

Verschleißarmer pneumatischer Transport von Abfallsanden und ähnlichen Stoffen

Sonderdruck aus GIESSEREI
Heft 7/1989

Giesserei-Verlag GmbH
40016 Düsseldorf

KLEIN Anlagenbau AG

Konrad-Adenauer-Straße 200
D-57572 Niederfischbach

Telefon 02734 / 501-301
Fax 02734 / 501-327



Verschleißarmer pneumatischer Transport von Abfallsanden und ähnlichen Stoffen

In Gießereien fallen besonders in Strahlhäusern Sande mit wechselnder Kornzusammensetzung und schwankendem Schüttgewicht an. Zum Transport dieser Abfallsande vom Strahlhaus zum Schuttsandsilo wird oft die pneumatische Förderung eingesetzt. In vielen Fällen tritt dabei jedoch im Gegensatz zum pneumatischen Transport von aufbereiteten Quarzsanden erheblicher Verschleiß an den Förderleitungen auf. Auch starke Erschütterungen der Förderleitungen, durch die sich manchmal deren Stützen im Mauerwerk lösen, werden beobachtet. Im folgenden Bericht werden die Ursachen erläutert und wird ein pneumatisches Förderverfahren vorgestellt, das den pneumatischen Transport dieser Stoffe so problemfrei ermöglicht wie den von aufbereiteten Quarzsanden.

Pneumatischer Transport üblicher in Gießereien verwendeter Quarzsande

Übliche in Gießereien eingesetzte Quarzsande lassen sich als Neusand sowie als regenerierter Altsand (Regenerat) heute fast problemlos und mit geringem Verschleiß an den Förderleitungen pneumatisch transportieren. Als Fördergeräte werden taktweise arbeitende Gefäßförderer verwendet. Die Sande werden in Form einer Pfpfenförderung transportiert, bei der sich einzelne Sandpfropfen mit dazwischenliegenden Luftpolstern durch die Förderleitung bewegen. Die bei richtig dimensionierten und eingestellten Förderanlagen auftretenden Fördergeschwindigkeiten sind so gering, daß die Förderleitungen aus normalwandigen Stahlrohren nach DIN 2448 hergestellt werden können. Bei langen Förderstrecken und hohen Förderleistungen werden manchmal auch gegen Abrieb verstärkte Ausführungen verwendet.

Erfahrungen mit dem Transport von Abfallsanden

Anders sind die Erfahrungen beim pneumatischen Transport der z. B. in Strahlhäusern anfallenden Abfallsande: Bei vielen Anlagen tritt ein wesentlich größerer Verschleiß als bei Anlagen für aufbereitete Sande auf, der durch die dann notwendigen Reparaturarbeiten zu Betriebsunterbrechungen führt. Andere Anlagen neigen zu sporadischem Verstopfen, oder die Förderleitungen lösen sich mit ihren Halterungen durch starke Vibrationen bzw. Erschütterungen aus dem Mauerwerk.

Die Ursache hierfür liegt vor allem im Kornaufbau der Sande. Dieser wird durch Siebanalysen wiedergegeben. Bild 1 zeigt die Unterschiede zwischen einem aufbereiteten Sand F 32 und einem Abfallsand aus einem Strahlhaus. Beim Sand F 32 sind praktisch keine Staubanteile unter 0,063 mm vorhanden, bei diesem Abfallsand jedoch etwa 10%. Auch die feineren Sandfraktionen sind deutlich stärker vertreten.

Grobanteile über 1 mm hat der Sand F 32 nicht. In diesem Abfallsand sind aber einige Prozent „Knöllchen“ bis etwa 5 mm vorhanden. Auch die Schüttdichten sind unterschiedlich: Diese liegt für den Sand F 32 bei 1,5 kg/dm³, für diesen Abfallsand bei 2,3 kg/dm³.

Der Abfallsand setzt sich aus folgenden Bestandteilen zusammen:

- Überkorn,
- normale Sandfraktionen,
- Quarzstaub,
- einzelne Strahlkörner,

Ing. (grad.) Bernd Federhen ist Abteilungsleiter Entwicklung/Versuch im Bereich „Pneumatische Förderanlagen und Gießereiausrüstung“ der Alb. KLEIN GmbH & Co. KG, Niederfischbach.

