

Tagung

Fortschritt und Erfahrungen bei der Abgasreinigung von Feuerungsanlagen und thermischen Prozessen

Haus der Technik, Essen, 06./07. Juni 2013

Fördern, Lagern und Dosieren von Einsatzstoffen und Reakti- onsprodukten bei der Abgasreinigung

Dipl.-Phys.-Ing. Klaus Schneider

KS-Engineering
Ingenieurbüro
Klaus Schneider



Dipl.-Phys.-Ing. Klaus Schneider

KS-Engineering GmbH

Hansaring 25/27

50670 Köln

Probleme und Lösungen in der Fördertechnik bei der Abgasreinigung

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Bei kleineren Verbrennungsanlagen kommen vorwiegend trockene Reinigungsverfahren (Trockensorptionsprozess, MTK) zum Einsatz. Bei den Trockensorptionsverfahren werden Sorbentien entweder in die heiße Zone der Verbrennungsanlage (erster Zug, 800-1100°C, Hochtemperaturverfahren) oder in den Rauchgaskanal vor die Filtereinheit (Niedertemperaturverfahren, <250°C) zur Schadstoffeinbindung eingebracht. Bei einigen Verfahrensvarianten wird ein Teil der im Filter abgeschiedenen Sorbentien als Rezirkulat zusätzlich (aber in einem getrennten Anlagenteil) mit in den Rauchgaskanal eingeblasen.

Als Reagentien werden hierbei Kalkhydrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Natriumbikarbonat sowie deren Derivate (Aktivkohle oder Braunkohlenkoks werden mit Anteilen bis 5-10% zugemischt) bevorzugt eingesetzt.

Dieser Vortrag beschäftigt sich mit dem Vergleich unterschiedlicher Dosier- und Förderkonzepte für die pneumatische Beschickung von Reaktionsräumen bei der Reinigung von Rauchgasen mit dem Trockensorptionsprozess.

Die Verfahrenstechnik fordert für die Sorbentien eine rasche Dispergierung im Reaktionsraum, so dass bevorzugt die Flug- oder Strähnenförderung für diese Art der Beschickung eingesetzt wird. Bei diesen Formen des pneumatischen Transports ist bereits in der Förderleitung eine fast homogene Vermischung des Sorbens mit der Förderluft vorhanden, so dass die Forderung nach guter Dispergierung und hoher Eindringtiefe leichter erfüllt werden können. Förderungen mit hohen Beladungen (z.B. Propfenförderung) und hohen Differenzdrücken sind weitgehend ausgeschlossen, da Kalkhydrat kohäsiv ist und eine Verstopfung der Förderleitung und besonders auch der Einblasdüsen nicht zu vermeiden wäre. Allgemein sind beim Transport von Kalkhydrat Druckdifferenzen von 700 mbar und mehr zu vermeiden.

Es ist in der Fachwelt bekannt, dass Kalkhydrat zur Carbonatisierung/Aushärtung neigt, sobald gewisse Mindestbeladungen und Gasgeschwindigkeiten unter- bzw. überschritten werden. Diese Erscheinung tritt beispielsweise bei einer Beladung um $\mu \approx 1$ und einer Gasgeschwindigkeit um 20 m/s auf. In diesem Beladungs- und Geschwindigkeitsbereich setzen Stöße zwischen Partikeln und Wand sowie den Partikeln in Wandnähe untereinander Stoßenergie frei, welche die spontane Carbonatisierungsreaktion



unterstützt. Die Carbonatisierung bei gleicher Gasgeschwindigkeit, aber höherer Beladung, ist wesentlich kleiner, da bei höheren Beladungen zum einen die Partikelgeschwindigkeit kleiner ist (z.B. die Strähne bei der Strähnenförderung) und weil Stöße mit der Wand bei zunehmender Partikeldichte für das einzelne Korn immer unwahrscheinlicher

werden. Der angesprochene kritische Bereich bezüglich Beladung und Gasgeschwindigkeit ist aber genau der für die der Flug- bzw. Strahlenförderung gewünschte.

Die Probleme der Carbonatisierung lassen sich aber beherrschen, wenn Förderleitungen flexibel in Gummi oder gummiähnlichen, flexiblen Materialien ausgeführt werden. Durch Schwingungen bei der Förderung lösen sich Wandansätze schnell von alleine ab.

Kritisch für die Konzeption der Gesamtanlage sind die Materialeigenschaften von Kalkprodukten, insbesondere des Kalkhydrates. Aus den Eigenschaften ergeben sich Erfordernisse für die wesentlichen Anlagenkomponenten. Dies sind die Lagerung, der Siloaustrag, die Dosierung und die Förderung, ggf. auch die Verteilung sowie Eindüsung.

Eine besondere Klasse stellt hier die Förderung und Dosierung von Rezirkulat dar. Dies besteht teilweise aus Flugasche, Reaktionsprodukten sowie nicht reagiertem Sorbens. Hier können die Schwierigkeiten wegen Taupunktsunterschreitung, ungetrockneter Förderluft etc. um ein Vielfaches höher sein als bei Frischsorbens alleine. Diese Rezirkulatförderung wird hier nicht näher untersucht.

2 Anforderung an eine Dosier-, Förder- und Einblasanlage

Bei der Auslegung und Planung von kontinuierlichen Anlagen zur Lagerung mit Austrag, Dosierung, Förderung und Einblasung ist auf die spezifischen Eigenschaften des Förderguts besonderes Augenmerk zu richten. Besonders das zu Anbackungen und Verklumpungen neigende Kalkhydrat Ca(OH)_2 als Fördergut stellt an die Systemausführung hohe Anforderungen. Weiterhin ist zu beachten, dass die Elemente des Systems aufeinander abgestimmt entwickelt werden; Unstimmigkeiten an den Schnittstellen stellen die häufigsten Ursachen für Störungen dar.

Neben den allgemeinen Forderungen an das Gesamtsystem nach kontinuierlichem und wartungsarmem Betrieb mit hoher Verfügbarkeit und langer Standzeit sind an die einzelnen Elemente genau spezifizierte Anforderungen zu stellen, auf die im folgenden eingegangen wird.

2.1 Silo mit Abzugsvorrichtung

Bei der Gestaltung des Silos ist unbedingt darauf zu achten, dass Massenfluss gewährleistet ist. Der Silokonus sollte daher nur mit Neigungswinkeln von mindestens 70° (zur Horizontalen) ausgeführt sein. Da Kalkhydrat schlechte Fließeigenschaften hat und zu Brücken- und Schachtbildung neigt, sollte der Austrittsdurchmesser mindestens DN250, besser sogar DN300 betragen. In den allermeisten Fällen ist aber zusätzlich eine Austragsunterstützung erforderlich.

Bei der Wahl der Austragsunterstützung ist zu unterscheiden, ob eine direkte Zuteilung zum nachgeschalteten Dosierorgan erfolgt oder ein Dosierbehälter zwischen Silo und Dosierorgan zwischengeschaltet ist. Ein solcher Zwischenbehälter ist dann erforderlich, wenn eine Überdruckförderung vorliegt (Leckluftunterdrückung durch Absperrung des Zwischenbehälters, kein Druck ins Silo) und oft auch zu empfehlen, wenn mit kleinen Leistungen (ca. 100-250 kg/h) gefördert wird.

