

SCHÜTTGUT

Grundlagen und Möglichkeiten der Schüttguttechnik

Teil 1:

Vorgänge beim Lagern von Schüttgütern in Silos

1.1. Das Verhalten von Schüttgütern bei der Lagerung

Schüttgüter verhalten sich bei der Lagerung grundsätzlich anders als Flüssigkeiten. Dementsprechend sind Silos nach anderen Grundsätzen auszulegen als Flüssigkeitsbehälter. Ein wesentlicher Unterschied ist die Fähigkeit der Schüttgüter, in Ruhe Reibung (Schubspannungen) übertragen zu können. Diese Schubspannungen hindern z.B. das auf der Oberfläche eines Schüttkegels liegende Schüttgut am Abrutschen.

Im Bild 1 sind Silos zusammen mit den dazugehörigen Druck- bzw. Spannungsverläufen - der „Schüttgutdruck“ wird im folgenden als „Spannung“ bezeichnet - dargestellt. Würde man einen Silo mit einer Flüssigkeit füllen, so würde der Druck linear nach unten hin zunehmen, und zwar unabhängig vom Siloquerschnitt und der Neigung der Wände. In einem mit Schüttgut gefüllten Silo ergibt sich ein ganz anderer Verlauf: Im Siloschaft steigt die Vertikalspannung nach unten

hin zunächst stark, dann immer weniger an. Bei einem hinreichend großen Höhe/Durchmesser-Verhältnis wird schließlich eine konstante Vertikalspannung erreicht. Ursache für diesen Spannungsverlauf ist, daß sich das Schüttgut auch im Ruhezustand über Schubspannungen (Reibung) an der Silowand abstützt, so daß ein Teil des Schüttgutgewichts von der Silowand aufgenommen wird.

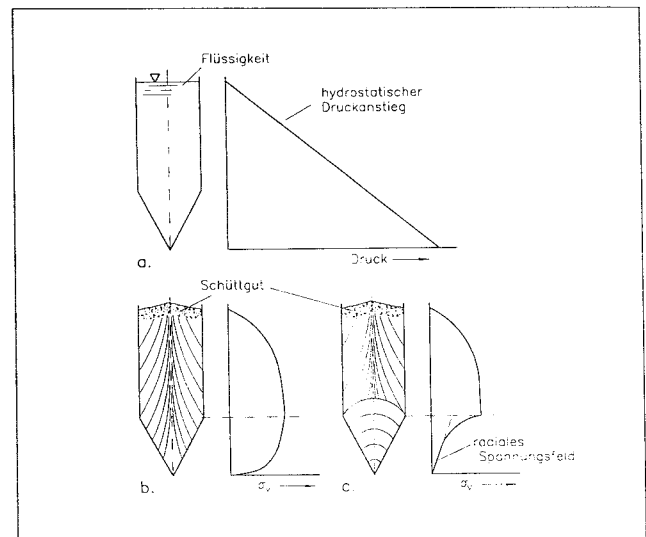


Bild 1: Druck- bzw Spannungsverläufe in Behältern

INHALT:

- Grundlagen und Möglichkeiten der Schüttguttechnik
- Infotagung Schüttguttechnik: Erfahrungsaustausch unter Praktikern
- 100.000 t Rohsteinmehl-Verladung ohne Verschleiß
- Tatort Zementwerk

Die maximale Vertikalspannung, die in einem Siloschaft bei hinreichender Füllhöhe erreicht werden kann, ist proportional zum Durchmesser des Schaftes. Dieses ist der Grund, warum Silos häufig schlank und hoch gebaut werden. Flüssigkeitsbehälter (Tanks) werden dagegen in der Regel mit kleinem Höhe/Durchmesser-Verhältnis gebaut, da hier der maximale Druck proportional zur Füllhöhe ist. Eine Methode zum Berechnen des Druckverlaufs im Siloschaft wurde schon 1895 von Janssen hergeleitet (1). Dieselbe Methode liegt der heute gültigen Norm DIN 1055 Teil 6 (2-4) zur Berechnung der Wandbelastung für die festigkeitsmäßige Siloauslegung zugrunde.

