



# **Pneumatische Förderung von alternativen Brennstoffen Ein Erfahrungsbericht – aus der Praxis für die Praxis**

**Die Schenck Process Europe GmbH gilt als Experte im Bereich der pneumatischen Förderung von alternativen Brennstoffen. Das Darmstädter Traditionsunternehmen hat aus seiner Förderschleuse für die pneumatische Förderung grobstückiger, stark schleißender und schwer fließender Materialien zahlreiche pneumatische Fördersysteme mit Injektor-Durchblas-Messerschleuse (IDMS) entwickelt.**

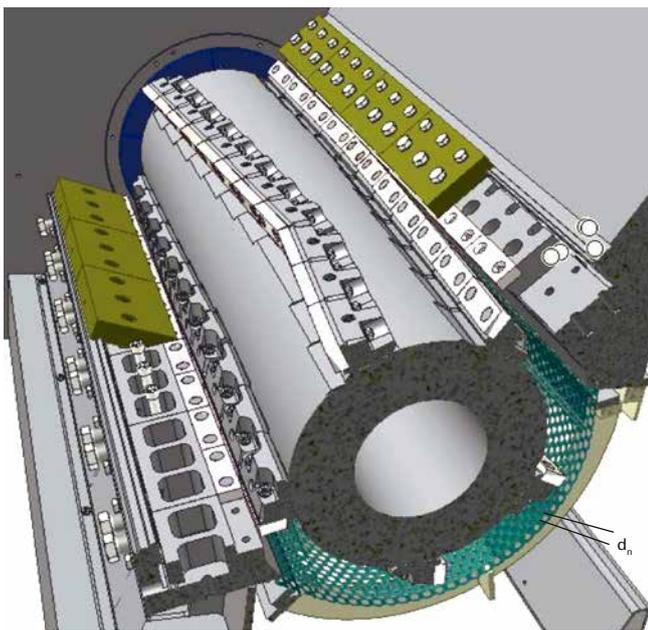


**Bild 1: Beispiele unterschiedlicher Brennstoffe: Holzhackschnitzel, Produktionsabfälle, Schredderleichtfraktion, Reifenschnitzel, Recyclingabfälle, Abfallstäube**

## 1 Materialdefinition

### 1.1 Materialherstellung

Alternative Brennstoffe oder Refuse Derived Fuels (RDF) gehen als Endprodukte aus Materialaufbereitungsanlagen hervor. Gewerbe- und Siedlungsabfälle durchlaufen dort einen mehrstufigen Zerkleinerungs- und Aufbereitungsprozess. Das endgültige Kornspektrum der RDF (Bild 1) wird dabei durch den Schredder der letzten Aufbereitungsstufe



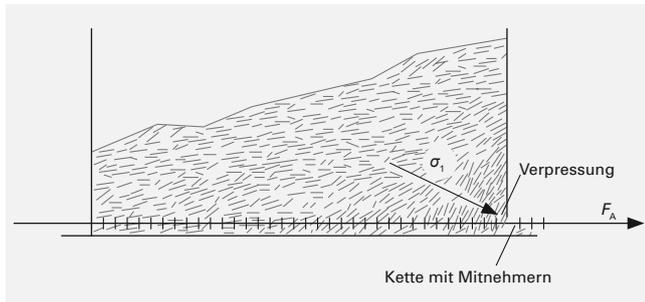
**Bild 2: Schredder mit integriertem Gradiersieb, Bauart Lindner-Recyclingtechnik (www.l-rt.com)**

bestimmt. Unter dessen Schneidrotor ist ein Lochblech eingebaut, das als Gradiersieb fungiert.

Je nach Art des Schredders, Zerkleinerungsgrad und Eigenschaft des Ausgangsmaterials entsteht bei jedem Zerkleinerungsprozess ein Anteil Überkorn. Hat das im Schredder integrierte Gradiersieb etwa ein Lochmaß von 30 mm (Bild 2), bewegt sich die mittlere Körnung im Bereich von 1 bis 30 mm. Das zulässige Überkorn von etwa 1 bis 3 Ma% kann aber dabei bis zu 50 mm betragen. Also gilt, je größer RDF zerkleinert wird, desto mehr Überkorn entsteht. Die Dimension des Überkorns kann dabei das Lochmaß des Gradiersiebes um ein Vielfaches übersteigen.

### 1.2 Materialeigenschaften

Die faserig-blättrige Partikelform des RDF wirkt sich auf die Fließigenschaften negativ aus, dies umso mehr, wenn große Kräfte und damit innere Spannungen auf das Material einwirken. Probleme treten vor allem an mechanischen Austragsgeräten in der Tiefe des Materials auf. Typische Stellen sind überschüttete Einläufe von Schnecken oder Bereiche oberhalb von Austragsgeräten. Weil sich langgestreckte Partikel bei Belastung vorzugsweise mit ihrer Längsrichtung quer zur größten Hauptspannung anordnen, treten dort massive Verpressungen auf [1]. Diese verursachen große Abzugskräfte und damit enorme Antriebsmomente an den Austragsorganen (Bild 3). Hinweise zur Auslegung der Fördertechnik siehe [6] bis [10].



**Bild 3: Austrag plättchenförmiger Partikel, Hauptspannung  $\sigma_1$  im Verpressungsbereich [1]**

Dieser Prozess der Ausrichtung bewirkt, dass sich die Partikel noch stärker überlappen und sich die Reibungskräfte erhöhen. Damit sich nun eine Scherfläche ausbilden kann, müssen sich die Partikel entlang der Richtung der Scherfläche ausrichten und umordnen.

**Beim Fördern faseriger alternativer Brennstoffe (RDF) sind also hohe Spannungen und lokale Spannungskonzentrationen zu vermeiden.**

Nachfolgend ein Beispiel einer typischen Materialspezifikation für RDF:

Schüttgut:	Abfälle, geschreddert
Schüttgewicht:	0,1–0,5t/m <sup>3</sup>
Körnung:	0–60mm, partiell 1–3% bis 100mm
Feinanteil:	max. 2–3% < 300 $\mu$ m
Kornform:	zweidimensional, granulatartig
Aschegehalt:	max. 15%
Inertmaterialien:	max. 5%
Eisen- und NE-Metalle:	max. 0,5%
Körnung Metallteile:	max. 40mm
Feuchte:	max. 20%
Temperatur:	max. 80 °C
Fließeigenschaften:	mäßig bis schwer fließend, brückenbildend

Die hier gezeigte Materialspezifikation ist einfach gehalten und genügt den meisten praktischen Anforderungen im Bereich der alternativen Brennstoffe.

Tendenziell lassen sich die wesentlichen Materialeigenschaften zusammenfassen:

**Korngröße** » je größer umso schlechter fließend

**Kornform** » je unregelmäßiger umso schlechter fließend

**Schüttdichte** » je leichter umso schlechter fließend

**Feuchte** » je feuchter umso schlechter fließend

**Fettgehalt** » je fettiger und klebriger umso schlechter fließend

Für die Materialdefinition von alternativen Brennstoffen haben sich in Europa Normen etabliert, welche die vertragliche Einhaltung der Materialspezifikation besser überprüfbar machen. Einige der wichtigsten Normen sind hier mit den Quellen [11] bis [14] angegeben.