Bei höheren Förderleistungen (> 400 kg/h) und Unterdruckförderung (mit Injektor) ohne Zwischenbehälter ist eine Zuführung mit aufgelockerter, aber konstanter Schüttdichte zum Dosierorgan zwingend für eine massenmäßig gleichbleibende Dosierleistung. Dafür sollten nur mechanische Austragsunterstützungen bzw. Auflockerungseinheiten verwendet werden, vorzugsweise Schwingböden oder Rührwerke, während Fluidisierungen zu vermeiden sind, da durch das hohe Lufthaltevermögen des einmal fluidisierten Kalkhydrates die Schüttdichte in der aufgelockerten Zone sehr ungleichmäßig ist.

Ist dagegen ein Zwischenbehälter vorhanden, muß schnell befüllt werden.. In diesem Fall sind wieder Schwingböden geeignete Organe, während Rührwerke nicht die erforderliche kurzzeitige Austragsleistung gewährleisten können. Eine Fluidisierung ist hier ebenfalls ein geeignetes Verfahren, um in kurzer Zeit die Befüllung eines Zwischenbehälters zu erreichen.

Ein ungehindertes Eindringen von Umgebungsluft ins Silo sollte durch ein Verschließen des Abluffilters im Normalbetrieb erreicht werden. um nicht die Materialalterung (siehe Abschnitt 4) zu forcieren.

2.2 Dosierorgan

Bei der Auswahl des Dosierorgans spielen drei Gesichtspunkte eine wesentliche Rolle. Dies sind das Verhalten des Dosierorgans bei Druckstößen, die Dosierpulsation und die Frage, ob volumetrisch oder gravimetrisch dosiert werden soll.

2.2.1 Verhalten des Dosierorgans bei Druckänderungen (Pulsationen)

Druckänderungen (Pulsationen) treten bei der pneumatischen Förderung allgemein immer auf. Sie sind die Folge von lockeren Ablagerungen, welche sich gerade bei Kalkhydrat (sehr kohäsiv) leicht bilden können. Die Ablagerungen sammeln sich in horizontalen Leitungsabschnitten und hinter Umlenkungen, bevorzugt vor/in Krümmern welche von einem vertikalen in einen horizontalen Leitungsabschnitt umlenken. Die Ablagerungen sind nicht stabil und lösen sich von alleine wieder ab. Das erhöht kurzzeitig die momentane Förderleistung u.U. um ein Vielfaches, was wiederum den Förderdruck schlagartig ansteigen lässt. Diese Druckstöße können von den meisten Dosierorganen nicht abgefangen werden und wirken so auf die darüber befindliche Schüttung. Treten die Stöße sehr häufig auf, so kann die Konstanz der Dosierleistung erheblich beeinträchtigt werden.

Als Dosierorgane kommen vorwiegend Schnecken oder Zellenradschleusen zum Einsatz. Klassische Zellenradschleusen dichten allgemein besser ab, da die Spalte sehr klein gehalten werden können (ca. 0,2 mm). Besondere Schleusenausführungen, bei denen das Zellenrad quasi als Vollkörper mit Einbuchtungen ausgeführt ist, lassen sich aber (herkömmlich) nicht mit den erforderlichen Genauigkeiten fertigen, so dass dann der Spalt wesentlich größer ist (0,5 - 2 mm). Bei solchen Schleusen schlagen die Druckstöße voll auf die Schüttung durch. Schneckendosierer können aus den gleichen Gründen Druckstöße nicht oder nur schlecht abdichten..

Vergleicht man Aufzeichnungen der Dosierschwankungen mit denen des Reingassignales, kann man oft Dosierschwankungen als Spitzen im Reingassignal wiederfinden.

Dabei lassen sich die Erkenntnisse sehr leicht umsetzen: Horizontale Leitungsabschnitte so kurz wie möglich halten, Anzahl der Umlenkungen minimieren, der Leitungsführung insgesamt eine hohe Priorität einräumen, Aufstellung der Anlage so nah wie möglich an den Ort der Eindüsung. Werden diese Grundvoraussetzungen beachtet, können Anzahl und Amplitude der Druckstöße meistens soweit reduziert werden, dass man mit den Folgen aufgrund des geringeren Ausmaßes „noch leben kann“.

2.2.2 Pulsation bei der Dosierung

Pulsationen sind bei der Förderung von Sorbentien unerwünscht. Zum einen soll das Reagens gleichmäßig in den Reaktionsraum eingebracht und dispergiert werden, zum anderen rufen Pulsationen innerhalb des Fördersystems (Förderorgan, Förderleitung, s. Druckstöße) Störungen hervor.

Pulsationsarme Dosierorgane sind demnach zu bevorzugen. Hier eignen sich beispielsweise mit größeren Drehzahlen betriebene Schneckendosierer, aber auch Scheibendosierer oder Zellenradschleusen mit sehr kleinen und versetzt angeordneten Kammern. Klassische Zellenradschleusen oder Schneckendosierer mit zu großem Durchmesser sollten gerade bei kleinen Dosierleistungen (< 250 kg/h) nicht eingesetzt werden.

2.2.3 Gravimetrische bzw. volumetrische Dosierung

Als weiteres wichtiges Kriterium gelten die Kosten für ein Dosiersystem. Die Kostenunterschiede sind gerade bei den Alternativen gravimetrische Dosierung oder volumetrische Dosierung beachtlich. In vielen Fällen ist daher alleine die Ausschreibung bei der Wahl maßgebend. Es können aber auch verfahrenstechnische Gründe für die eine oder andere Variante sprechen, aus denen sich Kostenersparnisse ableiten lassen. Solche Gründe lassen sich dem Kunden gegenüber oft nutzbringend erläutern.

Einem Konzept mit gravimetrischer Dosierung kann nur dann der Vorzug gegeben werden, wenn eine erforderliche konstante Dosierung nur damit erreicht werden kann (z.B. wegen der größeren Genauigkeit) oder wenn sichergestellt ist, dass sich mit dem Konzept der gravimetrischen Dosierung mittel- bis langfristig deutliche Sorbenskosten einsparen lassen (z.B. bei kostenintensiven Sorbentien).