Unmittelbar nach dem Füllen eines leeren Silos fällt die Vertikalspannung im Trichter zunächst wenig und in der Nähe zur (gedachten) Trichterspitze stärker ab (Bild 1.b.). Man bezeichnet diesen Zustand als „Füllzustand“. Sobald das erste Mal Schüttgut aus dem Silo abgezogen wird, ändern sich die Spannungen im Trichter und der sogenannte „Entleerungszustand“ stellt sich ein (Bild 1.c.; im Vertikalteil bleibt der oben erläuterte Spannungsverlauf im Prinzip auch beim Entleeren erhalten). Das im Trichter nach unten fließende Schüttgut wird in horizontaler Richtung zusammengedrückt, so daß die Trichterwand

einen größeren Teil der Schüttgutlast aufnimmt. Die Vertikalspannung im Trichter nimmt daher nach unten hin deutlich stärker ab als im Füllzustand. Im unteren Bereich des Trichters sind die Spannungen näherungsweise proportional zum örtlichen Trichterdurchmesser bzw. zum Abstand von der (gedachten) Trichterspitze. Die Größe der Spannungen im unteren Trichterbereich ist im Entleerungszustand unabhängig von den Spannungen im Vertikalteil des Silos und damit auch von der Füllhöhe.

Wie man aus Bild 1 erkennt, sind Spannungen vor allem im unteren Trichterbereich, wo sich gewöhnlich die Auslauföffnung befindet, im Füllzustand deutlich größer als im Entleerungszustand (nach Messungen bis zu zehnmal größer). Dieses führt zu folgenden praktischen Auswirkungen:

Füllt man ein Silo, ohne Schüttgut abziehen, und lagert das Schüttgut längere Zeit in Ruhe, so kann es sich aufgrund der großen Spannungen (Füllzustand) so stark verfestigen, daß es zu Fließproblemen kommt. Zieht man dagegen schon während des Füllens oder unmittelbar danach etwas Schüttgut ab, so reduzieren sich die Spannungen im Trichter (Entleerungszustand) und die Gefahr der Verfestigung des Schüttguts wird geringer.