## 2 Material-Handling

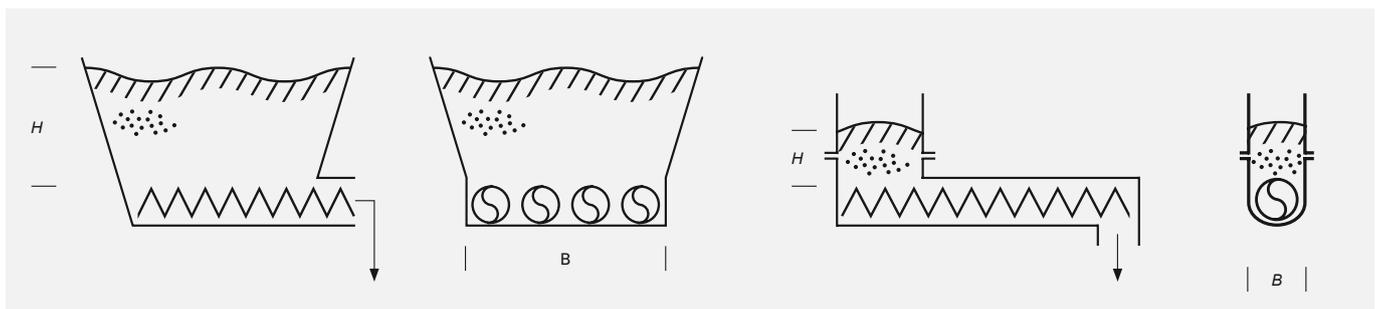
### 2.1 Austrag aus Bunkern und Silos

Naturgemäß lassen sich RDF nur schwer aus Bunkern und Silos fördern. Die Beherrschung des Materialstroms wird umso wichtiger, je enger die Schurren und Einläufe zu den nachfolgenden Maschinen ausgeführt sind. Schon kleine Schwankungen im Materialstrom verursachen Brückenbildung in den Schurren und blockieren Maschinen.

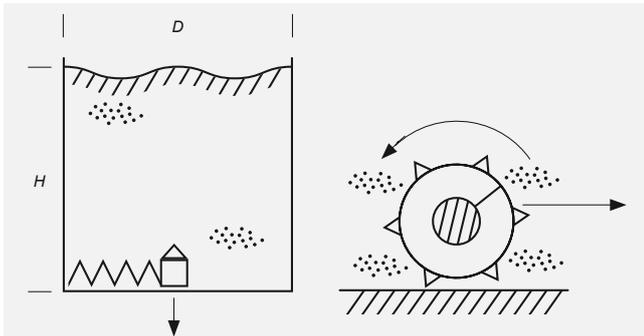
Als Austragssysteme für RDF haben sich Schneckenböden, Leiterböden und Siloextraktionsschnecken bewährt. Zweck dieser Systeme ist der kontrollierte und damit regelbare Austrag aus dem Materiallager. Dieser muss in ausreichendem Maß der Stellgröße aus der Aufgaberegulierung des Dosiersystems folgen. Eine Linearität des Austragsverhaltens ist nicht zwingend notwendig. Zum besseren Verständnis des Austragsverhaltens von RDF folgen nun einige einfache Abschätzungen.

#### 2.1.1 Austrag von unten

Beim Austrag von unten (Bild 4) wird die Abzugskraft von unten in das Material eingeleitet. Dabei ist sekundär, ob der Austrag durch Schnecken, Schneckenböden, Kratzketten oder Schubböden erfolgt.



**Bild 4: Austrag von unten, Beispiel Schneckenförderelement und Schneckenförderelement**



**Bild 5: Austrag von unten, Siloextraktionsschnecke mit Detail**

Für den Austrag von unten gilt folgende einfache Beziehung:

$$H \leq B \quad (\text{Allgemeines Lagergesetz})$$

mit

$$H \text{ (Lagerhöhe)} \quad (1)$$

$$B \text{ (minimale Lagerbreite (Durchmesser))}$$

Diese Bedingung gilt universell für alle RDF-Schüttungen. Sie ist auch auf die Beurteilung der Geometrie von Maschineneinläufen und materialgefüllte Schuppen anwendbar. Eine Ausnahme vom allgemeinen Lagergesetz bildet der Siloaustrag mittels Siloextraktionsschnecke (Bild 5).

Hier gilt auf Grund der fräsenden Maschinenfunktion in Verbindung mit Rundsilos folgende einfache Beziehung:

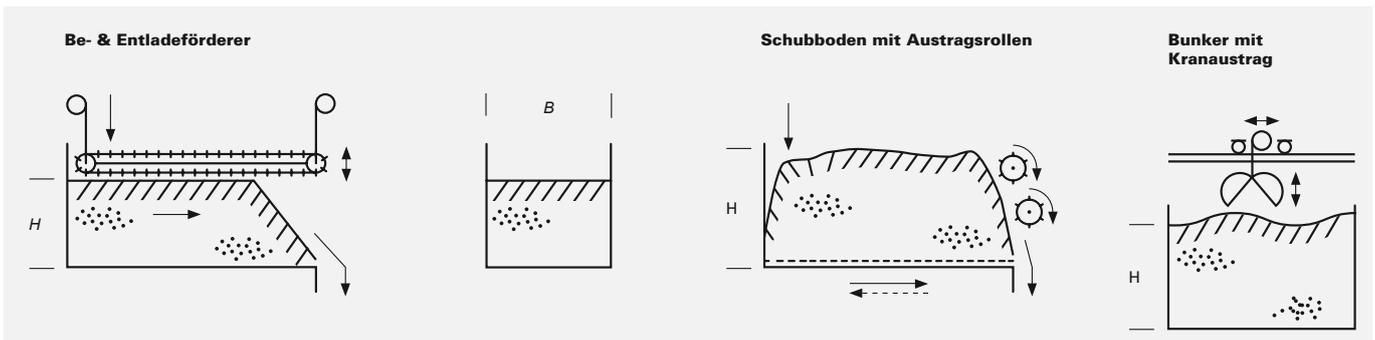
$$H \leq 2D \quad (\text{Lagergesetz für Siloextraktionsschnecken})$$

mit

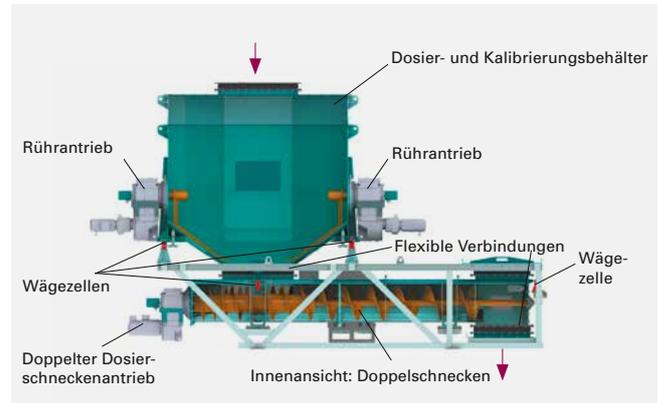
$$H \text{ (Lagerhöhe)} \quad (2)$$

$$D \text{ (Silo-Durchmesser)}$$

Überschreitungen dieser Beziehungen, auch nur örtlich, führen immer zu Brückenbildung und damit zu nachhaltigen Betriebsstörungen!



**Bild 6: Austrag von oben, Beispiele**



**Bild 7: Schneckenwaage MultiFlex**

### 2.1.2 Austrag von oben

Große Lagervolumen lassen sich kostengünstig mit Flachbunkern realisieren. Typische Vertreter dieser Austragsgeräte zeigt Bild 6.