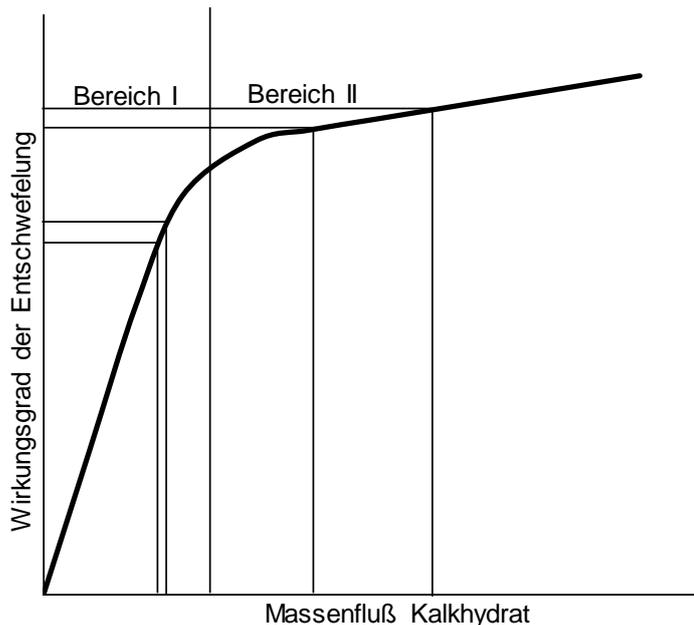


Abbildung 1: Wirkungswinkelverlauf der Entschwefelung

Dabei ist mitentscheidend, wie hoch der vorgeschriebene Wirkungswinkel der Reaktion ist und in welchem Bereich des Verlaufes dieser Wirkungswinkel liegt. Wie in der Abb. 1 zu erkennen ist, kann man den aus thermodynamischen Gründen (Reaktionskinetik) asymptotischen Verlauf annähernd in zwei Bereiche unterteilen. Im Bereich I hat eine Veränderung des Sorbensmassenflusses eine große Änderung des Wirkungswinkels zur Folge.. Ohne einen großen Sorbensmassenstrom zu verschwenden, kann der Betriebspunkt (Wirkungswinkel) deutlich über dem Sollwert liegen, damit die Dosierschwankungen (Dosiergenauigkeit) toleriert werden können. Die Dosierung kann also für diesen Fall ohne weiteres volumetrisch erfolgen, was die Systemkosten niedrig hält.

Befindet sich der angestrebte Betriebspunkt dagegen im Bereich II (Abb. 1), lässt sich anhand des gemessenen Wirkungswinkels wegen der flachen Steigung die tatsächlich geförderte Sorbensmenge sehr viel schwieriger abschätzen. Die Regelung findet in diesem Fall in einem größeren Sorbensmassenflussfenster statt, so dass eine genaue (gravimetrische) Erfassung aus wirtschaftlicher Sicht wünschenswert ist.

Die Vorteile der gravimetrischen Dosierung sind insgesamt als erheblich einzuschätzen. Die meist größere Genauigkeit der Dosierung und die permanente Übersicht über tatsächlich verbrauchte Mengen geben dem Betreiber wichtige Informationen, die insbesondere auch bei Testläufen oder Messungen von Wichtigkeit sind.

2.3 Förderorgan

Im Aufgabebereich, aber auch in der Förderleitung und im Verteiler (siehe Abb.4) sind Ablagerungen und nachfolgend Verhärtungen, wie sie beim Kalkhydrat schnell auftreten können, durch genaue Auslegung sowie konstruktive und werkstoffliche Maßnahmen zu unterdrücken bzw. zu vermindern. (Gummileitungen, keine Absätze in den Leitungen oder vor der Einblasdüse, Schlauchkupplungen ohne Querschnittseinschnürung, hohe Priorität bei Leitungswegfindung, s. Abschnitt 2.2).

Förderorgane haben die Funktion, den vom Dosierorgan zugeteilten Schüttgutstrom in die Förderleitung einzutragen. Deshalb kommt der Gestaltung des Aufgabeschuhes eine besondere Bedeutung zu. Dieser sollte unbedingt eine strömungsgünstige Form haben und mit einer axial verstellbaren Düse ausgerüstet sein, damit ein optimaler Betriebspunkt gefunden werden kann.

Bei Injektoren sind diese Forderungen voll erfüllt. Zudem ist der Materialeintrag in die Förderleitung durch die Unterdruckfahrweise stabil. In der Gutaufgabekammer sind alle Stromlinien auf den Diffusoreintritt gerichtet, das Fördermaterial wird in den Diffusor „gesaugt“. Die Düse wird so nahe vor den Diffusor plaziert, dass der austretende Luftstrahl unmittelbar von der Innenkontur des Diffusors „gefangen“ wird. Durch diesen stabilen Betrieb haben Druckstöße nur ein kurzes Aussetzen („Verschlucken“) der Förderung zur Folge.

In einigen Systemen sind Dosier- und Förderorgan in einem Gerät vereint (z.B. Durchblassschleuse). Auch bei solchen Organen können Schwierigkeiten bei der Vermischung von Förderluft mit Fördermaterial auftreten, da einer strömungsgünstigen Gestaltung des Mischbereiches konstruktiv enge Grenzen gesetzt sind. Insbesondere bei Durchblassschleusen können Anbackungen zu einem stabilen Film und damit zum Rattern oder Quietschen der Schleuse führen. Hier wurden spezielle Schleusen entwickelt, deren Blätter diese Schwingungen konstruktiv unterbinden.

2.4 Förderluftversorgung

Bei der pneumatischen Förderung von Kalkprodukten sind fast ausschließlich Förderdrücke unter 250 mbar erforderlich. Bei der Verwendung von Injektoren ergeben sich daraus Vordrücke von 200-900 mbar. Solche Drücke können im unteren Bereich (< 300 mbar) von Seitenkanalverdichtern, im gesamten Bereich von Drehkolbengebläsen zur Verfügung gestellt werden. Drehkolbengebläse sind aber auch im unteren Bereich zu bevorzugen, da sie eine steile Kennlinie haben (Zwangsverdichtung) und daher bei den oft häufigen Störungen im System (Druckstöße, siehe Abschnitt 2.2) mit einem schnellen Druckanstieg reagieren können, ohne dabei die Luftmenge (Geschwindigkeit im System) wesentlich zu reduzieren. Es sei empfohlen, den Antriebsmotor von vornherein größer auszuwählen, damit beim Anlagenbetrieb genügend Leistungsreserven zur Verfügung stehen.

Aufgrund der Materialeigenschaften von Kalkprodukten, insbesondere Natriumbicarbonat, ist eine Taupunktunterschreitung in jedem Abschnitt der Förderanlage unbedingt zu vermeiden. Im Allgemeinen sorgt die Aufheizung der Förderluft bei der Verdichtung (ca. 10 K je 100 mbar Druckerhöhung) für einen genügenden Abstand vom Taupunkt.

Steht die Anlage in einem Gebäude mit konstanten Temperaturen um 20°C, müssen keine weiteren Vorkehrungen getroffen werden. Gerade aber bei Außenaufstellungen und wenn die Luftleitung zum Förderorgan recht lang ist, kann bei kalter Witterung die erwärmte Luft wieder soweit abkühlen, dass evtl. kritische Situationen vorliegen. In solchen Fällen empfiehlt sich eine grundsätzliche Isolierung der Luftleitung inkl. Förderorgan sowie den Einbau eines Heizregisters in die Luftleitung. Heizregister sind einer Lufttrocknung vorzuziehen, da sie wirksamer und in der Anschaffung wesentlich preiswerter sind.

2.5 Verfahrenstechnische prozesseitige Randbedingungen

Für die Wirksamkeit von Trockensorptionsprozessen ist die Einhaltung bestimmter verfahrenstechnischer Parameter von entscheidender Bedeutung. Neben der Einhaltung eines definierten Temperaturfensters in der Einblaseebene (beim Hoch- und beim Nieder temperaturverfahren) ist auch die rasche, vollständige und über den Querschnitt gleichmäßige Dispergierung des Sorbens im Rauchgaskanal zu zählen.

Weiterhin muss der Ort der Eindüsung mit den anderen Komponenten der Rauchgasbehandlung abgestimmt sein. Ist beispielsweise vor der Sorbenseindüsung eine Quenche geplant, muss sichergestellt sein, dass das in der Quenche eingedüste Wasser vor der Sorbenseinblasung vollständig verdampft ist. Eigene Untersuchungen und Nachrechnungen bestehender Anlagen haben gezeigt, dass dies oft nicht der Fall ist. Insbesondere vor der Eindüsung ist eine Strömungsvergleichmäßigung durch Einbau geeigneter Sieb- oder Leitbleche anzustreben.