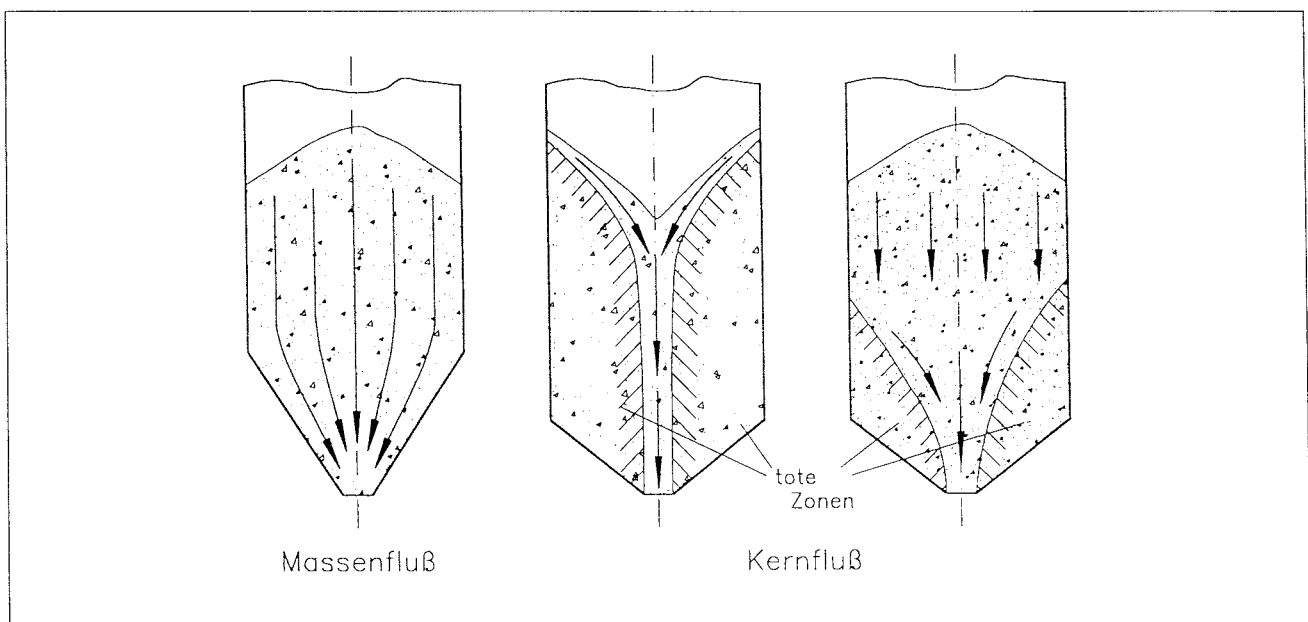


Bild 2: Fließprofile

Ein unter der Auslauföffnung angebrachtes Aus-
tragorgan (z.B. Gurtförderer, Kettenförderer) be-
nötigt im Füllzustand wegen der großen Vertikal-
spannungen eine große Antriebskraft, um das
Schüttgut in Bewegung zu bringen. Treten beim
ersten Schüttgutabzug aus einem gerade gefüll-
ten Silo Anfahrprobleme auf, so sollte schon
während des Füllens bei kleinen Füllhöhen etwas
Schüttgut abgezogen werden. Dadurch stellt sich
bereits während des Füllens im Trichter der Ent-
leerungszustand ein, der auch beim weiteren Fül-
len des Silos weitgehend erhalten bleibt.

1.2 Massenfluß und Kernfluß

Das meistens entscheidende Kriterium für ein
befriedigendes oder unbefriedigendes Verhalten
eines Silos ist die Frage, ob beim Ausfließen des
Schüttgutes Massenfluß oder Kernfluß vorliegt
(Bild 2). Bei Massenfluß ist der ganze Siloinhalt
in Bewegung, wenn Schüttgut abgezogen wird.
Massenfluß ist nur möglich, wenn die Trichter-
wände ausreichend steil und/oder glatt sind. Ist
die Trichterwand dagegen zu flach oder zu rau,
stellt sich Kernfluß ein. Dabei ist zunächst nur
das Schüttgut im Bereich oberhalb der Aus-
lauföffnung in Bewegung. Das Schüttgut in den
sogenannten „toten Zonen“ im Randbereich wird
erst bei der völligen Entleerung des Silos ausge-
tragen. Die toten Zonen können bis zur Schütt-

gutoberfläche reichen, so daß sich dort ein
Fließtrichter ausbildet und der Kernfluß deutlich
als solcher zu erkennen ist (Bild 2, Mitte). Es
besteht aber auch die Möglichkeit, daß die toten
Zonen nur im unteren Bereich des Silos sind, so
daß sich durch die Betrachtung der Schüttgut-
oberfläche nicht eindeutig auf das Fließprofil
schließen läßt (Bild 2, rechts).

1.3 Probleme beim Lagern von Schüttgütern in Silos

Beim Lagern von Schüttgütern in Silos kann eine
Reihe von Problemen auftreten (2, 5, 6), die
nachfolgend beschrieben werden:

Bei der **Brückenbildung** bildet sich über der Aus-
lauföffnung ein stabiles Gewölbe aus, wodurch
der Schüttgutfluß zum Erliegen kommt (Bild 3.a.).
Bei feinkörnigem, kohäsivem Schüttgut ist die
Ursache der Brückenbildung die auf den Haftkräf-
ten zwischen einzelnen Partikeln beruhende
Schüttgutfestigkeit, während es bei grobkörnigen
Schüttgütern zur Brückenbildung aufgrund der
Verkeilung von Einzelpartikeln kommen kann. Die
Brückenbildung läßt sich durch die Wahl einer
hinreichend großen Auslauföffnung vermeiden.

Bei der **Schachtbildung** (Bild 3. b) fließt nur das
Schüttgut aus, das sich senkrecht über der Aus-
lauföffnung befindet. Das restliche Schüttgut ist
so stark verfestigt, daß es einen stabilen verti-