Das Prinzip first in first out wird beim Bunkeraustrag von oben, durch den Hallenkran oder den Be- und Entladeförderer verletzt. Um einer Materialverklumpung und drohenden Zeitverfestigung in der Tiefe des Bunkers zu begegnen, gilt für diese Art der Flachbunker folgende einfache Beziehung:

$$H \leq 3B \quad (\text{Flachbunker Lagergesetz})$$

mit

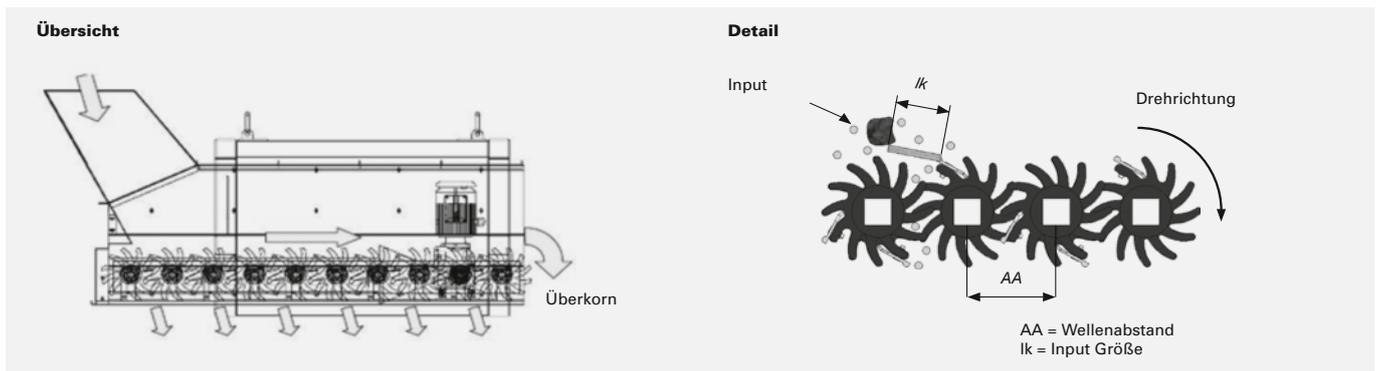
$$H \text{ (Lagerhöhe)} \quad (3)$$

$$B \text{ (Bunker-Breite)}$$

Weist das Material ein ausgeprägtes Selbstentzündungsverhalten auf, so sind die Werte gegebenenfalls zu reduzieren.

### 2.2 Dosiertechnik

Im Rahmen der Dosiertechnik von alternativen Brennstoffen haben sich MULTIDOS®-Dosierbandwaagen und MultiFlex-Schneckenwaagen (Bild 7) etabliert [8].



**Bild 8: Sternsieb, Aufbau und Funktionsprinzip, Bauart KOMPTECH GmbH ([www.komptech.com](http://www.komptech.com))**

Dosierer für RDF benötigen wegen der leichten und sperrigen Fördermaterialien sowie der im Vergleich zu den Förderstärken hohen Volumenströme großzügig dimensionierte freie Förderquerschnitte. Blockierungen durch Schüttgutschwankungen oder Störstoffe werden so sicher vermieden.

### 2.3 Umgang mit Störstoffen – Siebtechnik und Magnetabscheider

#### 2.3.1 Sternsieb

Sternsiebe finden im Rahmen der Dosierung von alternativen Brennstoffen ausschließlich als Polizeisieb Verwendung. Ein Polizeisieb hat die Aufgabe, die nachfolgenden Anlagenteile vor Störstoffen sicher zu schützen. Das Sternsieb dient hier nicht der Fraktionierung. Dies ist Aufgabe der Materialaufbereitung. Aufbau und Funktion eines Sternsiebes zeigt Bild 8.

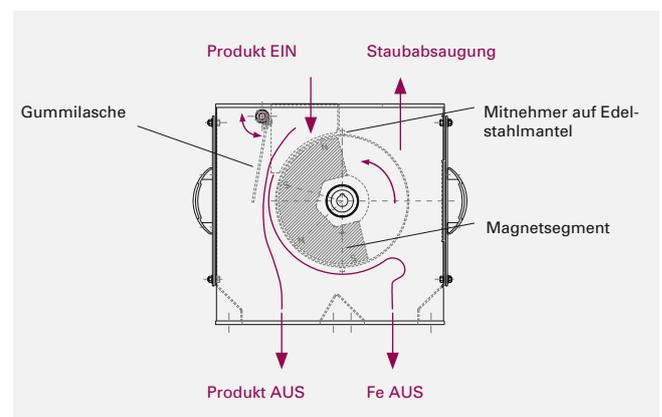
Das Hauptauslegungsproblem bei einem Polizeisieb besteht darin, das Grenzkorn so zu wählen, dass der immer gering vorhandene und fördertechnisch unkritische Überkornanteil gerade noch das Sieb passiert. Übergroße Teile, sogenannte Störgrößen, müssen aber zuverlässig abgeseibt werden. Das Grenzkorn hängt ab von der Korngeometrie, der Schüttdichte, von der Geometrie der Siebsterne und von der Drehzahl der Siebwellen. In gewissen Grenzen lässt sich das Grenzkorn mittels Drehzahlanpassung der Siebwellen variieren. Hierfür wird in der Regel ein Frequenzumrichter mit bei Inbetriebnahme voreingestellter Frequenz und damit Siebwellendrehzahl eingesetzt.

Die aktive Lücke zwischen den rotierenden Siebsternen ist für die Funktion des Sternsiebes von größter Bedeutung. Versuchen lange Teile – sogenannte Fische – das Siebdeck zu passieren, werden sie durch die im Siebspalt zwischen den rotierenden Siebsternen herrschende Reibung wieder aus diesem zurückgedrängt. Das Grenzkorn – der sogenannte Siebschnitt – kann durch Anpassung der Drehzahl in gewissen Bereichen verändert werden. Die rotierenden

Siebsternfinger sorgen für eine intensive Durchmischung des Siebbelages und unterstützen so aktiv das Auflösen von Verklumpungen. Die Lücken zwischen den Siebsternen werden durch die elastischen Finger der Siebsterne gereinigt. Der wesentliche Vorteil ist, dass damit die Siebfläche und die Siebleistung erhalten bleiben. Die im Material rotierenden Teile des Siebdecks bestehen aus den elastischen Siebsternen und deren elastischen Zwischenbuchsen. Gerade diese Elastizität im Siebbereich vermeidet ein Verklemmen und eine mechanische Überlastung der Siebwellen und deren Lager und beugt so nachhaltig Beschädigungen vor. Ein weiterer Vorteil der Sternsiebe ist die Möglichkeit, Siebelemente unterschiedlicher Breite unter Beibehaltung des Siebwellenabstandes einzusetzen und damit noch kurzfristig und auf einfachem Weg, etwa beim Troubleshooting auf der Baustelle, das Grenzkorn noch in der montierten Anlage anzupassen.

#### 2.3.2 Trommelmagnetabscheider

Aufbereitete RDF enthalten immer geringe ferromagnetische Anteile. Beim Transport und bei der Lagerung können RDF zusätzlich durch Metallteile verunreinigt werden. Um diese stark schleißenden ferromagnetischen Störstoffe aus dem Prozess auszuschleusen, kommen Trommelmagnet-



**Bild 9: Funktionsprinzip Trommelmagnetabscheider, Bauart GOUDSMIT Magnetics Group ([www.goudsmitmagnets.com](http://www.goudsmitmagnets.com))**

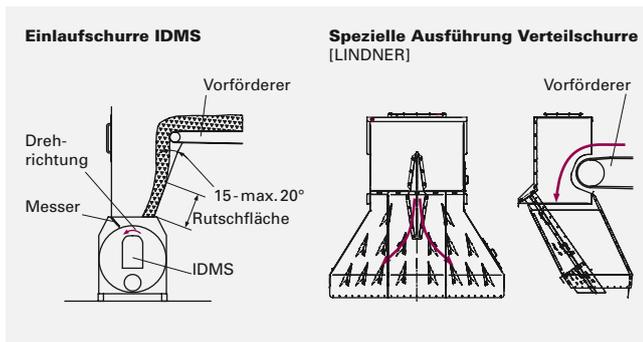
abscheider zum Einsatz. Auf Grund der kompakten und geschlossenen Bauform und der vordosierten Materialzuteilung hat sich hier der Trommelmagnet bewährt. Die rotierende Trommel ist dabei mit einem einstellbaren Dauermagneten bestückt. Die prinzipielle Funktion zeigt Bild 9.