2.6 Verteiler und Einblasdüsen (z.B. im Rauchgaskanal oder im Kessel)

Verteiler sind erforderlich, wenn über zwei oder mehr Düsen in den Reaktionsraum eingeblasen werden soll. An Verteiler ist selbstverständlich die Forderung zu stellen, den Förderstrom gleichmäßig auf die Abgänge zu verteilen. Dies kann nur durch die Kombination einer entsprechenden Konstruktion des Verteilers mit der Anordnung hinter Verteiler (Länge der abgehenden Leitungen, Düsengestaltung) gewährleistet werden.

Verteiler sind unbedingt vertikal anzuordnen, eine strömungsgünstige Form ohne abrupte Umlenkungen ist zu bevorzugen. Eine detailliertere Beschreibung von Verteilern findet sich in Abschnitt 3.

Bei der Einblasung ist eine Überdeckung des gesamten Kessel- bzw. Kanalquerschnitts notwendig. Anzustreben ist ein symmetrisches Einblasen mit mehreren Düsen, deren Positionen sorgfältig festzulegen sind, möglichst von zwei gegenüber liegenden Kessel-/Kanalwänden aus. Sollte nur eine Kesselwand / ein Kanalbereich zugänglich sein, kann auch über eine Seite eingeblasen werden. Hilfreich ist hierbei eine schwenkbare Anordnung der Einblasdüsen.

Um eine bestimmte Eindringtiefe des Gas-Feststoffstrahles zu erreichen, müssen die Öffnungsabmessungen der Einblasdüsen, deren Austrittsgeschwindigkeit und die Geschwindigkeit der Grundströmung im Kessel bekannt sein. Aufgrund des Impulsverhältnisses von

Grundströmung und Gas-Feststoff-Strahl ergeben sich Konzentrationsprofile als Anhaltswert für die Vermischung von Sorbens und Rauchgas, die sich recht genau berechnen und darstellen lassen. Hier ist die Eindüsung von ca. 750 kg/h Sorbens über 10 Einblasdüsen in einen Rauchgaskanal (\varnothing 5 m) dargestellt. Im Rauchgaskanal herrschen 300°C und Normaldruck, die Durchströmungsgeschwindigkeit beträgt 8 m/s. Durch die Düsen (d li 38 mm) werden zusammen ca. 3800 Nm³/h Luft durchgesetzt, so dass eine Austrittsgeschwindigkeit von ca. 100 m/s vorliegt.

Abbildung 2 zeigt zwei gegenüberliegende Gas-Feststoffstrahlen in Strömungsrichtung. Die mittleren Linien kennzeichnen die Kernströmung, die begrenzenden Linien stellen die Konzentrationsgrenze von 1% des Anfangszustandes dar. Man erkennt, dass sich die Strahlen nach einer Länge von ca. 3-4 m hinter der Einblasstelle überdecken. Eine Anstellung der Düsen hat keine wesentlichen Auswirkungen auf diese Länge.

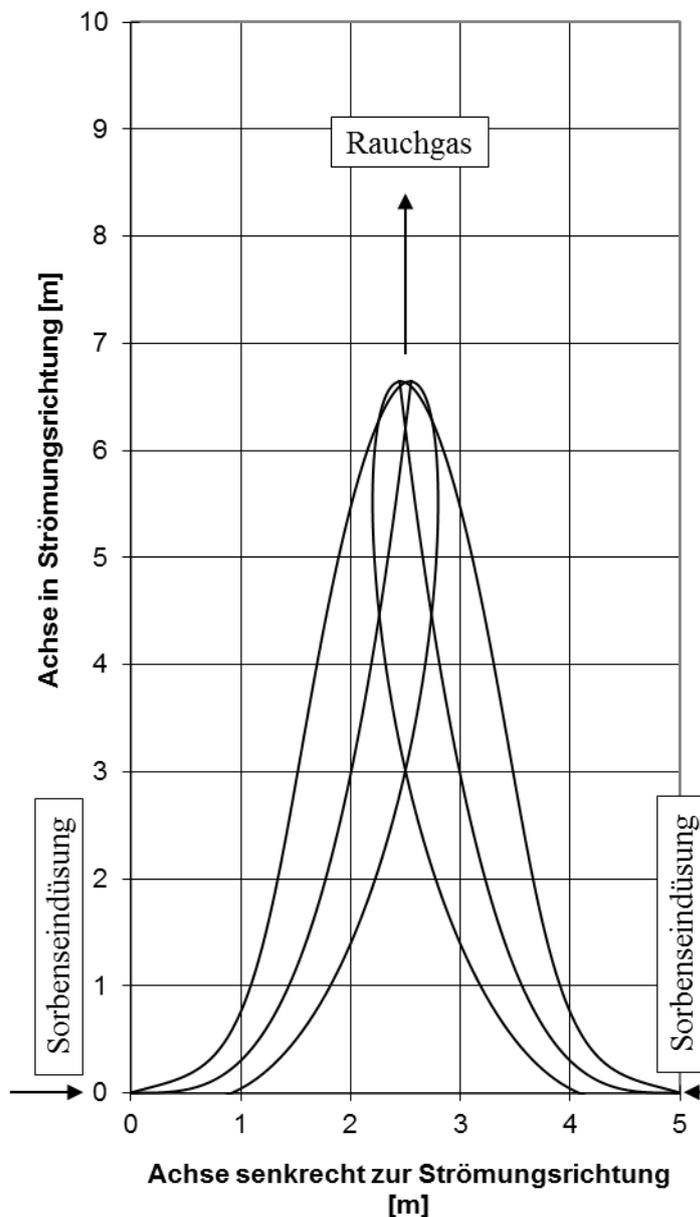


Abbildung 2: Eindringverhalten von Gas-Feststoff-Strahlen in eine Grundströmung

2.7 Aufstellung der Anlage

Gerade weil die Kalkproduktförderung (insbesondere Kalkhydrat) sensibel für Störungen ist, soll der Aufstellung der Anlage insgesamt und der Förderwegplanung diesbezüglich eine größere Priorität eingeräumt werden. Die Siloanlage sollte möglichst nah am Zielort aufgestellt sein. Als Förderweg ist immer der direkte Weg der beste, zumindest im waagerechten Abschnitt.

Bei vielen Anlagen hat sich gezeigt, dass das Förderorgan für Wartungszwecke ohne Hilfsmittel (Leiter o.ä.) zugänglich sein muss. Eine eigene Wartungsbühne ist daher immer anzuraten.

Am günstigsten ist die komplette Einhausung der Anlage, damit das Material keinen Temperaturschwankungen ausgesetzt ist (Schwitzwasser). Lässt sich dies aufstellungstechnisch nicht realisieren, so ist die Einhausung der Anlage mindestens unterhalb des beginnenden Silokonus zu empfehlen. (Standzarge o.ä.). Der im freien befindliche Siloteil ist zu isolieren. Ergänzend ist die Ausrüstung des Silokonus mit einer Begleitheizung zu empfehlen, wobei eine Aufrechterhaltung einer Temperatur (20-25°C), nicht eine eigentliche Beheizung des Materials, im Vordergrund steht. Eine gewisse Temperaturhaltung innerhalb der Einhausung (Standzarge) ist gegeben, wenn dort das Förderluftgebläse aufgestellt wird.