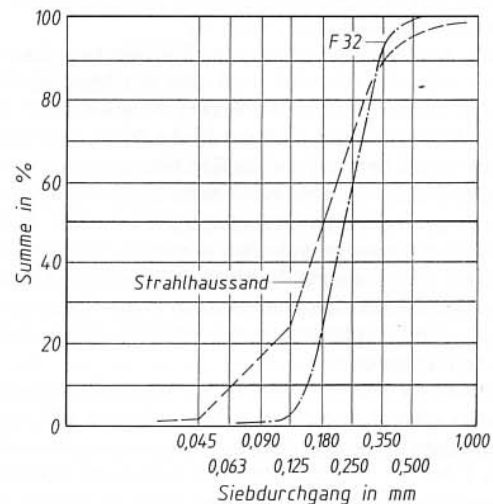


Bild 1. Vergleich der Siebanalysen von Quarzsand F 32 und einem Strahlhaussand

- Zunderplättchen und
- Zunderstaub.
- Bei manchen Strahlsanden auch noch Bentonit.

Bei der Aufbereitung der verschiedenen Quarzsande zu Neusand und auch bei der Regenerierung der benutzten Sande zu wiedereinsatzbarem Sand wird sorgfältig darauf geachtet, daß das Kornspektrum dieser Sande nur in ganz geringem Maße schwankt. Zum Transport liegt in diesen Fällen immer ein gleichartiges Produkt vor, so daß eine pneumatische Förderanlage, einmal richtig eingestellt, immer unter gleichen Verhältnissen arbeiten kann.

Bei in Strahlhäusern anfallendem Abfallsand ändern sich die Stoffwerte aber ständig. Bedingt durch das Gußprogramm und auch dadurch, daß z. B. Stahlgußteile nach dem Glühen zum Entzundern ins Strahlhaus gegeben werden oder daß auch tongebundener Sand anfällt usw., schwanken sowohl der Kornaufbau als auch das Schüttgewicht ständig. Dies hat auf den Transportvorgang in der Förderleitung einen entscheidenden Einfluß.

Vorgänge in der Förderleitung bei der Pfpfenförderung aufbereiteter Quarzsande

In Bild 2 ist das Prinzip des pneumatischen Transportes von normalem aufbereitetem Quarzsand dargestellt: Der Sand wandert in kompakten einzelnen Pfpfen vom Fördergefäß durch die Förderleitung zum Empfangssilo. Zwischen den einzelnen Pfpfen sind Luftpolster mit einem Druck p_i eingeschlossen. Der Druck dieser Polster nimmt zum Förderleitungsende hin ab. Dies geschieht durch die Expansion der

Luft und dadurch, daß die Luft durch die Poren zwischen den Einzelkörnern des Sandpfropfens hindurch zum davor befindlichen Luftpolster mit geringerem Druck strömt.

In Bild 3 ist der Fördervorgang, wie er am Anfang eines neuen Fördertaktes entsteht, dargestellt. Er läßt sich am leichtesten am Förderleistungsende erkennen.

Die vom letzten Luftpolster mit dem Druck p_1 durch die Poren des Pfropfens strömende Luft lockert den Pfropfen auf, vermindert die Keilwirkung zwischen den Einzelkörnern und der Förderleitungswand und bewirkt so, daß der Druck p_1 ausreicht, den Sandpfropfen zum Silo hin zu verschieben. Während sich der Pfropfen zum Silo hin bewegt, fällt der Druck des Luftpolsters hinter diesem Pfropfen durch Expansion und Abströmen der Luft durch die Poren des Pfropfens zum Silo hin bis fast auf den im Silo herrschenden Luftdruck p_0 ab. Der Sand wird dann nicht mehr beschleunigt, sondern strömt ruhig mit geringer Geschwindigkeit ins Silo. Nun überwiegt der Luftdruck p_2 vor dem nächsten Pfropfen. Dieser wird durch den gleichen Vorgang in Bewegung gebracht. Dies wiederholt sich, bis alle Pfropfen in der Förderleitung in Bewegung sind und Sand aus dem Förderbehälter in die Förderleitung nachströmt.

Praktikern ist bekannt, daß sich z. B. ein Quarzsand H 32 wesentlich ruhiger und gleichmäßiger fördern läßt, als z. B. ein Quarzsand F 36. Dies liegt an der geringen Porosität des Sandes F 36, die die Strömung der Luft durch den Pfropfen behindert. Die Pfropfen neigen dann dazu, an Stellen mit größerem Widerstand, z. B. einer Umlenkung, zu verweilen, bis sich der Druck hinter ihnen wieder aufgebaut hat, und sich dann ruckartig zu beschleunigen, wobei sie am nächsten Hindernis ihre Bewegungsenergie stoßartig abbauen. Am Förderleistungsende schießt dann der Pfropfen mit lautem Expansionsgeräusch in das Silo.