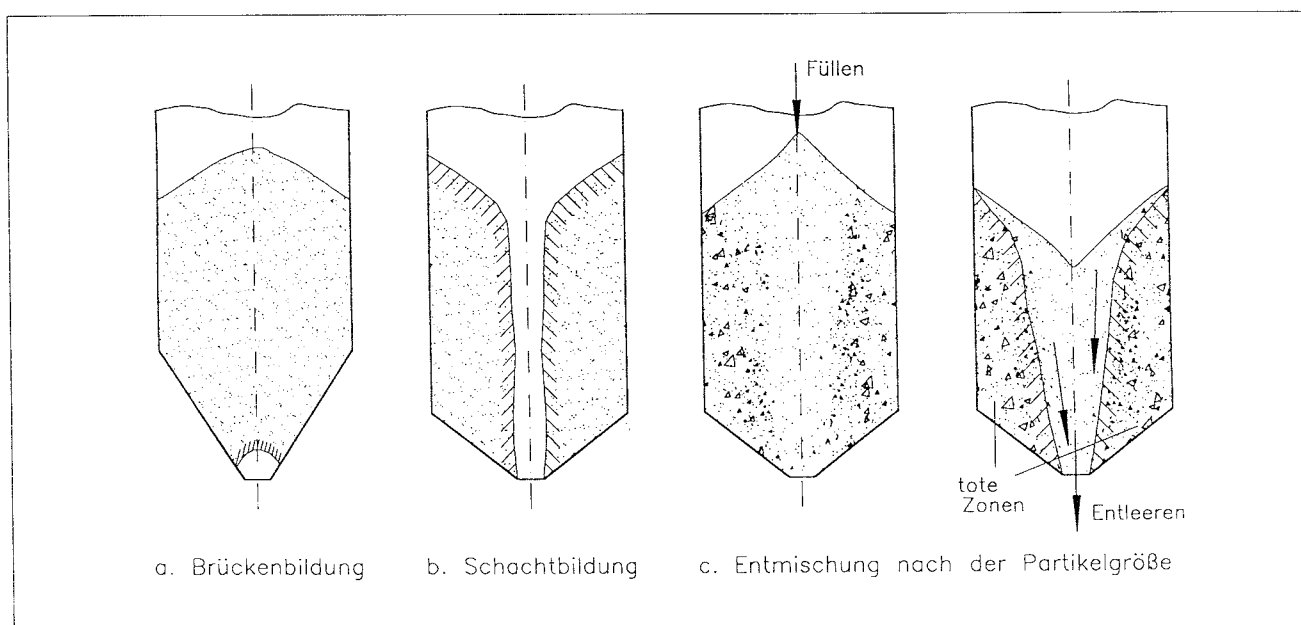


Bild 3: Siloprobleme

kalen Schacht bildet. Wenn sich während des Ausfließens von Schüttgut aus einem Silo kurzzeitig Brücken oder Schächte bilden und wieder einstürzen, wobei das Schüttgut in die vorhandenen Hohlräume fällt, entsteht ein unregelmäßiger Schüttgutfluß. Dabei können feinkörnige, leicht fluidisierbare Schüttgüter beim Einstürzen der Brücken und Schächte soviel Luft mitreißen, daß sie wie eine Flüssigkeit aus dem Silo fließen. Diesen Vorgang bezeichnet man als „**Schießen**“. Das Schießen kann zu starker Staubentwicklung und zum Überfluten der Austragorgane führen und eine kontinuierliche Dosierung unmöglich machen.

Wenn sich im Silo „tote Zonen“ ausbilden (Kernfluß), wird das Schüttgut, das beim Füllen in diese Zonen gelangt, erst beim völligen Entleeren abgezogen, wogegen später eingefülltes Schüttgut sofort wieder ausgetragen wird (first in - last out). Damit ergibt sich eine **breite Verweilzeitverteilung**, die manchmal (z.B. bei der Lagerung verderblicher Schüttgüter) unerwünscht ist. Neigt das Schüttgut zur Zeitverfestigung, kann es sich in den toten Zonen, wo über lange Zeiten keine Schüttgutbewegung vorliegt, so stark verfestigen, daß es nur unter größtem Aufwand („bergmännisch“) wieder in Bewegung zu bringen ist. Abhilfe kann hier nur das regelmäßige, vollständige Entleeren des Silos bringen, was aber häufig nicht realisierbar ist (z.B. bei Pufferbetrieb).

Bildet sich beim Füllen des Silos ein Schüttkegel, ist eine Entmischung nach der Partikelgröße oder der Partikeldichte möglich (Bild 3.c). Die größeren Partikel gelangen nach dem Herabfallen in die Randzonen des Silos, während sich das Feingut im Zentrum ansammelt. Handelt es sich bei dem betreffenden Silo um ein Kernflußsilo, wird beim Entleeren zunächst das Schüttgut im Zentrum des Silos - also das Feingut - abgezogen, während gegen Ende der Entleerung vorwiegend Grobgut ausgetragen wird. Dieses würde z.B. bei einer dem Silo nachgeschalteten Sackbefüllung zu unterschiedlichen Qualitäten in den einzelnen Säcken führen. In einem Massenflußsilo fließt dagegen das beim Füllen entmisch-

te Schüttgut im Trichter wieder zusammen, so daß an der Auslauföffnung die Entmischung nicht zu spüren ist.

In einem Kernflußsilo können grundsätzlich alle genannten Probleme auftreten, während bei einem Massenflußsilo nur das Problem der Brückenbildung berücksichtigt werden muß: Entmischung, Schachtbildung, unregelmäßiger Fluß und Schießen des Schüttgutes treten in einem sorgfältig ausgelegten Massenflußsilo nicht auf. Die Auslegung eines Silos für Massenfluß und zur Vermeidung von Brückenbildung wird in einem folgenden Beitrag erläutert.