Die Trommel des Magnetabscheiders besteht aus einem stationären Magnetsegment und einem nichtmagnetischen Edelstahlmantel. Der Mantel wird von einem Motor angetrieben und rotiert in der Richtung des Produktstroms. Das Magnetsegment bewegt sich nicht. Die ferromagnetischen Teile werden durch das Magnetsegment angezogen und haften am Mantel. Das nichtmagnetische Produkt fällt senkrecht nach unten. Die Fe-Teile werden zum nichtmagnetischen Teil der Trommel transportiert. Hier wirkt kein Magnetfeld mehr, so dass die Fe-Teile von der Trommel in den Fe-Auslaufkanal fallen. Der alternative Brennstoff fällt durch den Produktauslauf aus dem Gerät. Die Fe-Teile werden über eine Edelstahl-, Gummi- oder Kunststoffschurre in einen bauseitigen Auffangbehälter geleitet.

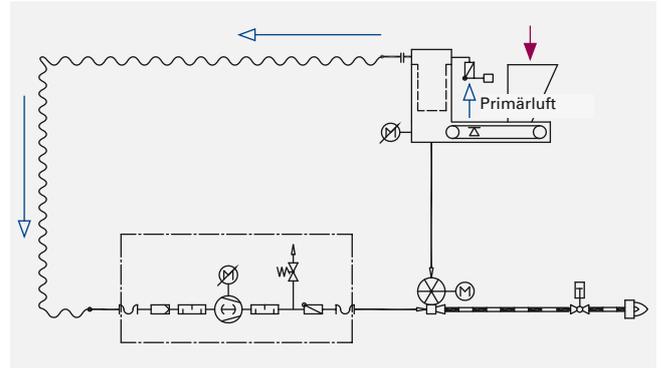
#### 2.4 Die Schurre – mehr als ein Stück Blech

Schurren sind ein wesentlicher Bestandteil von RDF-Anlagen und nicht – wie man auf den ersten Blick vermuten mag – einfache Verbindungselemente aus Blech. Den Schurren kommt die Aufgabe zu, den Materialfluss so zu lenken, dass dieser im Zustrom für die nachfolgende Maschine ideal erfolgt, ohne diese zu überschütten oder zu verstopfen. Je nach Ausführung wird zwischen beschleunigenden, verzögernden, verbreiternden und einziehenden Schurren (Bild 10) unterschieden. Oft kommt den Schurren auch die Aufgabe der Entstaubung zu.

Alle Schurren sind auf Grund der Störanfälligkeit hinsichtlich des Verstopfens mit Revisionsöffnungen und Füllstandssonden als Verstopfungswächter zu versehen. Diese sind an kritischen Stellen in der Schurre installiert und legen die Anlage bei drohender Verstopfung still (vgl. Abschnitt 2.1.1, Allgemeines Lagergesetz).



**Bild 10: Schurrengeometrie und Materialführung**



**Bild 11: Leckluftentstaubung mit Abluftrückführung**

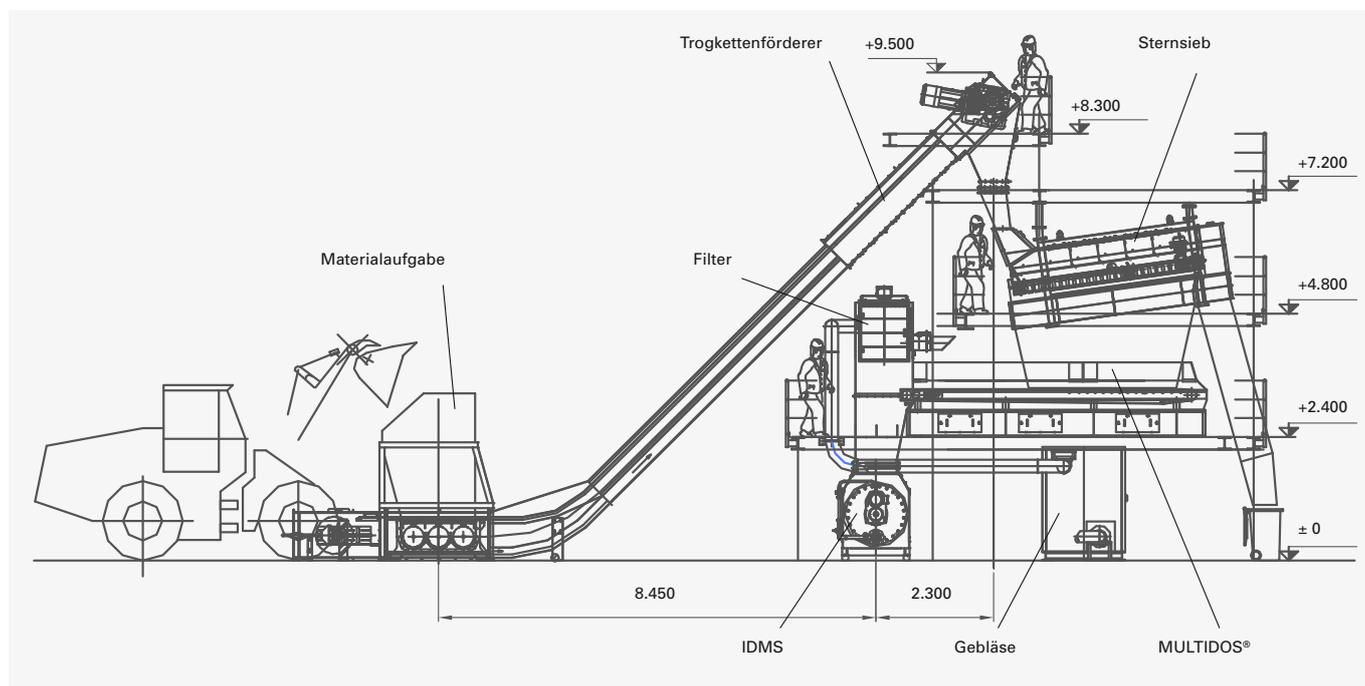
#### 2.5 Der betriebssichere Filter – Anforderungen an die Filtertechnik

Die in den Dosieranlagen geförderten alternativen Brennstoffe (RDF) sind in vielen Fällen gesundheitsschädlich, ekelerregend und teilweise toxisch. Zum Schutz des Betriebspersonals und der Umwelt ist eine effektive Entstaubung nötig. Die Entstaubung hat dabei die Aufgabe, das Innere der Anlage unter leichten Unterdruck zu setzen und so gezielt das Austreten von Staub, üblen Gerüchen und gesundheitsschädlichen Gasen zu vermeiden. Dies gilt insbesondere für die Entstaubung im Bereich der pneumatischen Förderung. Hier werden Material und Förderluft stark durchmischt, was die Entstehung von Staub und Gerüchen begünstigt.

Im Bereich der Brennerbeschickung mittels pneumatischer Förderung hat sich hinsichtlich der Entstaubung das Prinzip der Abluftrückführung (Bild 11) bewährt. Die aus der Förderschleuse austretende Leckluft ist durch die warme Gebläseluft mit Feuchtigkeit vom Material beladen. Trifft diese gesättigte feuchte Luft auf die kühle Außenwand des Filtergehäuses, tritt augenblicklich Kondensation ein, Wasser sammelt sich, sickert in die Filterelemente und lässt diese versotten – mit der Folge, dass der Filter verstopft und die Entstaubung nicht mehr gewährleistet ist.

Dieses Szenario wird verhindert, wenn die Reingasseite des Filters mit Außenluft gespült wird und so einer örtlichen Taupunktunterschreitung entgegengewirkt. Die Außenluftzuströmung in die Reingasseite erfolgt durch eine gewichtsbelastete Klappe, die den zur Gesamtfunktion des Filters notwendigen Unterdruck nachhaltig sicherstellt. Der Unterdruck wird über die Absaugung am Saugstutzen der Filterreingasseite erzeugt. Als Sauggebläse wird entweder ein Ventilator eingesetzt oder im Rahmen der pneumatischen Förderung das Fördergebläse selbst.

