecken ermittelt. Entsprechende Untersuchungen mit Feststoff-Injektoren stehen noch aus.

### 6.2 Coanda-Injektoren

Die Treibluf eines Injektors läßt sich nicht nur zentral sondern auch über einen konzentrischen Ringspalt zuführen. Dies kann je nach Einsatzfall verschiedene Vorteile haben. Abb. 11 zeigt einen sog. Conjector der Firma DMN mit einer Ringspaltdüse. Die Treibluf wird über einen konzentrischen Spalt eingebracht.

Beim Conjector wird zur Erzeugung des Treibstrahles der sogenannte Coanda-Effekt ausgenutzt. Durch eine Stolperkante wird ein Anlegen der Gasströmung an die begrenzende Hüllfläche der Innenseite erreicht.

Anders als bei herkömmlichen Injektoren wird der Feststoff nicht durch den expandierenden Treibstrahl an die Gehäusewandung gedrückt, sondern kann sich

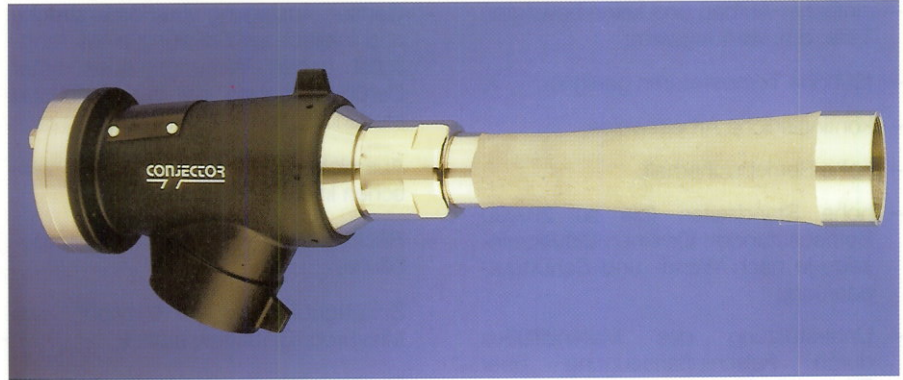


Abb. 11: Coandainjektor der Fa. DMN

gleichmäßig über den Querschnitt verteilen, wie in Abb. 12 schematisch dargestellt [4].

Dies kann bei problematischen Fördergütern (z.B.  $\text{Ca(OH)}_2$ ) zu geringeren Anbackungen an den Wänden von Diffusor und Mischrohr führen und wurde im wesentlichen durch Versuche bestätigt. Trotz Normalausführung in Stahl kam es bei diesem Injektortyp zu wesentlich reduzierten Anbackungen im Mischrohr-/Diffusorbereich, verglichen mit einem Treibdüseninjektor.

Allerdings wurde der Leistungsbereich etwas eingeschränkt, da die Gutzufuhr bei horizontalem Injektor nicht optimal erfolgte. Hier wäre eine mittige Zuführung des Schüttguts über einen Fluidboden die richtige Alternative gewesen. Vorteilhaft bei den Conjectoren ist auch die einfache Leistungsanpassung durch Verstellen der Spaltweite. So ist eine Erhöhung des Vordruckes bei erhöhter Leistung kein Problem. Andererseits kann bei Teillast die Leistungsaufnahme des

Verdichters durch Verkleinerung des Vordruckes (Spaltweite größer) zur Verringerung der Betriebskosten beitragen.

Ein Leistungsdiagramm für Conjectoren unterschiedlicher Nennweiten (DN50 - DN100) in Abhängigkeit vom Enddruck in der Förderleitung zeigt Abb. 13. Hier sind verschiedene Fördergüter unterschiedlicher Körnung und Dichte aufgeführt [4]. Diese Kennlinien gelten prinzipiell auch für Injektoren mit zentraler Treibdüse.