Autor: Dr.-Ing. Dietmar Schulze, Schwedes und Schulze Schüttguttechnik, Braunschweig

- (1) Janssen, H.A.: Ztg.Ver. dt. Ing.39(1895), S.1045-1049
- (2) Martens, P. (Hrsg.): Silohandbuch, Verlag Ernst & Sohn, Berlin (1988)
- (3) DIN 1055 T.6: Lasten in Silozellen, Mai 1987
- (4) Schwedes, J.: Chem.-Ing.-Tech. 56 (1984) 4, S. 291-298
- (5) Schwedes, J.: Fließverhalten von Schüttgütern in Bunkern, Verlag Chemie, Weinheim (1968)
- (6) Jenike, A.W.: Storage and Flow of Solids, Bull. No.123, Engng. Exp. Station, Univ. Utah, Salt Lake City (1970)

Infotagung Schüttguttechnik

Erfahrungsaustausch unter Praktikern

Bald ist es wieder soweit. Am 18. Oktober 1993 treffen sich in Mainz Praktiker aus allen Bereichen der Schüttgutindustrie zu einem regen Erfahrungsaustausch.

Vorträge vermitteln die neuesten Erkenntnisse aus Forschung, Lehre und Praxis. Arbeitskreise fördern den intensiven Austausch unter den Teilnehmern und bieten viele Lösungsansätze für die täglichen Aufgabenstellungen.

Die Teilnahme an der Tagung "Schüttguttechnik" ist kostenfrei. Wegen der großen Nachfrage empfiehlt sich eine baldige Anmeldung. Auskünfte zur Veranstaltung erteilt Ihnen gerne die Marketingabteilung der Firma AGRICHEMA,

Telefon: 0 61 39 / 89 - 512,

Fax: 0 61 39 / 89 - 505.

100.000 t Rohsteinmehl-Verladung ohne Verschleiß

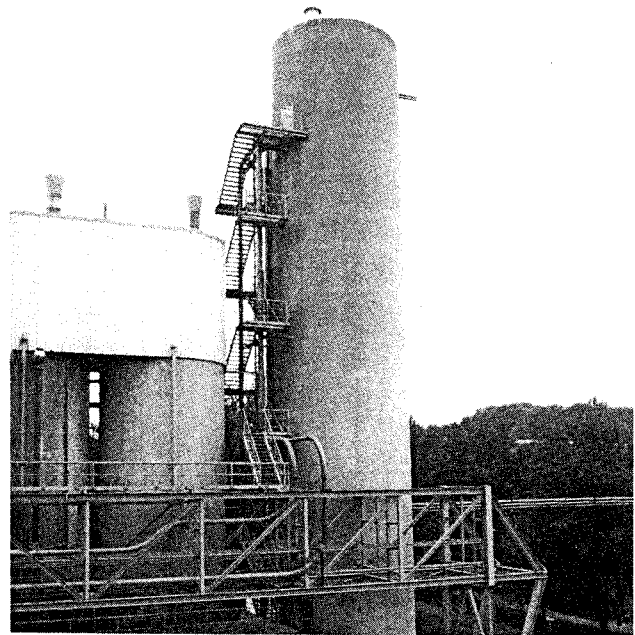
Die Wülfrather Gruppe mit Hauptsitz in Wülfrath, 30 km östlich von Düsseldorf, ist aufgeteilt in die Geschäftsbereiche Rheinische Kalksteinwerke, Wülfrather Zement und Dolomitwerke und gilt als Spezialist für Kalk, Zement sowie für Feuerfest- und Keramikerzeugnisse.