3. Aufbau einer Anlage zur Dosierung und pneumatischen Förderung von Kalkhydrat

Im folgenden soll aus der Erfahrung von mehr als 20 ausgeführten Anlagen ein abgestimmtes Konzept einer Sorbensdosier- und Förderanlage für die trockene Rauchgasreinigung vorgestellt werden, deren Aufbau in Abb.3 beispielhaft dargestellt ist. Selbstverständlich kann statt des Kessels auch ein Rauchgaskanal beaufschlagt werden. Die betrachtete Anlage fährt im mittleren Bereich, d.h. mit Kalkmengen von ca. 200-800 kg/h. Die wichtigsten Komponenten sind:

- Silobehälter mit Befülleinrichtung
- Siloabzugseinrichtung
- Dosieraggregat
- Injektor
- Förderleitung
- Verteiler
- Einblasdüsen

Dabei ist der Silobehälter wie oben gefordert ausgeführt. Brückenbildung wird durch genügend große Abzugsöffnungen vermieden, die Wandneigung beträgt 70°. Als Austragshilfe kommt an jeder der beiden Abzugsöffnungen ein (mechanisch wirkender) Schwing-

boden zum Einsatz. In dieser Anordnung ist ein kontinuierlicher und konstanter Massenfluss bei gleichbleibender Schüttdichte gegeben.

Die Dosierung erfolgt volumetrisch mit einer Vibrations-Dosierschnecke. Ein Injektor übernimmt die Funktion des Förderorgans. Die Förderleitungen sind in Gummi ausgeführt. In einem Fünffachverteiler erfolgt die Verteilung des Sorbens-Förderluftgemisches auf die Zuleitungen für die fünf Düsen im Verbrennungskessel. Die Anordnung hat zwei separate Linien, im Kessel wird von gegenüberliegenden Seiten eingeblasen.

Als Abzugsorgan hat ein Schwingboden besondere Vorteile. Neben dem ohne Fluidisierung rein mechanisch gewonnenen einwandfreien Austrag aus dem Silo ist der große Wirkdurchmesser des Schwingbodens (ca. 1200 mm) zu nennen. Dadurch wird Brücken- und Schachtbildung vermieden und ein Massenfluss im Silo gewährleistet. Der Schwingboden hat aber nicht zuletzt auch einen aufstellungstechnischen Vorteil. Mit dem großen Anschlussdurchmesser und der relativ geringen Bauhöhe kann man gegenüber einem Konus, der sich bei 70° Neigung bis auf DN250 verjüngt, eine Höhe von ca. 800-1000 mm einsparen.



Abbildung 3: Fließschema einer Sorbenseinblasung für die trockene Rauchgasreinigung

Bei der Vibrationsdosierschnecke wird durch die angebauten Vibrationserzeuger (auch bei einem so schwierig zu handelnden Schüttgut wie Kalkhydrat), eine gleichmäßige Fül-

lung der Schneckengänge und damit eine nahezu linear von der Drehzahl abhängige Durchsatzleistung erreicht. Damit ist eine hohe und reproduzierbare Dosiergenauigkeit gewährleistet, wenn das Material dem Dosierorgan wie hier aufgelockert aber nicht fluidisiert zugeführt wird. Im Einlaufbereich der Schnecke und davor ist eine Fluidisierung unbedingt zu vermeiden (s.o.).

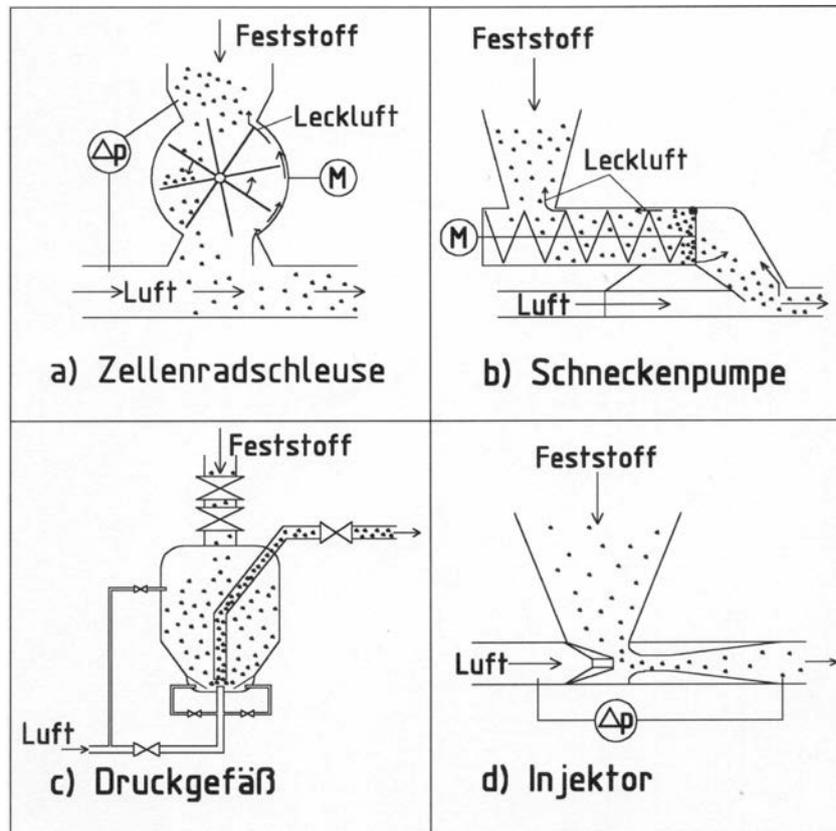


Abbildung 4: Einschleus- und Förderorgane für die pneumatische Förderung, kritische Leckluftstellen

Leckluft ist ein besonders kritisches Phänomen bei vielen Förderkonzepten. Eine Darstellung der gebräuchlichsten Einschleus-/Dosierorgane wie z.B. Zellenrad, Schneckenpumpe, Druckgefäß und Injektor mit ihren jeweils kritischen Leckluftstellen findet sich in Abbildung 4.

Ein großer Vorteil der Verwendung eines Injektors als Förderorgan gegenüber der klassischen Variante, bei der zum Beispiel unter der als Dosierorgan fungierenden Zellenradschleuse ein Aufgabeschuh die Funktion des Förderorgans übernimmt, liegt durch die Unterdruckfahrweise in der Vermeidung von kritischer Leckluft. Ist kein Zwischenbehälter vorhanden, müssen übliche Einschleusorgane, wie z. B. Zellenräder oder Schneckenpumpen, das einfallende Schüttgut über den statischen Druck absichern, d. h. an den jeweiligen Dichtelementen steht der volle Förderdruck an. Bei fortwährendem Betrieb (und damit andauerndem Verschleiß) führt dies zu zunehmenden Undichtigkeiten am Einschleusorgan und zum Austreten von Leckluft, wie in Abb.4 dargestellt. Die Leckluft ist aber häufig die Hauptursache für Störungen, insbesondere beim Einsatz von feinen Schüttgütern wie Kalkhydrat. Durch aufsteigende Leckluft werden feine Teilchen in der Schwebe gehalten und behindern so ein Nachfließen des Sorbens, so dass die Förderung unterbrochen werden kann. Weiterhin gilt es häufig, einen Überdruck im Silo zu vermei-

den. Dies wird mit zunehmendem Verschleiß und damit erhöhter Leckluft rate immer schwieriger.