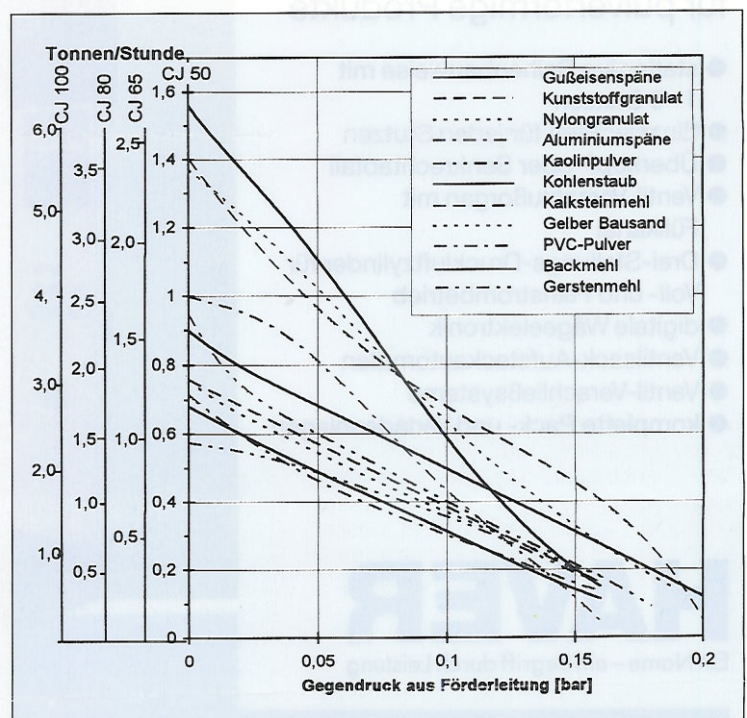
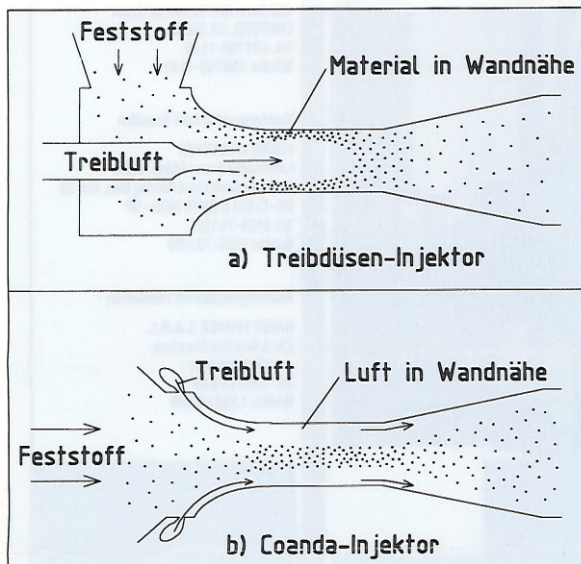
## 7 Zusammenfassung

Injektoren werden seit geraumer Zeit für das Einschleusen von Feststoffen in pneumatische Förderleitungen genutzt. Die wesentlichen Vorteile des Injektors sind

- leichter Unterdruck an der Aufgabestelle und so keinerlei Probleme mit aufsteigender Leckluft, wie z.B. bei der Zellenradförderung allein;

Abb. 13: Leistung von Injektoren in Abhängigkeit vom Gegendruck hinter dem Injektor, vom Material und von der Injektoranschlußnennweite (DN50 - DN100)

Abb. 12: Materialeinspeisung bei Treibdüsen- und Coanda-Injektor





- einfacher Aufbau und keine bewegten Teile, d.h. wartungsarm;
  - für hohe Temperaturen geeignet;
  - kontinuierliche Arbeitsweise;
  - hohe Betriebsicherheit;
  - hohe Standzeiten (bis zu 20.000 Betriebsstunden für einen Diffusoreinsatz, je nach Wand- und Schüttgutpaarung);
  - Unterstützung des Materialflusses durch Falschlufansaugung über Rückschlagklappe.
- Genaue Auslegung von Förderstrecke und Injektor zur Erzielung eines möglichst hohen Wirkungsgrades unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Luftversorgung;
  - Ausreichendes Puffervolumen zwischen Injektor und Dosierorgan;
  - Rückschlagklappe am Injektorgehäuse;
  - Schüttgutabhängige Auswahl des Mischrohr/Diffusoreinsatzes;
  - Fluidisierung des Injektorbodens bei schlechtfließenden Materialien.

Als größter Nachteil der Injektorförderung ist der hohe Energieverbrauch für den Einschleusvorgang anzusehen. Betreiber, die die Schwierigkeiten mit der normalen Zellenradförderung kennen, sind aber meist bereit, diesen Nachteil zugunsten der wesentlich höheren Betriebssicherheit in Kauf zu nehmen.