Der Vorteil der oben beschriebenen Abluftrückführung besteht darin, dass zur Absaugung des Filters das vorhan-



**Bild 12: Einfacher Dosieranlagenbau „Starter-Kit“**

dene Fördergebläse genutzt wird – eine Umgebungsressource, die in der Regel bei jeder pneumatischen Förderung zur Verfügung steht. Durch die Rückführung des Reingases vom Filter in die pneumatische Förderung verschwinden alle flüchtigen Abluftbestandteile, wie üble Gerüche und gesundheitsschädliche Dämpfe, im Verbrennungsprozess.

### 2.6 Starter-Kit-Dosieranlage

Mit der Installation einer Starter-Kit-Dosieranlage (Bild 12) hat der Kunde die Möglichkeit, kostengünstig und betriebssicher unterschiedliche Materialien an seinem Ofen zu testen und damit spätere größere Investitionen in technischer Hinsicht besser abzusichern.

## 3 Problem der Einschleusung – Evolution der Förderschleuse

### 3.1 Verstopfungen und Blockaden

Die Hauptaufgabe von Förderschleusen für alternative Brennstoffe besteht in der Einschleusung der sehr leichten, abrasiven, klebrigen und sperrigen Materialien in eine unter Überdruck stehende, relativ enge Förderleitung. Um die Leckluft in verträglichen Grenzen zu halten, werden hierzu die Spaltmaße zwischen Zellenrad und Gehäuse auf ein Minimum reduziert und über den Betrieb möglichst aufrechterhalten. Kommt es bedingt durch extreme Störstoffe und der damit einhergehenden Beschädigung des Dichtspaltes zu einer dramatischen Erhöhung der Leckluft und wird diese nicht umgehend durch die Anpassung der Förderluftmenge kompensiert, verursacht der Förderluft-

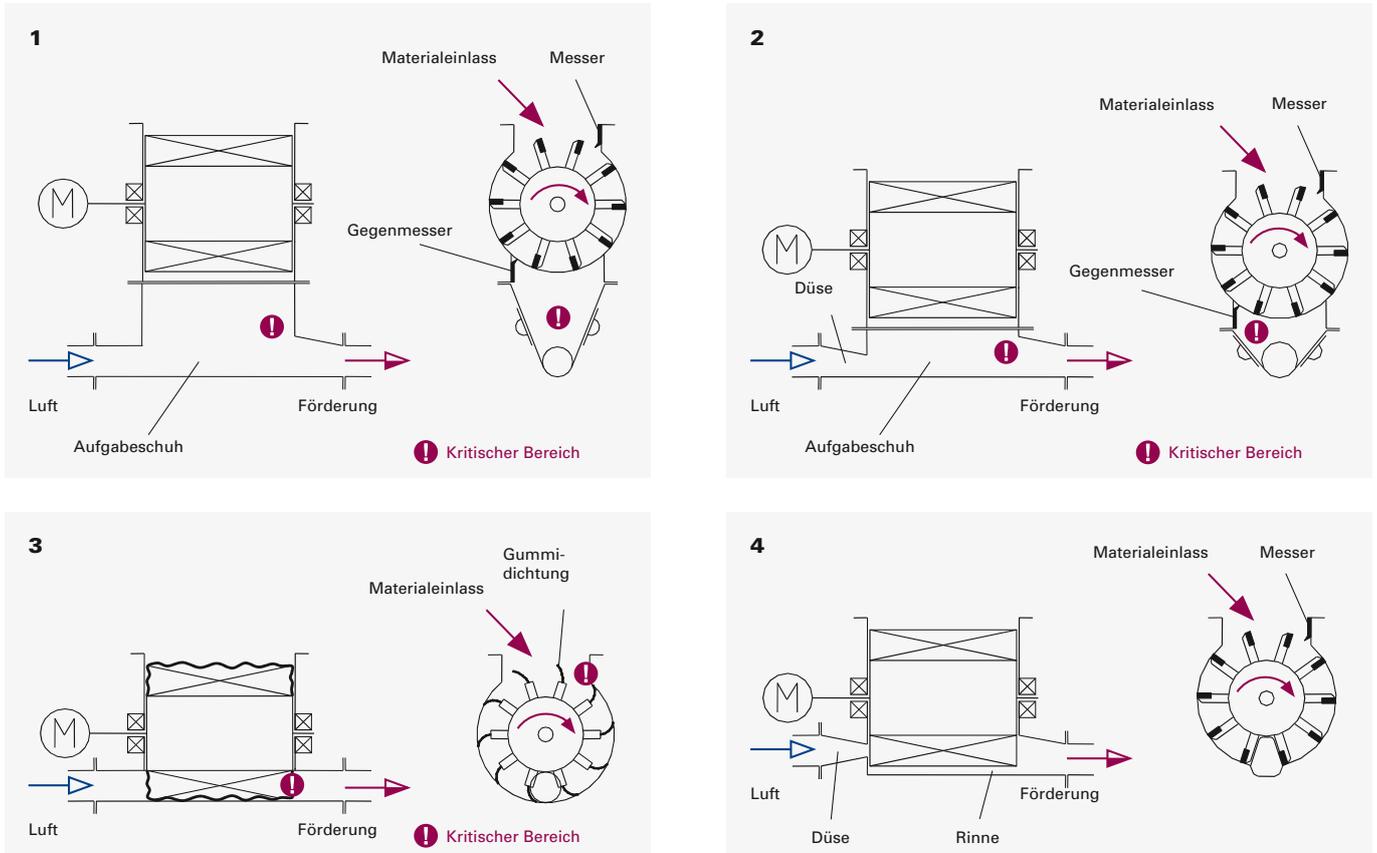
mangel einen Zusammenbruch der pneumatischen Förderung und die Verstopfung der Förderleitung.

Im Einlaufbereich der Förderschleuse besteht das Problem, die Kammern des Zellenrades ausreichend gut und vollständig mit Material zu befüllen. Dies geschieht zum einen durch die möglichst gleichmäßig vordosierte Zuführung des Materials. Zum anderen muss das Material der Förderschleuse über die gesamte Kammerlänge verteilt zugeführt werden, sodass örtliche Überfüllungen und damit Blockaden des Zellenrades vermieden werden. Neben der Vordosierung ist das die wesentliche Aufgabe der Einlaufschurre (vgl. Abschnitt 2.4). Im Auslaufbereich der Schleuse muss das Material in die Förderleitung umgeladen werden. Bei sehr leichten und sperrigen Materialien wie der Gruppe alternativer Brennstoffe (RDF) ist dies nicht immer möglich.

### 3.2 Von der Ausfallschleuse zur Injektor-Durchblas-Messerschleuse

Einführend soll nun kurz auf die Historie und die Evolution der Förderschleusen für alternative Brennstoffe eingegangen werden (Bild 13).

Alternative Brennstoffe sind gemessen an der Geschichte der Schüttguttechnik ein sehr junges Material, deshalb lagen zu Beginn der ersten Überlegungen zur Konstruktion einer Förderschleuse noch keine wesentlichen und greifbaren Erfahrungen vor. Es wurden unterschiedlichste Lösungsansätze getestet. Eines der ersten Förderschleusenkonzepte bestand aus der Kombination einer Ausfallmes-



**Bild 13: Evolution der Förderschleusen, zeitliche Folge 1 bis 4**

serschleuse mit einem Aufgabeschuh. Das eigentümliche Problem eines Aufgabeschuhs ist, dass dieser mit sperrigen und leichten Materialien sehr schnell verstopft und daher immer wieder gereinigt werden muss.