Vorgänge in der Förderleitung bei der Pfropfenförderung von Abfallsanden

Bei Sanden mit großem Staubanteil können die Poren zwischen den größeren Körnern verstopft oder zumindest stark verengt sein. Die Luft aus dem Luftpolster hinter dem Pfropfen kann dann nicht mehr in ausreichendem Maße durch die Pfropfen strömen. Wie in Bild 4 gezeigt, verkeilt sich der Pfropfen in der Förderleitung. Die Förderung kommt gänzlich zum Erliegen oder findet nur noch gelegentlich statt. Dies kann man auch deutlich hören. Auf Phasen ohne Transportgeräusche folgen hin und wieder solche mit lauten Geräuschen und einzelnen harten Schlägen.

Für entsprechende Messungen wurde ein Gefäßförderer verwendet, der auf einer elektrischen Waage stand, deren Ausgangssignal, nach der Zeit differenziert, die momentane Förderleistung ergab. Bei der Interpretation der mit einem Mehrkanalschreiber aufgezeichneten Kurven muß man beachten, daß der Sandstrom aus dem Fördergefäß nicht konstant ist, sondern wie die Förderung des Sandes als Wechsel zwischen Sandpfropfen und Luftpolster erfolgt. So zeichnet es die Meßeinrichtung auf. Die praktische Förderleistung in t/h ist ein Mittelwert.

Unter anderem wurde auch der Förderdruck mit einem elektronischen Manometer als Aufnehmer mitgeschrieben. Bild 5 zeigt den Förderdruckverlauf und die momentane Förderleistung.

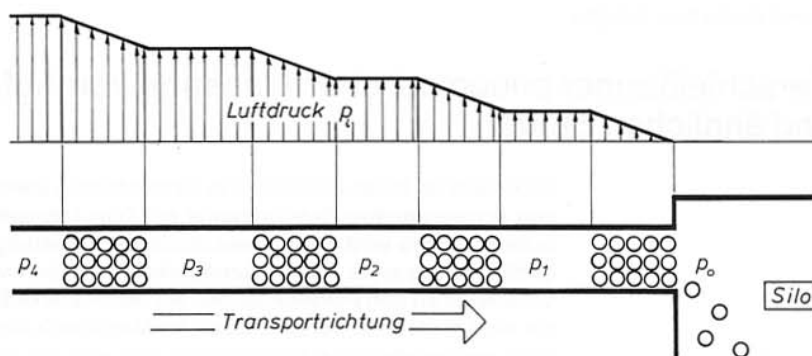


Bild 2. Prinzipieller Transportvorgang bei der pneumatischen Pfropfenförderung von aufbereitetem Quarzsand

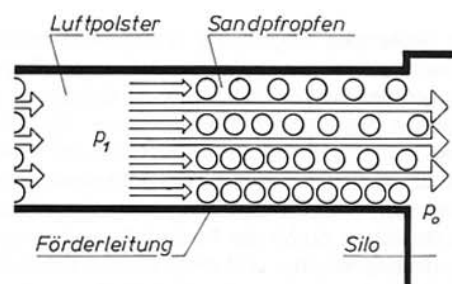


Bild 3. Einwirkung der Förderluft auf einen Sandpfropfen aus aufbereitetem Quarzsand

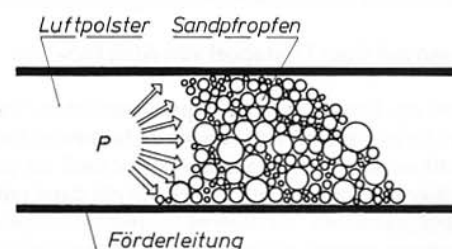


Bild 4. Einwirkung der Förderluft auf einen Sandpfropfen aus Strahlhaussand

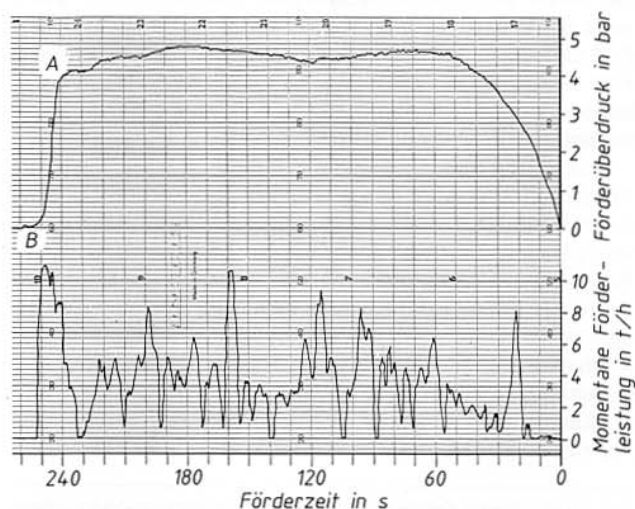


Bild 5. Förderdiagramm eines Fördertaktes einer herkömmlichen pneumatischen Pfropfenförderanlage für Quarzsand F 32