Folgende Punkte sollten bei der Neukonzeption bzw. Umrüstung einer vorhandenen Anlage auf eine Injektorförderung unbedingt beachtet werden:

Die Auslegung der Injektoren muß immer im Zusammenhang mit der anschließenden Förderung gesehen werden und sollte daher Spezialfirmen mit umfassenden produkt- und prozeßspezifischen Kenntnissen vorbehalten bleiben.

Eine richtig dimensionierte und exakt abgestimmte Injektorförderung gibt dem Betreiber eine zuverlässige und problemlose Anlage an die Hand und läßt ihm genügend Zeit für wichtigere Dinge.

## Literatur

- [1] HUTT, W.: Untersuchung der Strömungsvorgänge und Ermittlung von Kennlinien an Gutaufgabeinjektoren zur pneumatischen Förderung; Diss. Univ. Stuttgart-Hohenheim, 1983
- [2] SCHLAG, H-P.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Berechnung der Kennlinien von gasbetriebenen Einphaseninjektoren und Gutaufgabeinjektoren; Fortschrittberichte VDI, Reihe 3, Nr. 313, Düsseldorf, 1993
- [3] WAGENKNECHT, U.: Untersuchung der Strömungsverhältnisse und des Druckverlaufes in Gas-/Feststoffinjektoren; Diss. Uni. Braunschweig, 1981
- [4] Firmenprospekt Fa. DMN, Noordwijkerhout, Niederlande
- [5] SCHNEIDER, K.: Mopping-up Pollution/ Practical Experience with Pneumatic Injection and Conveying Systems; Gypsum, Lime & Building Products, (1996) 1, S. 23 - 26

# HAYER

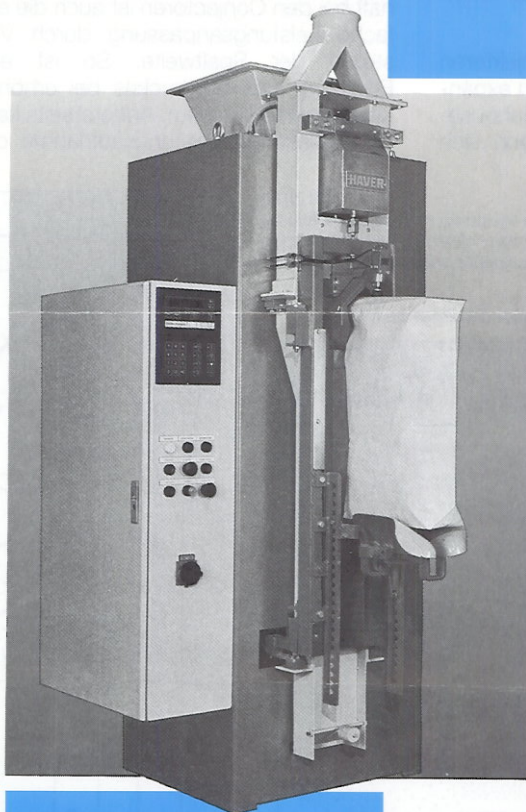
## Turbinen-Systeme

für pulverförmige Produkte

- stationäre Reihenbauweise mit 1-6 Stützen
- Einzelantrieb für jeden Stützen
- Überkopf- oder Senkrechtabfall
- Ventil-Verschlußorgan mit Füllkanal
- Drei-Stellungs-Druckluftzylinder für Voll- und Feinstrombetrieb
- digitale Wägeelektronik
- Ventilsack-Aufsteckautomaten
- Ventil-Verschließsysteme
- komplette Pack- und Verladeanlagen

# HAYER

Ein Name – ein Begriff durch Leistung



### HAYER & BOECKER

Postfach 3320  
D-59282 OELDE, Germany  
Telefon 02522-30-0  
Telex 89521 haver d  
Telefax 02522-30403

#### Tochtergesellschaft USA

HAYER FILLING SYSTEMS, INC.  
460 Gees Mill Business Court  
CONYERS, GA 30208  
Tel. 404760-1130  
Telefax 404760-1181

#### Tochtergesellschaft Brasilien

HAYER & BOECKER  
Latinoamericana Máqs. Ltda.  
Rodovia Campinas/Monte Mor, Km 20  
BR-13190 MONTE MOR - SP  
Tel. 0198-791221  
Telefax 0198-791410

#### Tochtergesellschaft Frankreich

HAYER FRANCE S.A.R.L.  
ZA-7, Rue des Bauches  
F-78260 Achères  
Tel. 1.3911.80.80  
Telefax 1.3911.80.89