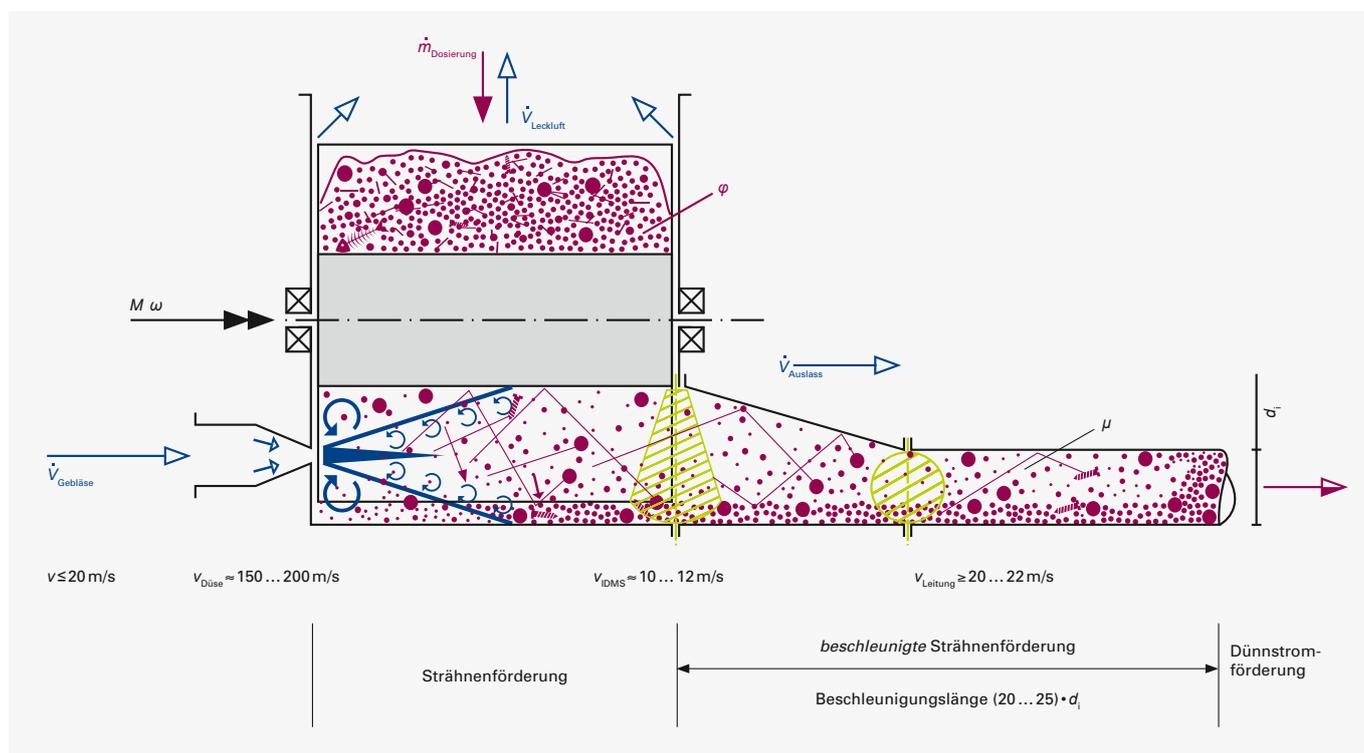
Diesem typischen Problem begegnete man, indem der Aufgabeschuh zum Injektorschuh umfunktioniert und in diesen eine Düse integriert wurde. Gleichzeitig verlegte man diesen näher zur Ausfallmesserschleuse hin. Mit der stetigen Verknappung von alternativen Brennstoffen – bedingt durch die steigende Nachfrage als Brennstoff am Markt – nahm die Qualität dramatisch ab, und so stieß auch dieses Konzept an seine natürlichen Grenzen.

Das war die Geburtsstunde der Durchblassschleuse für alternative Brennstoffe. Ausgehend von den Erfahrungen mit bekannten Durchblassschleusen wurde nun versucht, das Material direkt mit Förderluft aus der Zellenradkammer auszublasen. Da der ausblasbare Kammerquerschnitt einer klassischen Durchblassschleuse in engem Zusammenhang mit dem Durchmesser der Förderleitung steht [2], dieser Umstand jedoch bedingt durch die für RDF erforderlichen großen Zellenradkammern nur zum Teil konstruktiv berücksichtigt werden konnte, blockierten bei diesen Schleusen immer wieder durch unvollständige Entleerung

die Kammern im Ausblasbereich. Ursache dafür war das Verkleben von Material zwischen dem Zellenrad und der Ausblasöffnung.

Diesem Problem wurde dadurch begegnet, dass man das Zellenrad mit weichen Dichtlippen versah – mit dem Nachteil, dass diese Gummidichtleisten bei harten Störstoffen sehr schnell beschädigt wurden und dadurch die Leckluft im Betrieb dramatisch anstieg. Ein Zusammenbruch der pneumatischen Förderung war die unausweichliche Folge. Durch die schlechter werdende Qualität der alternativen Brennstoffe nahm der Verschleiß im Bereich der Gummidichtlippen sogar dramatisch zu, was dazu führte, dass entweder die Gummidichtlippen sehr kurzfristig und häufig gewechselt oder die möglichen Förderleitungslängen und die damit einhergehenden Förderleitungsrückdrücke stark herabgesetzt werden mussten. Beide Maßnahmen hätten einen technologischen Rückschritt bedeutet, was im Widerspruch zu den steigenden Anforderungen des Marktes stand.

Ausgehend von diesen Erfahrungen führte die Weiterentwicklung der Förderschleuse für alternative Brennstoffe weg von der „weich“ gedichteten Durchblassschleuse hin zur „hart“ gedichteten Durchblassmesserschleuse mit integ-



**Bild 14: Funktionsprinzip der Injektor-Durchblas-Messer-Schleuse (IDMS)**

rierter Injektordüse. Im Nachfolgenden soll nun die daraus entstandene Technologie der Injektor-Durchblas-Messer-Schleuse (IDMS) erläutert werden.

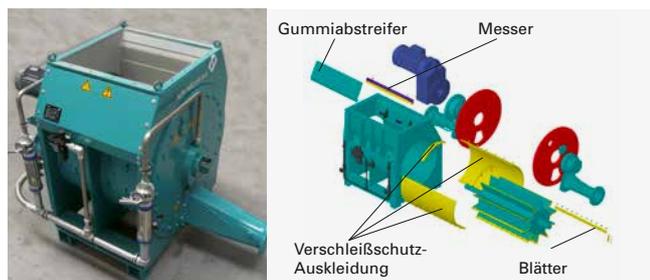
### 3.3 Lösung eines technischen Konflikts

Alternative Brennstoffe (RDF) zählen zur Gruppe der schwierigen Schüttgüter, da viele Materialparameter wie Schüttdichte, Feuchte, Körnung und Kornform im Betrieb starken Schwankungen unterworfen sind. Die stark schleißende Materialeigenschaft kommt erschwerend hinzu. Bei der Anlagenauslegung und der Auswahl der Komponenten wird den ungünstigen Materialeigenschaften üblicherweise durch eine sehr robuste Maschinenausführung Rechnung getragen. Oberstes Ziel in dieser Applikation ist eine sehr hohe Verfügbarkeit bei rauestem Betrieb.

Möchte man nun sehr leichtes, sperriges und zum Teil auch klebriges Material in eine relativ enge und gleichzeitig unter Überdruck stehende Förderleitung verbringen, so läuft man

unweigerlich in den technischen Konflikt, dass ein großer Volumenstrom bedingt durch die geringe Schüttdichte große Zellenradkammern erforderlich macht, diese dann aber ohne Blockade in eine enge Förderleitung umgeladen werden müssen. Die Lösung dieses Konfliktes erläutert Bild 14.