Die Gruppe, 75,1 Prozent gehören der Thyssen AG und 24,9 Prozent der Gebr. Knauf Verwaltungsgesellschaft, beschäftigt über 3000 Mitarbeiter und fördert jährlich in 13 Steinbrüchen gut 15 Mio. t Rohstein. Aus diesem Rohstoff entstehen Zuschlagstoffe für die Eisen- und Stahlindustrie, hochwertige Baustoffe, Steinmehle, Putze, Feuerfeststeine und vieles andere mehr. Die Produkte werden im Werk Flandersbach zentral in Silozüge und Bahnwaggons verladen. Der 1988 gebaute Silo 17, ein Betonsilo mit 1000 t Kapazität wurde 1991 auf einen AGRICHEMA-TELESCOPER zur automatischen (mannlosen) und vor allen Dingen staubfreien Verladung umgerüstet. Insgesamt werden in Flandersbach 22 Silos mit einer Gesamtkapazität von rund 22.000 t vorgehalten. In Silo 17 wurden bisher Kalksteinmehl und seit Juli 1993 auch Weißkalkhydrat, zwei Schüttgüter, wie sie unterschiedlicher nicht sein könnten, gebunkert und verladen. Kalksteinmehl, das unter anderem für die Rauchgasentschwefelung verwendet wird, ist sehr abrasiv, hat eine Korngröße von 0 bis 1 mm und ein Schüttgutgewicht von $1,3 \text{ t/m}^3$. Das beispielsweise für die Wasseraufbereitung eingesetzte Weißkalkhydrat wiegt nur $0,4 \text{ t/m}^3$ und beansprucht die Siloaustragorgane kaum. Die Verladung läuft am Silo 17 dreischichtig – pro Schicht werden rund 25 Silozüge á 25 t Nutzlast abgefertigt. Der TELESCOPER erbringt je nach Schüttgut Verladeleistungen von 240 bis 270 t/h.

RKW: In zwei Jahren sehr gute Erfahrungen.

Derzeit sind bei den Rheinischen Kalksteinwerken drei AGRICHEMA-TELESCOPER im Einsatz - zwei in Flandersbach und ein weiterer bei der Tochtergesellschaft Narjes und Bender. Die Rheinischen Kalksteinwerke haben seit Anfang der

achtziger Jahre die mannlose Schüttgutverladung in Flandersbach vorangetrieben und man lobt die Budenheimer Produkte: „Wir haben den ersten TELESCOPER nach einem Jahr Betriebszeit – dann hatte er rund 100.000 t Kalksteinmehl verladen – demontiert und konnten keinen nennenswerten Verschleiß feststellen. Bedienung und Wartungsfreundlichkeit entsprechen den Erwartungen. Bei neuen Produkten pflegen wir zudem einen intensiven Dialog mit den Herstellern. Hier hat sich AGRICHEMA als kompetenter Partner erwiesen, der immer ein offenes Ohr für unsere Wünsche hat.“



Der 1000 t fassende Silo 17 bei den Rheinischen Kalksteinwerken wurde im April 1991 auf einen AGRICHEMA-TELESCOPER für mannlose Verarbeitung umgerüstet.

Der an Silo 17 eingesetzte TELESCOPER hat 1.580 mm Hub und dient ausschließlich der Beladung von Silofahrzeugen. An der Ladestelle 50 wird gebrochener Düngekalk auch lose in Pritschenfahrzeuge verladen, hier sind Staubschürze und (für die Silobeladung) ein Aufsatzkonus vorgesehen. Zur Vermeidung starken Staubanfalles bei der Beladung von Pritschenwagen, wurde der an Ladestelle 50 eingesetzte TELESCOPER mit 3.315 mm Gesamthub (13 Module) ausgeführt – so kann die Differenz zwischen niedrigen

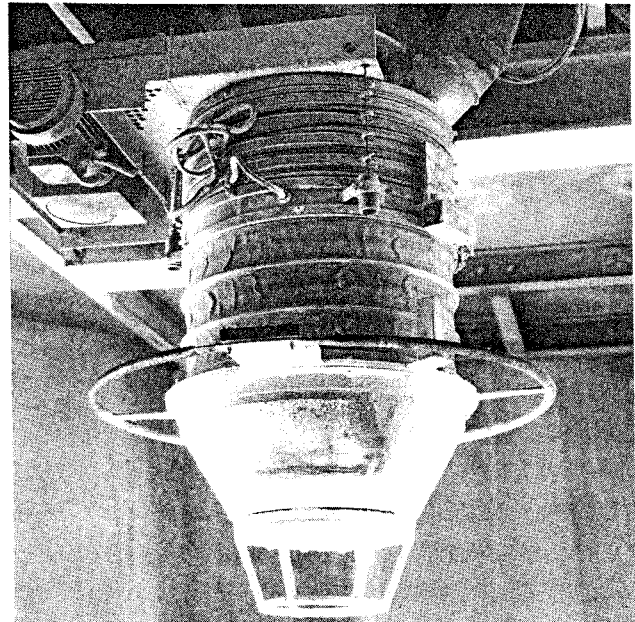
Pritschenwagen und hohen Silofahrzeugen bequem überbrückt werden. Ein Näherungsschalter stellt sicher, daß der TELESCOPER auch dann einwandfrei arbeitet, wenn das Silofahrzeug während der Beladung langsam „in die Knie“ geht. Immerhin sinken blattgefederte Siloaufleger bis zu 12 cm ab.