derleistung bei einem Fördertakt für Quarzsand F 32. Jedes Maximum in der Förderleistungskurve stellt einen Pfropfen dar, der das Fördergefäß verläßt und in die Förderleitung strömt. Fällt diese Kurve auf Null und steigt diese nicht nach kurzer Zeit wieder an, so ist die Förderleitung verstopft. Je höher das jeweilige Maximum der Kurve ist, um so größer ist die momentane Förderleistung. In Punkt A in Bild 5 ist das Fördergefäß leer. Dies wird von der Minimumsonde signalisiert. Das Förderluftventil wird abgesperrt, und das Entlüftungsventil des Fördergefäßes wird geöffnet. Dadurch entsteht der steile Druckabfall von Punkt A zu Punkt B. Der noch in der Förderleitung befindliche Sand bleibt dort bis zum nächsten Fördervorgang liegen. Der Anlauf erfolgt selbständig, wenn die zugeführte Förderluft vom Fördergefäß durch die ruhenden Sandpfropfen strömt.

Bild 6 zeigt den Vorgang mit der gleichen Apparatur, jedoch mit einem Strahlhaussand als Fördergut. Nachdem am Taktanfang etwas Sand in die Förderleitung geströmt ist (Punkt K), kommt es schon nach rd. 30 s Förderzeit zu einer Verstopfung. Der Druck im Fördergefäß steigt bis auf Netzdruck; es findet praktisch kein Transport statt. Erst nach rd. 110 s strömt nochmals eine kleine Sandmenge aus dem Fördergefäß in die Förderleitung. Danach ist die Förderleitung völlig verstopft.

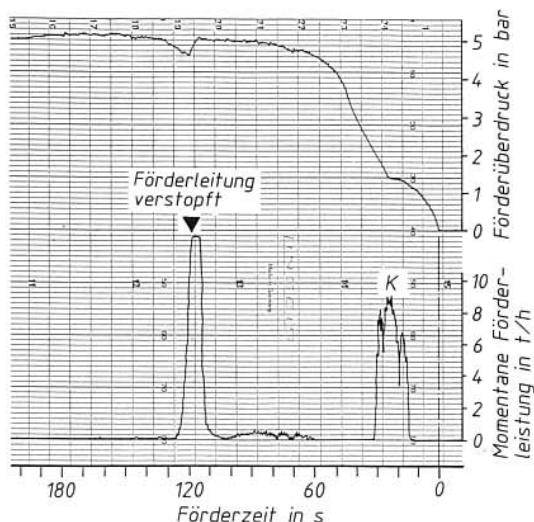


Bild 6. Förderdiagramm eines Fördertaktes einer herkömmlichen pneumatischen Pfropfenförderanlage für Strahlhaussand

Energieaustausch zwischen Förderluft und Fördergut

Den Teilchen in der Förderleitung muß, damit sie sich bewegen, Energie zugeführt werden. Bei der pneumatischen Förderung ist der Energieträger Luft.

Flugförderung

Bei der Flugförderung bewegen sich die Teilchen mit großem Abstand voneinander durch die Förderleitung. Die Geschwindigkeit der Luft ist erheblich größer als die der Teilchen, so daß die Strömungskräfte auf jedes Teilchen antreibend wirken. Da die Luftströmung durch den großen Abstand der Produktteilchen fast ungestört vom Förderleitungsanfang bis zum Förderleitungsende geht, kann an jeder Stelle und zu jeder Zeit Energie von der Luft auf das Teilchen in der Förderleitung übertragen werden. Ist z. B. ein Teilchen an einer Umlenkung etwas abgebremst worden, wird die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen dem Teilchen und der strömenden

Luft und damit auch die antreibende Kraft größer. Das Teilchen wird wieder beschleunigt; der Fördergutstrom fließt weiter.

Pfropfenförderung

Bei der Pfropfenförderung wirkt hauptsächlich der Differenzdruck der benachbarten Luftpolster auf den Pfropfen. Die Diffusionsströmung der Luft durch die Poren der Pfropfen vermindert die Reibung der Pfropfen an der Förderleitungswand und ergänzt den Energievorrat der weiter „stromabwärts“ liegenden Luftpolster. Ist ein Pfropfen nicht genügend luftdurchlässig, so wird den weiter stromabwärts liegenden Luftpolstern nicht mehr ausreichend Luft zugeführt, um die zum Transport erforderlichen Druckkräfte und Diffusionsvorgänge zu ermöglichen. Die Förderleitung verstopft.