Aus diesem Grund ist ein Zwischenbehälter (s. oben) vorzusehen, in dem sich der gleiche Druck wie unter dem Dosierorgan aufbaut, wenn er ansonsten allseitig geschlossen ist. Leckluft kann daher nicht auftreten. Störend bei einer solchen Konfiguration sind aber die regelmäßigen Befüllvorgänge, die bei einer Entlastung durch eine plötzliche Veränderung der Druckverhältnisse (es muss ein Druckausgleich zum Silo geschaltet werden) eine Störung im Förderorgan induzieren.

Leckluftabsaugung ist als Alternative zum Zwischenbehälter nicht zu empfehlen. Erfahrungen zeigen, dass auch diese Leckluftabsaugung störanfällig ist. Weiterhin geht eine nicht unerhebliche und nicht quantifizierbare Menge an Sorbens für den eigentlichen Einsatzzweck verloren.

Die Leckluftmengen können erheblich sein, wie ein Blick auf Abb. 5 zeigt. Hier ist die Leckluftmenge für verschiedene Zellenradgrößen (DN150, DN250, DN450) und Spaltweiten von 0,2 mm (Neuzustand bzw. leichter Verschleiß) und 0,5 mm (fortgeschrittener Verschleiß) als Funktion des Druckverhältnisses aufgetragen.

Bei einem Absolutdruck von 1,4 bar unterhalb der Zellenradschleuse in der Förderleitung und Umgebungsdruck (1 bar) 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 m³/min beobachtet. Steigt durch den Verschleiß die Spaltbreite auf 0,5 mm an, vergrößert sich die Leckagemenge auf ca. 3,5 m³/min und der gesamte Einlauftrichter kann je nach Materialeigenschaften fluidisiert werden.

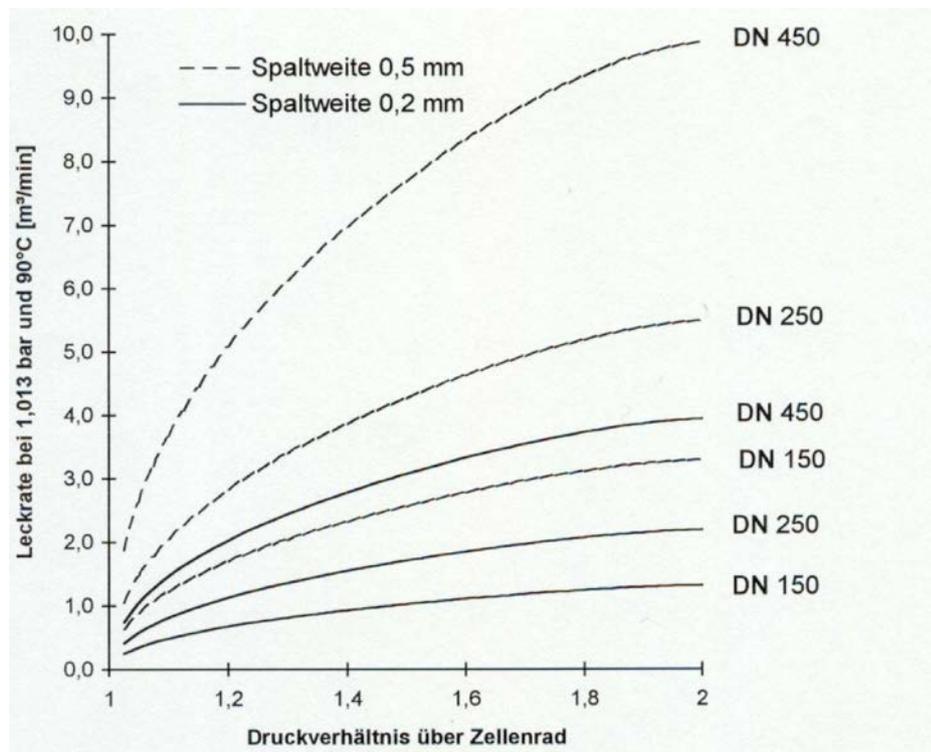


Abbildung 5: Leckluftmengen verschiedener Zellenradgrößen in Abhängigkeit vom Druckverhältnis

Anders beim Injektor (Abbildung 6): 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 (auf Höhe der Injektordüse) stets ein leichter Unterdruck. Damit wird aufsteigende Leckluft sicher vermieden. Der Förderdruck baut sich erst im Diffusor auf, wenn aufgrund des erweiterten Querschnittes die Gasgeschwindigkeit abnimmt (Energieerhaltung, Bernoulli).