Hier ist die feinfühlige und verzögerungsfrei arbeitende Steuerung des TELESCOPERS gefragt.

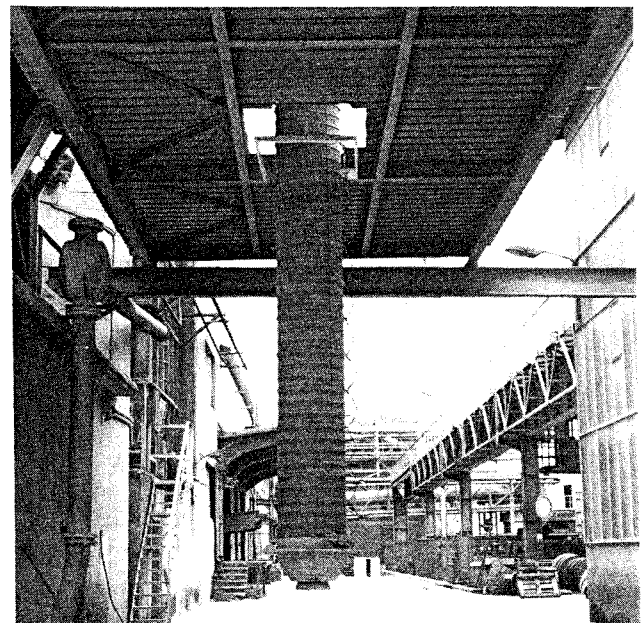
Der TELESCOPER im Detail

Der AGRICHEMA-TELESCOPER ist eine Kompaktkonstruktion bestehend aus Einlaufkopf mit Antriebstation, teleskopierbaren Modulektionen und Auslaufkopf. Die 300 mm langen Module können zu beliebigen Längen kombiniert werden. Sie bestehen aus einem Innenkonus, der je nach Schüttgut aus Kunststoff oder Stahl besteht und aus einem die Innenkonen in fest definiertem Abstand umgebenden Außenschlauch. Während das Schüttgut durch die Konen in Silo-Fahrzeuge, Waggons oder Container verladen wird, strömt die aus dem Füllbehälter entweichende Luft durch den fest definierten Abstand zwischen Konen und Außenschlauch in die Entstaubungsanlage. Da sich der durch Stahleinlagen radial verstärkte Schlauch auch bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten nicht zusammenzieht, sind eine reibungslose Entstaubung und Verladung sichergestellt. Der TELESCOPER wird von drei Stahlseilen ein- und ausgefahren - sie werden in der Antriebsstation elektromotorisch auf- und abgetrommelt. Wie allgemein bekannt, unterliegen Verladerrüssel einem starken Verschleiß. Aufgrund der Bauweise des TELESCOPERS von AGRICHEMA können die Module schnell und ohne Spezialwerkzeug gewechselt werden. Je nach Art der zu beladenden Behälter kann der TELESCOPER mit einem Aufsatzkonus (Silofahrzeuge), mit einer Staubschürze (offene Verladung) und mit einer Kombination aus beidem ausgerüstet werden. Ein induktiver Näherungsschalter gibt beim Aufsetzen auf das Silofahrzeug die Beladung frei. Auf Wunsch können die AGRICHEMA-TELESCOPER auch mit einem integrierten Entstaubungsfilter ausgerüstet werden.

Generell eignen sich TELESCOPER für alle staubförmigen Güter wie zum Beispiel Düngemittel, Zement, Chemikalien, Klinker, Kohle und Futtermittel.



Bei Nichtgebrauch wird der TELESCOPER zusammengezogen und hängt unter den Silosaustragsorganen.



Der an der Verladestelle 50 montierte TELESCOPER hat 3.315 mm Hub und kann sich sowohl auf Silofahrzeuge als auch auf Pritschenwagen absenken.

Tatort Zementwerk

Eine heiße Sache...