Übliche Hilfsmaßnahmen beim Transport von Abfallsanden

Sollen Produkte mit für die Pfropfenförderung eigentlich ungeeignetem Kornaufbau durch Pfropfenförderung transportiert werden, so ist es möglich, den Bedarf an im Verlaufe der Förderstrecke notwendiger Energie durch zusätzliche Luft einspeisungen in die Förderleitung zu decken. Dazu werden sogenannte Belüftungsflansche oder Aktivatoren in die Förderleitung eingefügt. Durch diese wird ständig Luft in die Förderleitung geblasen, d. h., vom Förderleitungsanfang zu deren Ende hin nimmt die strömende Luftmenge und damit die Fördergeschwindigkeit ständig zu. Zum Ausgleich könnte man den Förderleitungsdurchmesser stufenweise vergrößern. Dazu müßte aber die jeweils nachgespeiste Luftmenge bekannt sein.

In der Praxis wird die Leitung jedoch nicht erweitert. Dadurch kommt es oft zu einer sehr schnellen Pfropfenförderung mit entsprechendem Verschleiß der Förderleitung.

Besonders schwierig wird der Transport, wenn der zu fördernde Stoff keinen gleichbleibenden Kornaufbau hat, wie dies bei Abfallsanden aus Strahlhäusern der Fall ist. Bei einem für solche Stoffe optimalen Förderverfahren muß mit einer robusten Einrichtung entlang der Förderleitung ständig festgestellt werden, ob sich in der Förderleitung ein Pfropfen zu verklemmen beginnt, und an welcher Stelle er dies tut. Dann muß gezielt in diesem Bereich so lange Luft eingespeist werden, bis sich der Pfropfen wieder normal bewegt. Dabei soll die Luftzufuhr in die Förderleitung möglichst gering sein, damit die Fördergeschwindigkeit nicht zunimmt.

Pfropfen-Luft-Injektionsverfahren

Bei dem neuentwickelten Pfropfen-Luft-Injektionsverfahren¹⁾ ist entlang der Förderleitung eine Kette sogenannter Pfropfendetektoren angeordnet. Diese reagieren auf die Druckdifferenz der Luftpolster vor und hinter den Pfropfen. Steigt diese über einen bestimmten Wert, wird nur an dieser Stelle Luft aus einer Begleitleitung in den Pfropfen injiziert, bis dieser den Bereich des jeweiligen Pfropfendetektors verläßt. Überschreitet der Differenzdruck den vorgewählten Wert nicht, so wird keine Luft injiziert.

Den prinzipiellen Aufbau eines solchen Pfropfendetektors zeigt Bild 7a. Der Schieber für die Zufuhr von in der Begleitleitung anstehender Druckluft mit dem Druck p wird abgesperrt und von einer Feder in geschlossener Grundstellung gehalten. Mit dem Schieber wird über zwei kleine Drosselstellen etwas Luft entnommen, die durch die Fühlstellen 1 und 2 in die Förderleitung strömt und auf die beiden Stirnflächen des Schiebers wirkt. Die Fühlstellen und die Einspeise-