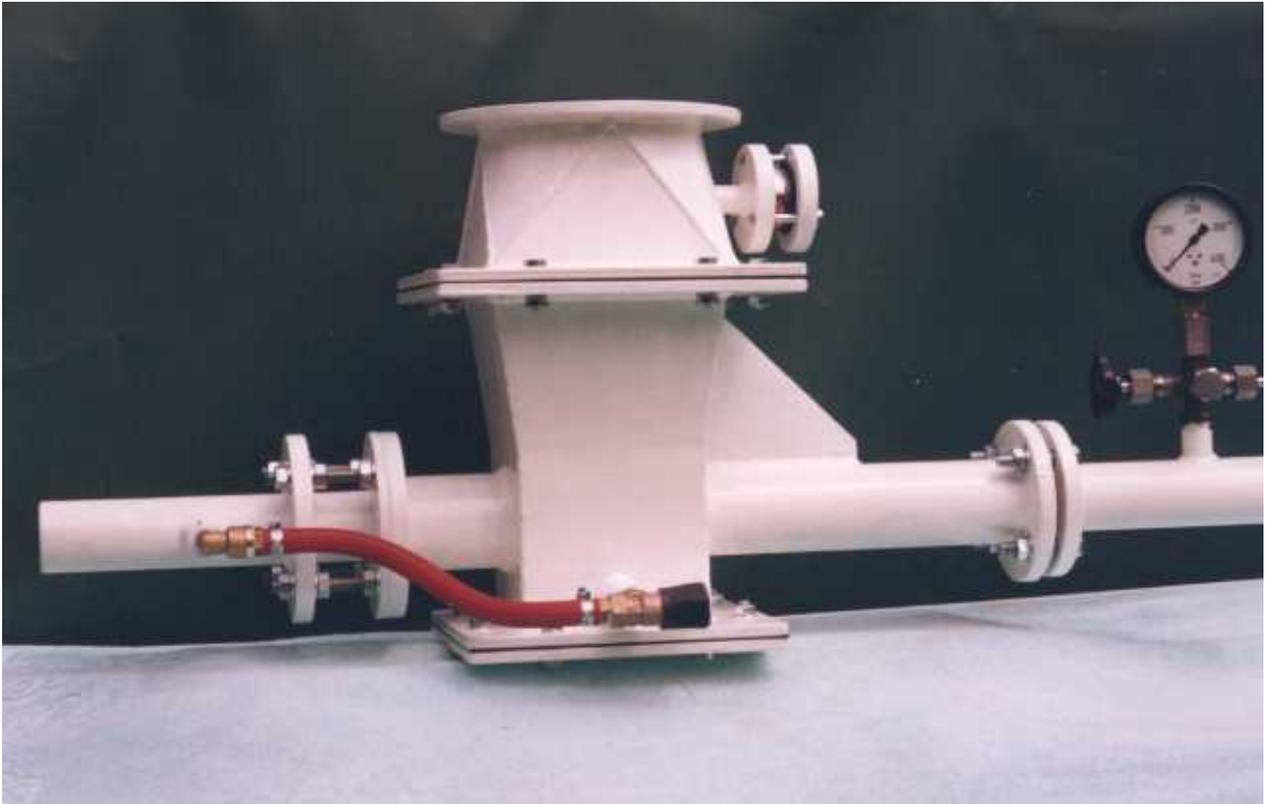


Abbildung 6: Injektor

Nachteilig bei der Verwendung von Injektoren als Förderorgan ist der begrenzte Druckaufbau zu Beginn der Förderleitung. Dadurch lassen sich nur relativ kleine Beladungen (die aber in den allermeisten Fällen Gegenstand der Förderaufgabe sind) und begrenzte Förderleitungslängen realisieren. Weiterhin geht bei dem Vorgang der Gas- und Feststoffbeschleunigung in der Düse und anschließender Verzögerung im Diffusor Energie verloren, so dass ein höherer Energieeintrag als bei anderen Systemen notwendig ist.

In Abb.7 ist der Druckverlauf einer pneumatischen Förderanlage (Zellenradförderung, Injektorförderung) 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 sogar ein leichter Unterdruck (Saugwirkung) eingestellt werden kann.

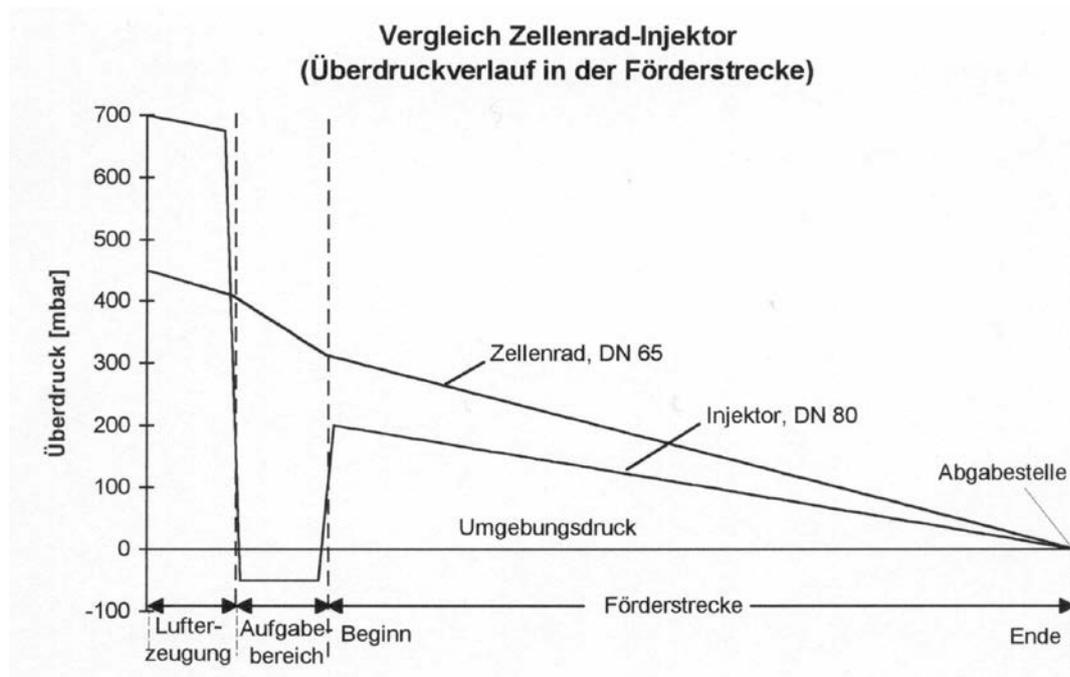


Abbildung 7: Druckverlauf einer pneumatischen Förderanlage („Zellenradförderung“ und Injektorförderung)

Bei Teillastbetrieb des Injektors kann der im Gehäuse aufgebaute Unterdruck so groß werden, dass besonders gutfließende Schüttgüter zum Teil durch das Dosierorgan (z.B. Dosierschnecke) hindurch angesaugt werden. Andererseits treten bei kurzzeitigen Massenstromschwankungen auch kurze Überdruckspitzen (Rückblasen) im Gehäuse auf, wenn zu viel Material dem Treibstrahl zugeführt wird. Daher empfiehlt sich die Verwendung einer Rückschlagklappe im Injektorgehäuse, die eine Falschlufansaugung (bei zu großem Unterdruck) ermöglicht, bei Überdruck aber das Gehäuse abschließt.

Besonders schwierig zu handhabende Fördergüter wie Kalkhydrat können die vollständige Verstopfung des Diffusors innerhalb von 1-2 Tagen hervorrufen. Erst mit dem Einsatz spezieller Kunststoffe, die einerseits das Zuwachsen verhindern, aber andererseits auch verschleißfest sind, lassen sich Standzeiten von bis zu 3000 Betriebsstunden realisieren.

Auch bei der Förderstrecke zwischen dem Injektor und dem Verteiler ist hinsichtlich möglicher Anbackungen eine sorgfältige Leitungsführung und Materialauswahl zu treffen. Bei Verwendung von Stahlrohren, bei Luftgeschwindigkeiten von ca. 20 m/s und kleineren Beladungen bilden sich extrem harte Wandansätze (s.o.), die nur „bergmännisch“ entfernt werden können. Die einzige Alternative ist hier der Einsatz von Förderleitungen aus Gummi, die aufgrund ihrer Flexibilität und Eigenschwingungen Wandansätze zurückdrängen bzw. bei denen sich Anbackungen selbständig wieder lösen. Folgende Kenndaten für die Förderung sind sinnvoll:

- Förderluftgeschwindigkeit: 14..18 m/s allgemein, für
- Beladung: ca. 1..2
- Förderleitungsdurchmesser: min DN 50 bei Förderleistung > 100 kg/h
- Förderleitungsmaterial: Gummi

Eine möglichst direkte Leitungsführung mit höchster Priorität und minimaler Krümmernzahl ist selbstverständlich. Als konstruktive Maßnahme sei der Einsatz von Flanschen mit Vor- und Rücksprung (für eine Zentrierung) empfohlen, damit nicht die kleinsten Absätze einen Ansatzpunkt für Ablagerungen bieten.

Im anschließenden Verteiler teilt sich der Förderstrom auf mehrere kürzere Leitungen auf, die zu den am Rauchgaskanal oder Kessel positionierten Einblasdüsen führen. Hier ergibt sich eine gleichmäßige Verteilung des Förderguts über den Querschnitt des Verteilers und somit auf die oben angeordneten Abgänge. Die Aufteilung erfolgt kontinuierlich, d.h. nicht getaktet und ohne nennenswerten Verschleiß. Die ohne besondere Maßnahmen erreichbaren Genauigkeiten liegen bei ca. 5 % für den Einzelstrang. Es wurden Verteiler mit 4 - 10 Abgängen realisiert.