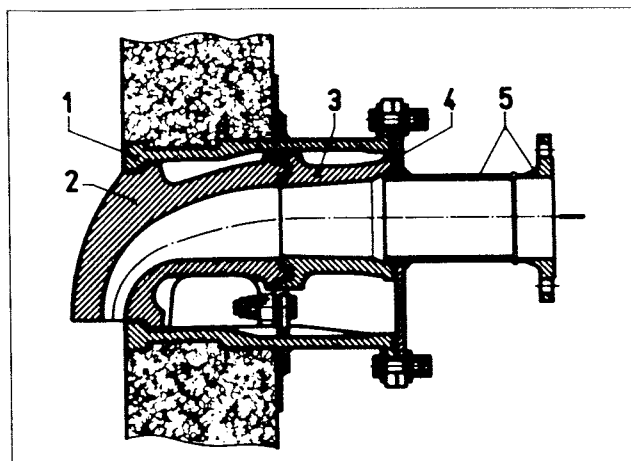
Die Zementproduktion ist mit großem Energieaufwand verbunden. Materialanbackungen in den Gassteigeschächten und Zyklonen beeinflussen die Wirtschaftlichkeit in hohem Maße. Für die vollautomatische Abreinigung der Anbackungen werden SHOCK-BLOWER-Luftstoßgeräte von AGRICHEMA seit Jahren mit Erfolg eingesetzt. Da sie an prozeßwichtigen Stellen montiert werden, arbeiten sie besonders effektiv. Die Luftstoßgeräte entladen komprimierte Luft durch sogenannte „Heißbranddüsen“ gezielt in den Wärmetauscher gegen die Anbackungen, genauer gesagt, sie trennen die Anbackungen von der Ausmauerung. Heißbranddüsen arbeiten unter sehr schweren Bedingungen. Die Umgebungstemperatur beträgt meist 1100-1200°C und mehr. Alkalihalogenide und andere aggressive chemische Substanzen greifen das Düsenmaterial an. In den Heißbranddüsen bilden sich betriebsbedingt staubförmige Ablagerungen, die in Verbindung mit dem starken Luftstoß zu einem Verschleiß der Heißbranddüsen führen. Bisher mußten verschlissene Heißbranddüsen mit verhältnismäßig hohem Kosten- und Montageaufwand ausgetauscht werden. Gerüste waren zu errichten, Mauerwerk war aufzustemmen, und die Düse mußte unter Zuhilfenahme eines Schweißbrenners ausgebaut werden. Anschließend mußte die neue Düse wieder mit Feuerfestmaterial umhüllt und das Gerüst abgebaut werden. Zur Erzielung langer Standzeiten sind dicke Wandstärken erforderlich, was sich auf Stückgewicht und auf Investitions- und Wechselkosten auswirkt.

...die Lösung liegt im Kasten

Die AGRICHEMA-Spezialisten haben seit Anfang der 80er Jahre umfassende Erfahrungen mit Heißbranddüsen gesammelt und diese durch den ständigen Dialog mit den Zementwerken intensiviert. Dabei wurde Mitte der 80er Jahre die Forderung nach einer besonders einfach und schnell auswechselbaren Heißbranddüse erkannt.

AGRICHEMA begann mit der Entwicklung und Umsetzung in die Praxis. 1991 wurde ein europaweites Patent für die AGRICHEMA-Heißbranddüse im Wechselkasten erteilt. Dieses neuartige Heißbranddüsen-System besteht aus einer soliden kastenartigen Konstruktion, die im feuerfesten Mauerwerk eingebettet wird.

In den Wechselkasten (1) wird von außen das Düsenmundstück (2) eingesetzt und ist als Verschleißteil leicht auswechselbar. Ein wiederverwendbares Zwischenstück (3) ist mit der außen aufgeschraubten Frontplatte (4) verbunden. Das eingeschweißte Rohr mit Flansch (5) dient zur Aufnahme des SHOCK-BLOWER-Luftstoßgerätes.



Diese neuartige Konstruktion bietet entscheidende Vorteile:

- preiswertes Düsenmundstück
- einfache und schnelle Montage von außen
- Hohlraum im Wechselkasten erlaubt die Temperaturmessung am Düsenmund und kann mit Luft zum Kühlen der Düse beaufschlagt werden
- lange Lebensdauer

Beweismittel: Betriebserfahrungen

Ende 1991 wurden erstmals sechs Heißbranddüsen im Wechselkasten in einem Wärmetauscher des Zementwerkes LEUBE bei Salzburg montiert. Die Erfahrungen sind dort unter extremen Bedingungen bis heute sehr gut. Auch in anderen Zementwerken hat sich das neue Heißbranddüsen-System sehr gut bewährt und die Erfahrungen bestätigen die Richtigkeit und Konsequenz der neuen Entwicklung.