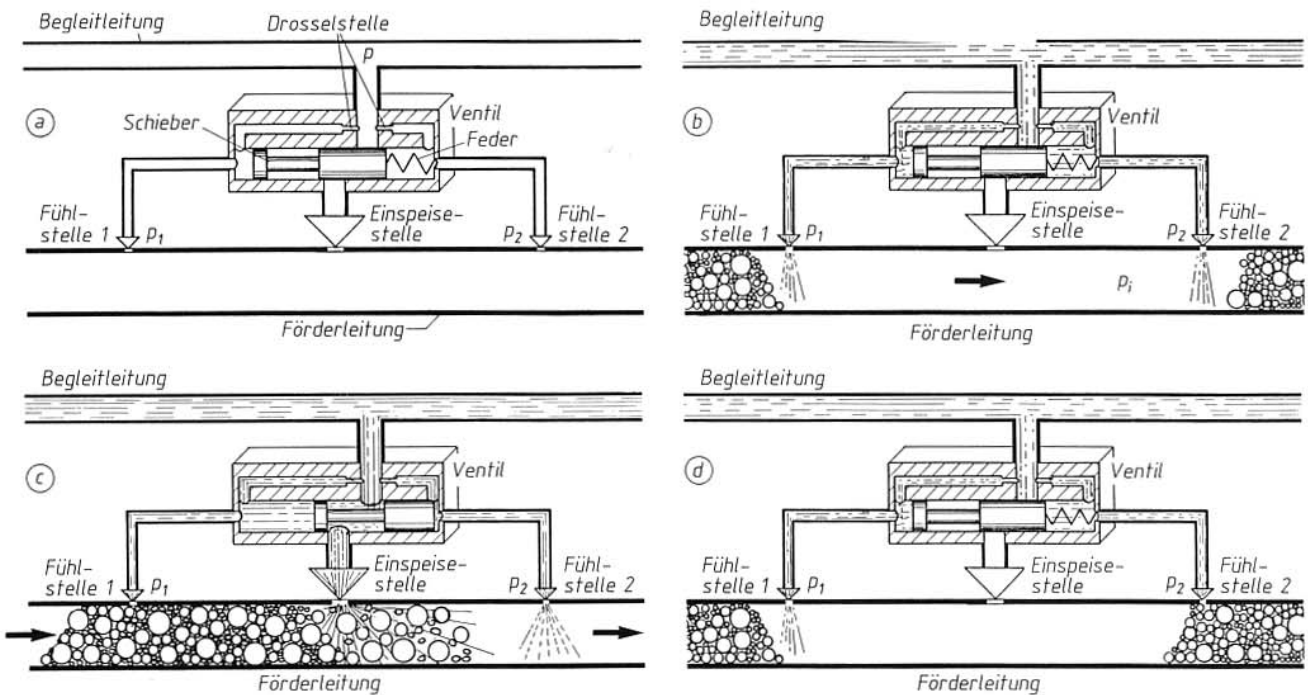


Bild 7. Pfropfendetektor: a) prinzipieller Aufbau; b) Grundstellung: kein Pfropfen im Bereich der Fühlstelle 1; $p_1 = p_2$; es wird keine Luft eingespeist; c) Schaltstellung: Ein Pfropfen ist im Bereich der Fühlstelle 1; $p_1 > p_2$; es wird Luft eingespeist; d) Grundstellung: kein Pfropfen im Bereich der Fühlstelle 1; $p_1 \leq p_2$; es wird keine Luft eingespeist

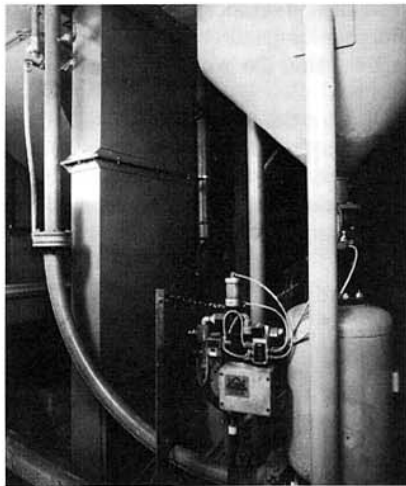


Bild 8. Pflropfen-Luft-Injektionsanlage mit T-Sender, Förderleitung und Begleitleitung (Werkfoto KSB, Pegnitz)

stelle sind durch spezielle Rückschlagventile schmutzgeschützt. Das eigentliche Ventilsystem besteht aus einem modifizierten seit Jahrzehnten bewährten Stahlschieberventil, das mehrere Millionen Schaltspiele lang verschleißfrei arbeitet. Elektrische Einrichtungen werden nicht benötigt.

Bild 7b zeigt einen Zustand, bei dem ein Pfropfen vor der Fühlstelle 1 und ein Pfropfen hinter der Fühlstelle 2 ist. Im eingeschlossenen Luftpolster beträgt der Druck p_i . Der gleiche Druck ist an den Fühlstellen 1 und 2.

$$p_1 = p_i = p_2$$

Der Ventilschieber wird von der Feder in seiner geschlossenen Grundstellung gehalten.

In **Bild 7c** sind die Pfropfen in Pfeilrichtung weitergewandert. Der Pfropfen an der Fühlstelle 1 behindert das Abströmen der Fühlluft an dieser Stelle. An Fühlstelle 2 kann Fühlluft ungehindert abströmen. An der Fühlstelle 1 baut sich der Druck p_1 auf, der gegen die Ventilfeder wirkt und diese