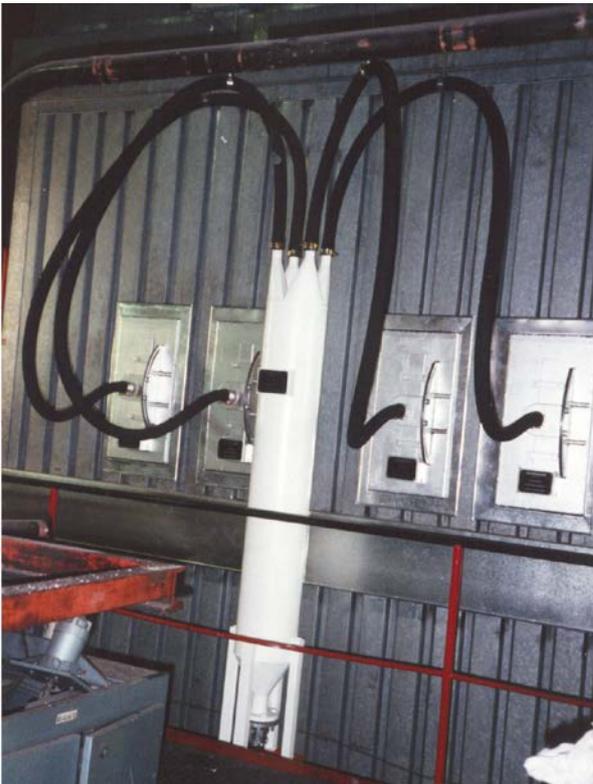


Abbildung 8: Optimierter Verteiler (oben mit Verdrängungskörper und außen angeordneten Abgängen)

Die Abbildung 8 zeigt einen solchen optimierten Verteiler. Da die Rückstellkräfte (parallel geschaltete Widerstände) bei wenigen Abgängen besonders hoch sind, empfiehlt sich eine Begrenzung auf max. 6 Abgänge.

Um Anbackungen (s.o.) zu vermeiden, werden die (kurzen) Leitungen zwischen Verteiler und Düsen ebenfalls aus Gummi ausgeführt. Die Leitungen bzw. Abgänge hinter Verteiler müssen absperrbar sein.

Einblasdüsen werden so ausgelegt, dass eine gute Verteilung des Feststoffes im Reaktionsraum erzielt wird. Dazu werden Durchmesser und Austrittsgeschwindigkeit berechnet. Bei schwenkbaren Düsen kann der Feststoffstrahl zur Erzielung einer optimalen Vermischung fast beliebig im Raum bewegt werden.

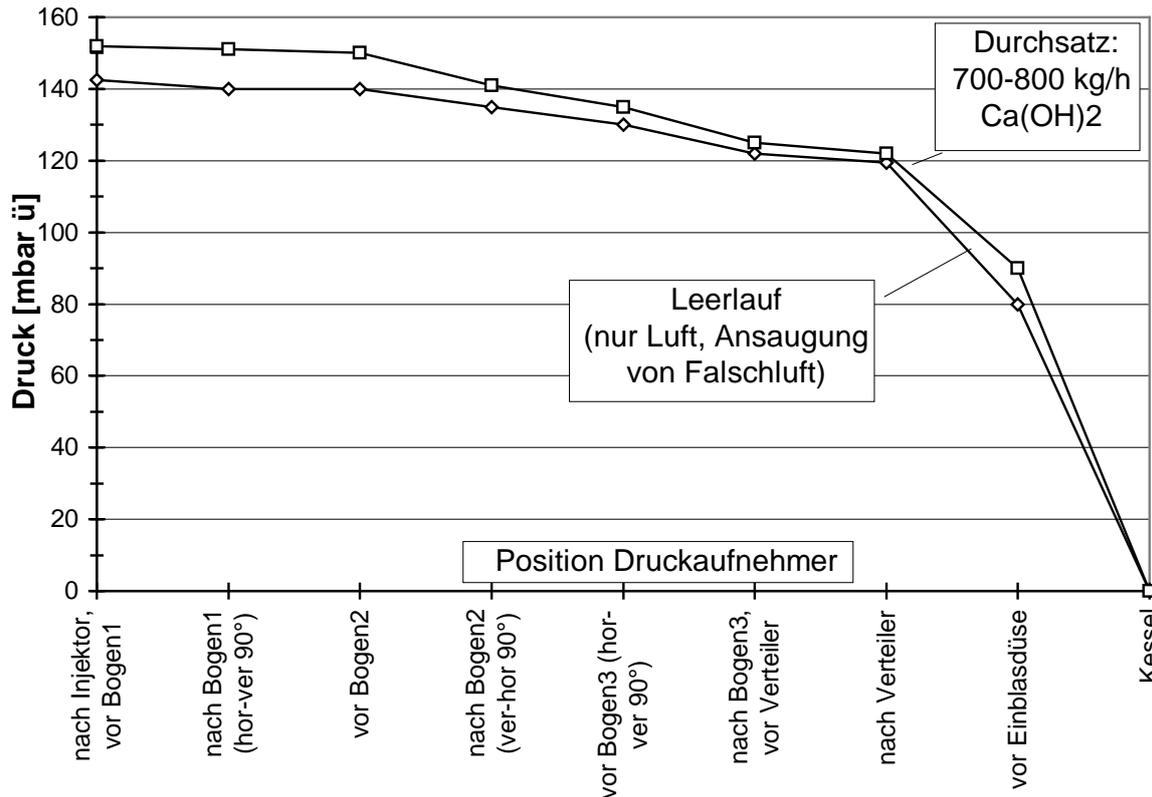


Abbildung 9: Druckverlauf entlang der Förderstrecke mit Verteiler und Einblasdüse, für Kalkhydrat

Wichtig bei der Auslegung von Verteiler, Zwischenleitung und Einblasdüse ist, daß der Druckverlust in den Zwischenleitungen klein gegenüber dem Druckverlust der Einblasdüse ist, damit aufgrund der unterschiedlichen Längen der Zwischenleitungen keine signifikanten Unterschiede in den Druckwiderständen auftreten, die eine ungleichmäßige Aufteilung hervorrufen würden (Parallelschaltung von Widerständen). Beispielhaft ist in der Abb. 9 der Druckverlauf von der Aufgabestelle bis in den Kessel wiedergegeben. Es ist abzulesen, dass in der Düse ca. 50% des gesamten, ursprünglich zur Verfügung gestandenen, Förderdruckes abgebaut wird.

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. In der Abgasreinigung wird beispielsweise gefordert, Sorbentien in optimaler Konzentration in Abgaskanälen oder Feuerräumen zu verteilen. Dazu gehört eine gewisse Eindringtiefe und Strahlaufweitung.

Auf den beiliegenden Fotos ist der Injektor mit Luftversorgung (grün) Förderleitung (Plastikschlauch) und Drucküberwachung (grau, mit Manometer) gut zu erkennen. Im Prinzip handelt es sich um eine besondere Bauform des bekannten Coanda-Injektors, Das För-

dergut tritt mittig ein und durchläuft das Zentralrohr, welches keine Verengung aufweist und daher jede Verstopfungsgefahr ausschließt. Der 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 Dispersion des Feststoffes im Luftstrahl erreicht. Der Aufweitungswinkel des Luft-/Feststoffgemisches lässt sich durch die Düsenkontur beeinflussen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Hochdruckinjektor die Teilaufgabenbessere Dispergierung und definierte Eindringtiefe in einfacher, platzsparender und zuverlässiger Weise erfüllt.



Abbildung 10: Strahldispergierung beim Hochdruckinjektor