Statt wie bei klassischen Durchblassechleusen sorgt hier eine Injektordüse für effiziente Ausblasung und damit Entleerung des rotierenden Zellenrades. Die Injektordüse erzeugt beim Eintritt der Förderluft in die Zellenradkammer lokal eine hohe Luftgeschwindigkeit. Diese wiederum überträgt an das zu beschleunigende Material auf sehr kurzem Weg einen hohen Geschwindigkeitsimpuls, der sicherstellt, dass die Zellenradkammer vollständig entleert wird. Durch die hohe Relativgeschwindigkeit des Injektorstrahls findet eine intensive Materialdurchmischung im Ausblasbereich statt. Im RDF immer vorhandene sperrige Partikel und auch Störstoffe werden so in den Materialstrom eingebettet und der Förderleitung zugeführt. All das geschieht innerhalb der IDMS binnen kürzester Zeit, ohne dass dabei das Zellenrad verklemmt oder der Auslauf verstopft. Die Realisierung und konstruktive Ausführung der Injektor-Durchblas-Messer-Schleuse (IDMS) zeigt Bild 15.



**Bild 15: IDMS 120, Verschleißkonzept**

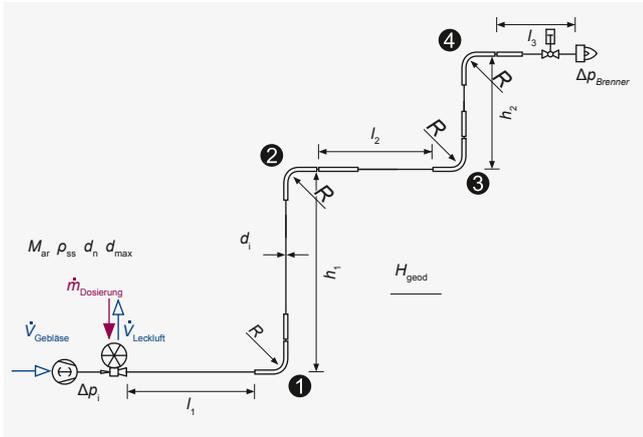


Bild 16: Förderleitung und ihre Einflussfaktoren

## 4 Pneumatische Förderung

### 4.1 Förderleitung – Anforderungen und Einflussfaktoren

Bei der pneumatischen Förderung alternativer Brennstoffe (RDF) muss man neben der Isometrie auch die kritischen Materialeigenschaften im Auge behalten. Die wesentlichen Zusammenhänge zeigt Bild 16.

Die Funktion der Förderleitung hängt von zahlreichen Anforderungen ab. Werden diese nicht beachtet, kommt es in der Förderleitung zu Pulsationen, was bei Brennerbeschickungen zum verbrennungstechnischen Problem werden kann und im schlimmsten Falle zu Verstopfungen in der Förderleitung führt. Nachfolgend seien nur einige der wesentlichen Anforderungen genannt. Diese sind: Beladung, Leerrohr-Geschwindigkeit, Förderleitungsverlauf, Krümmungsradien und Ausführung der Rohrbögen, Art der Förderrohre, Art der Flanschverbindungen, Förderleitungsdurchmesser und Art der Beimischungen. Details hierzu sind in [3] zu finden.

Mit der Kenntnis der Anforderungen lassen sich ausgehend vom Material (RDF) einfache Bedingungen ableiten. Ausgehend von der Materialspezifikation (vgl. Abschnitt 1.2), und unter Zugrundelegung allgemein anerkannter verfahrenstechnischer Auslegungsgrundsätze für pneumatische Förderleitungen [3], lässt sich für die Körnungsdefinition nach [9] und [10] folgende eindimensionale Beschreibung aufstellen:

$$\begin{aligned}
 & d = 0 \dots d_n \text{ mit } x [\%] \text{ max. } d_{\max} \text{ (Körnung, eindimensional)} \\
 & \text{mit} \\
 & d_n \text{ (Nenn-Korngröße, Hauptanteil)} \\
 & d_{\max} \text{ (Überkorn)} \\
 & x \text{ (Prozentanteil Überkorn)}
 \end{aligned} \quad (4)$$

**Je größer das Material, desto mehr Überkorn muss erwartet werden.**

Mit dieser Körnungsdefinition lässt sich für das Auftreten von Verstopfungen im Bereich der pneumatischen Förderleitung von grobstückigen Materialien folgende Bedingung für den Förderleitungsdurchmesser und das Freibleiben der Förderleitung aufstellen:

$$d_i \geq \begin{cases} (3 \dots 4) d_n \text{ für 2D-Material (weich/flockig)} \\ (4 \dots 5) d_n \text{ für 3D-Material (hart, nicht flockig)} \\ d_{\max} \text{ für 2D- und 3D-Material (hart oder flockig)} \end{cases} \quad (5)$$

mit  
 $d_i$  (innerer Durchmesser der Förderleitung)

**Je mehr harte Körnung im Material enthalten, desto dicker die Förderleitung.**

Nachfolgend (Tabelle 1) ein Zahlenbeispiel aus der Praxis, das diesen Zusammenhang verdeutlicht:

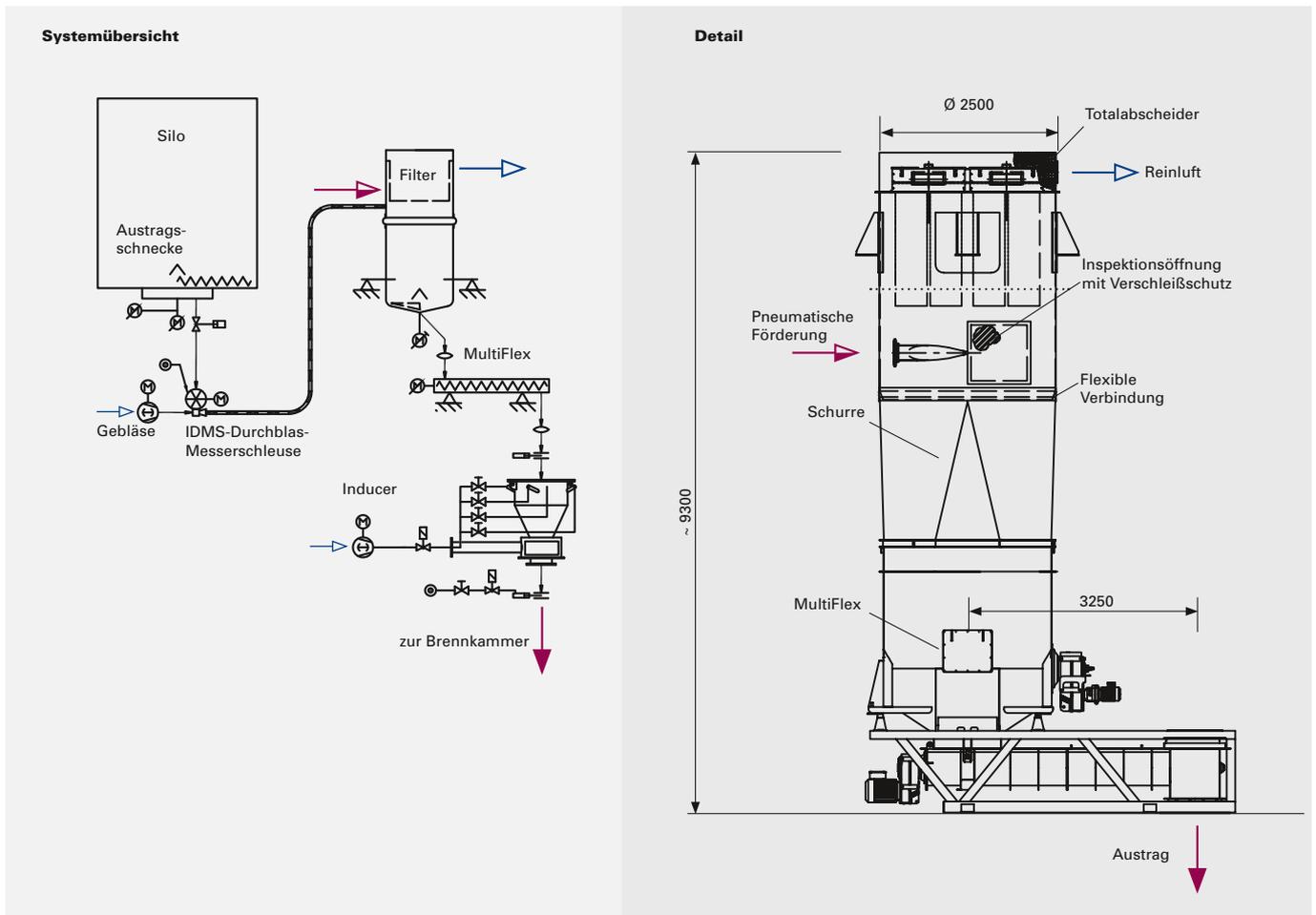
$d_n$ [mm]	$x$ [%]	$d_{\max}$ [mm]	$d_i$	IDMS-Typ
0–30	3	50	DN 125	IDMS 60
0–40	3	80	DN 150	IDMS 80
0–60	3	100	DN 200	IDMS 100
0–80	5	150	DN 250	IDMS 120