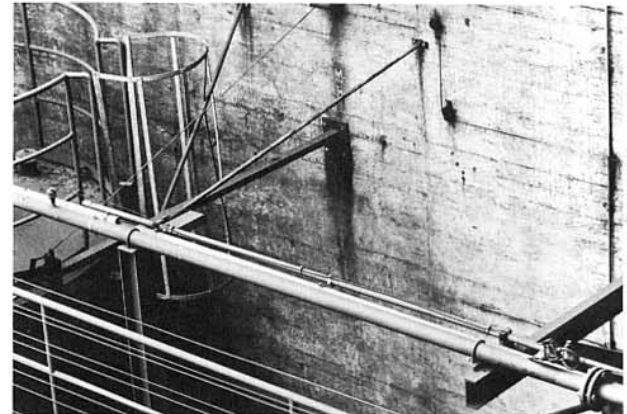


Bild 9. Pflropfendetektor an der Förderleitung einer Pflropfen-Luft-Injektionsanlage (Werkfoto KSB, Pegnitz)

schließlich zurückdrückt ($p_1 > p_2$). Nun strömt Luft aus der Begleitleitung durch die Einspeisestelle in die Förderleitung. Der Pfropfen wird aufgelockert und bewegt sich in Förderrichtung weiter.

Sind die Pfropfen schließlich in die in **Bild 7d** dargestellte Position gewandert, wird $p_1 \leq p_2$. Die Feder schiebt den Schieber wieder in die geschlossene Stellung, und es wird an dieser Stelle keine Luft mehr eingespeist.

Bild 8 zeigt das Fördergefäß, die Förderleitung und den Anfang der Begleitleitung einer solchen Anlage, **Bild 9** den Pflropfendetektor.

Fördertechnische Daten

Das Diagramm eines Fördertaktes mit Strahlhaussand gibt **Bild 10** wieder. Die Förderung ist nahezu so regelmäßig wie beim Transport von Quarzsand F 32 (vgl. **Bild 5**).

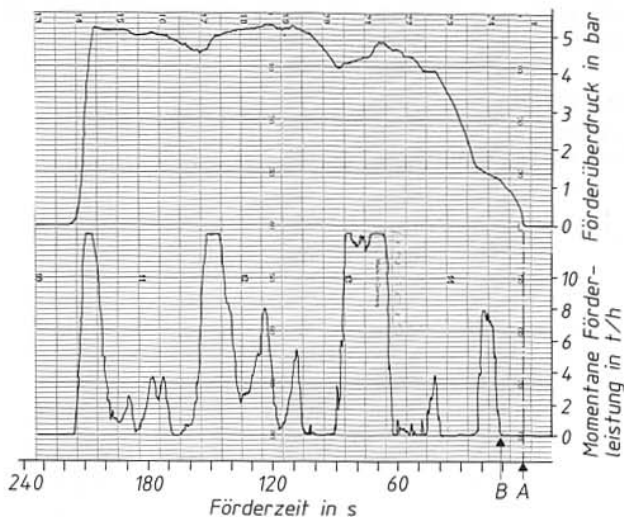
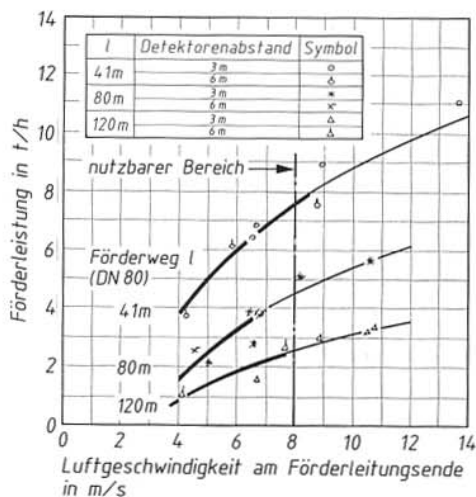


Bild 10. Förderdiagramm eines Fördertaktes einer pneumatischen Förderanlage nach dem Pfropfen-Luft-Injektionsverfahren für Strahlhaussand



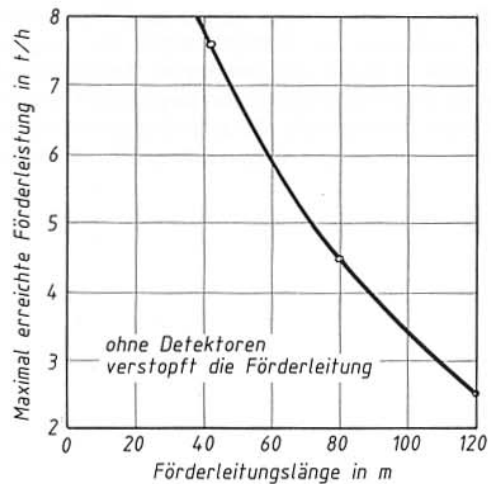
Förderer: T/S 500 mit Pfpfendektoren
Fördergut: Strahlhaussand
Netzdruck: 5,5 bar (Überdruck in Förderer und Begleitleitung)

Bild 11. Zusammenhang zwischen Förderleistung und mittlerer Luftgeschwindigkeit am Förderleitungsende

Durch Einsatz dieser Pfpfendektoren und Zusatzluft-einspeisung ist es gelungen, Strahlhaussand pneumatisch so schonend wie Neusand zu fördern. Ebenso gute Erfahrungen konnten mit Eisensinterstaub und Feinstsand gesammelt werden.

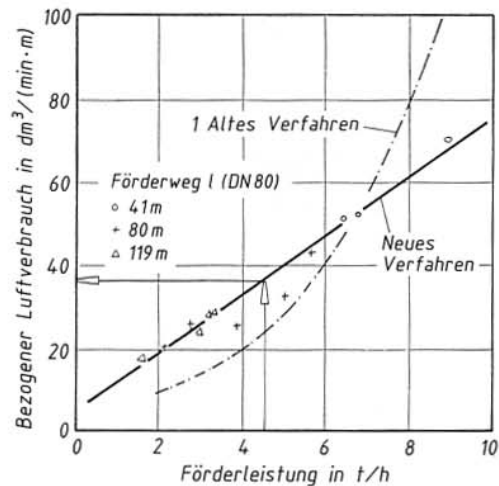
Die Förderleistung ist bei Pfpfendeförderanlagen unter anderem von der eingespeisten Luftmenge abhängig. Das Verhältnis zwischen der je Sekunde eingespeisten Luftmenge und dem Querschnitt der Förderleitung ergibt die mittlere Luftgeschwindigkeit. Dieser Sachverhalt ist für drei verschiedene Förderwege in **Bild 11** eingetragen.

Als Erfahrungswert gilt bei Quarzsand als maximale mittlere Luftgeschwindigkeit 8 m/s am Förderleitungsende. Die maximale Förderleistung in Abhängigkeit vom Förderweg ist in **Bild 12** dargestellt.



Förderer: T/S 500 mit Pfpfendektoren; Abstand 3 m; DN 80
Fördergut: Strahlhaussand
Drücke: Förderer 5,5 bar (Überdruck), Detektoren 5,5 bar (Überdruck)

Bild 12. Zusammenhang zwischen der Förderleistung und der Förderleitungslänge ($v_f = 8 \text{ m/s}$)



Förderer: T 500; DN 80; Detektorenabstand 3 m
Fördergut: Strahlhaussand
Drücke: Förderer 5,5 bar (Überdruck), Detektoren 5,5 bar (Überdruck)
Kurve 1: Förderung von Quarzsand F 32 mit üblichem Schubförderer ohne Pfpfendektoreinrichtung;
Beispiel: Förderstrecke 70 m, Förderleistung 4,5 t/h; bezogener Luftverbrauch rd. $35 \text{ dm}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$; dies ergibt einen Luftverbrauch je Minute von $70 \text{ m} \cdot 35 \text{ dm}^3/(\text{min} \cdot \text{m}) \cdot 1000 = 2,45 \text{ m}^3/\text{min}$

Bild 13. Zusammenhang zwischen dem bezogenen Luftverbrauch und der Förderleistung

Zur überschläglichen Bestimmung der notwendigen Förderluftmenge ist in **Bild 13** schließlich der bezogene Luftbedarf angegeben. Dieses Diagramm kann, da es sich nur auf den untersuchten Strahlhaussand bezieht, für andere Sande nur als Richtwert gelten.

Zum Vergleich ist in dieses Diagramm auch der bezogene Luftbedarf für die pneumatische Förderung von Quarzsand F 32 mit einer herkömmlichen Anlage eingezeichnet²⁾.

Zusammenfassung

Mit dem vorgestellten Pfpfendeförderverfahren besteht die Möglichkeit, auch Stoffe, die sich aufgrund ihres

Kornaufbaus bisher nicht zur langsamen Pfropfenförderung eigneten, schonend zu transportieren. Die eingesetzten Komponenten konnten aus bewährten Bausteinen entwickelt werden. Eine elektrische Steuerung ist nicht erforderlich.

Auch viele bestehende Pfropfenförderanlagen, die zu spontanen Verstopfungen neigen oder großen Verschleiß ha-

ben, können nachträglich mit relativ geringem Aufwand mit diesem neuen System ausgerüstet werden.

Schrifttum

1) DE PS 36 44 119.

2) Federhen, B.: Giesserei 73, 1986, Nr. 24, S. 701–705.