Tabelle 1: Zahlenbeispiel mit  $d_i \approx 4d_n$  und  $d_{\max} \approx 2d_n$

Diesen Beziehungen liegen empirisch ermittelte Werte zugrunde. Die dabei gemachten stark vereinfachten Annahmen sind heuristischer Natur und ersetzen nicht die sorgfältige Materialanalyse und deren eingehende Bewertung durch einen Experten.

### 4.2 Pneumatische Beschickung – Flexibilisierung in der Aufstellung

Nachfolgend (Bild 17) soll ein Eindruck über die Möglichkeiten der pneumatischen Förderung von alternativen Brennstoffen vermittelt werden. Die pneumatische Förderung transportiert die alternativen Brennstoffe, etwa von einer Siloaustragung kommend, mittels einer Injektor-Durchblas-Messer-Schleuse (IDMS) über größere Entfernungen und Höhenunterschiede direkt in die MultiFlex-Schneckenwaage. Die Förderluft wird dabei komplett in einem speziellen Totalabscheider oberhalb der MultiFlex abgeschieden und gelangt somit nicht als störende Kaltluft in den Verbrennungsprozess des Kalzinators. Das Material fällt direkt aus dem Totalabscheider in den darunter befindlichen Wägebehälter der MultiFlex, wo es als wägetechnischer Materialpuffer und gleichzeitig als Luftabschluss zum Verbrennungsprozess dient.



**Bild 17: Pneumatische Vorförderung auf MultiFlex-Dosierer**

Die Robustheit der IDMS führt zu einer hohen Verfügbarkeit der pneumatischen Förderung. Störungsanfällige und oftmals komplizierte mechanische Vorförderer können entfallen. Je nach Materialanforderung können Sternsiebe und Magnetabscheider integriert werden, was die Verfügbarkeit der Gesamtanlage nochmals verbessert. Anpassungen des Aufstellungsortes – bedingt durch rasch neu gewonnene Betriebserfahrungen – sind mit dieser Anordnung leicht möglich. Schnelle Nachrüstungen in vorhandener Anlagen werden wesentlich erleichtert.

### 5 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Beitrag hat versucht, das grundlegende Verständnis für den fördertechnischen Umgang mit alternativen Brennstoffen darzustellen. Ausgehend von praktischen Beobachtungen lassen sich erste heuristische Muster und Lösungsansätze erkennen, mit deren Hilfe die Sicherheit im Umgang mit den alternativen Brennstoffen wächst. Es ist nun Aufgabe der Wissenschaft diesem Schüttgut mehr Forschungsarbeit zu widmen.

Für die pneumatische Förderung von alternativen Brennstoffen über größere Distanzen ist der praktische Beweis der Durchführbarkeit erbracht. Die Theorie zum Ausbau der Berechnungsgrundlagen wird folgen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die erfolgreiche Umsetzung der pneumatischen Fördertechnik weiter zunehmen wird. Gerade dort im Anlagennahbereich, wo beschränkte Platzverhältnisse und Anlagenflexibilität gefragt sind, wird die pneumatische Förderung eine Lücke schließen. Neue pneumatische Förderverfahren sind schon heute denkbar und warten auf ihre Umsetzung.

Der Umgang mit alternativen Brennstoffen ist komplex. Viele Auslegungsparameter tragen naturbedingt ein hohes Maß an Unsicherheit in sich und können sich im laufenden Betrieb der Anlage plötzlich und unerwartet ändern, was in Extremfällen den Totalausfall anlagenkritischer Komponenten zu Folge haben kann. Um den Folgen dieser unvermeidbaren Unsicherheiten Rechnung zu tragen, kommt der intelligenten Anlagenkomponente eine besondere Bedeutung zu. Dem Ausfall anlagenkritischer Komponenten wird zukünftig mehr und mehr dadurch begegnet, dass man

deren Schutz durch die Schaffung lokaler Intelligenz [5] verbessert und damit die Anlagenverfügbarkeit nochmals wesentlich erhöht.

#### Quellenverzeichnis:

- [1] SCHULZE, Dietmar: Fließeigenschaften von Schüttgütern mit faser- und plättchenförmigen Partikeln – Schüttgut 8 (2002) 6, S. 538–546
- [2] SIEGEL, Wolfgang: Pneumatische Förderung: Grundlagen, Auslegung, Anlagenbau, Betrieb. 1. Aufl. – Würzburg : Vogel Buchverlag – 1991
- [3] Schenck Process BVR2272: Allgemeine verfahrenstechnische Auslegungsgrundsätze für pneumatische Förderanlagen für alternative Brennstoffe – 2012
- [4] Schenck Process BV-D2243: Datenblatt – Durchblasmesserschleuse IDMS 60/80/100/120 – 2014
- [5] Schenck Process BV-D2434: Datenblatt – Steuerungs- und Überwachungseinheit für Zellenradschleuse IDMS – 2014
- [6] Harald Faber, Klaus Rupp: Schenck Process BV-S2028: Sonderdruck – Bevorratung, Dosierung und Förderung von festen Sekundärbrennstoffen – Konzepte und Equipment: Cement International – 12/2007, Vol. 06, 16 S.
- [7] Klaus Rupp, Harald Faber: Schenck Process BV-A1039: At a glance – feeding alternative fuels – 2010
- [8] Frank Thomasberger, Harald Faber: The Practicalities of Handling Alternative Fuels: WordCement – Reprint from World Cement – 03/2012, 5 S.
- [9] Harald Faber: Pneumatische Förderung von alternativen Brennstoffen, Ein Erfahrungsbericht – aus der Praxis für die Praxis: 20. Fachtagung Schüttgutfördertechnik – 2015 Magdeburg, S. 257–275
- [10] Harald Faber: Handling alternative Fuels – a progress report: Cement International – 1/2016, Vol. 14, S. 68–79
- [11] EN 15357: Solid recovered fuels – Terminology, definitions a. descriptions – 2011
- [12] CEN-TS 15401: Solid recovered fuels – Determination of bulk density – 2010
- [13] EN 15415-1 Solid recovered fuels – Determination of particle size distribution – Part 1: Screen method for small dimension particles – 2011
- [14] CEN/TS 15414 Solid recovered fuels – Determination of moisture content using the oven dry method – Part 2: Determination of total moisture by a simplified method – 2010

**Dipl.-Ing. TU Harald Faber**  
Schenck Process Europe GmbH



Schenck Process Europe GmbH  
Pallaswiesenstr. 100  
64293 Darmstadt, Germany  
T +49 61 51-15 31 0  
sales@schenckprocess.com  
www.schenckprocess.com