

Bernd Federhen, Siegen

Eine neue Möglichkeit zum wirtschaftlichen Sandtransport

In Gießereien sind große Mengen Quarzsand zu transportieren. Als Transportmittel hat sich die pneumatische Förderung durchgesetzt. Im folgenden Bericht wird ein neues Gerät zum Transport von Quarzsand und ähnlichen Stoffen vorgestellt, das über bemerkenswerte Vorteile gegenüber den für diese Aufgabe bisher üblichen Geräten verfügt.

Heute eingesetzte Geräte

Um den stark schleißenden Eigenschaften des Quarzsandes gewachsen zu sein, werden zu dessen Transport als Aufgeber heute praktisch nur noch Druckgefäßförderer verwendet, deren Abmessungen den Förderleistungen angepaßt werden: Hohe Förderleistungen erfordern große Fördergefäße, damit die Schalthäufigkeit der verschiedenen Bauteile der Gefäßförderer nicht zu hoch liegt und damit deren Lebensdauer ausreichend ist.

In der Förderleitung bewegt sich der Sand pfropfenartig. Die Pfropfen werden ohne mechanische Hilfsmittel am Fördergefäß entsprechend den Reibungsverhältnissen des Sandes an der Förderrohrwand und der Sandporosität gebildet.

Die Förderer sind aufwendig in der Herstellung und haben relativ viele Bauteile; auch die elektrische Steuerung ist aufwendig.

Bei Schwankungen von Sandfeuchte und Temperatur können die meistens verwendeten kapazitiv arbeitenden Füllstandsmelder Störungen verursachen.

Ansatz zur Neuentwicklung eines Förderers

Bei der Untersuchung von Förderern verschiedener Größe wurde festgestellt, daß kleine Förderer mit schneller Taktfolge nicht nur kosten- und baugrößenmäßig, sondern auch hinsichtlich Energiebedarf Vorteile bieten. Dies war der Anlaß, ein Fördergerät – besonders für den Transport von Quarzsand – zu entwickeln, das diese Vorteile bietet und eine schnelle Taktfolge ohne Schwierigkeiten ermöglicht. Bild 1 zeigt das Fördergerät der neuen Bauart.

Die Taktzeiten konnten mit den neuen Förderern bis auf 14 s gesenkt werden, so daß ein quasikontinuierlicher Förderstrom entsteht. Die erforderlichen Einzelfunktionen sind so miteinander verquickt, daß nur wenige Bauteile benötigt werden und auch der Steuerungsaufwand gering ist.

Aufbau des neuen Förderers

Bild 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau des neuen Gefäßförderers. Auf den Druckbehältern ist das Einlaufgehäuse mit seitlichem Sandzulaufrohr und senkrecht angefügtem Abluftrohranschluß aufgebaut. Zwischen Druckgefäß und Einlaufgehäuse befindet sich der Einlaufkegelverschluß mit einem integrierten Entlüftungsventil. Am unteren Ende des Druckbehälters ist ein selbsttätig schaltendes Auslaufventil mit der induktiv arbeitenden Minimumsonde angebaut. Am Anschlußflansch wird die Förderleitung angeschlossen. Durch einen Belüftungsflansch wird Zusatzluft in die För-

derleitung eingespeist. Die Magnetventile sind kompakt auf einer Platte am Druckgefäß montiert.

Die meisten Bauteile bestehen aus Gußeisen mit Kugelgraphit bzw. Aluminiumguß. Der Aufwand an mechanischer Bearbeitung ist gering.

Der Sandinhalt des Druckgefäßes beträgt rd. 40 kg, der maximal zulässige Förderdruck 6 bar.

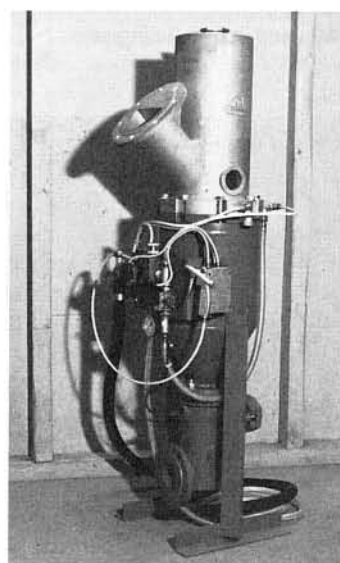


Bild 1. Fördergerät der neuen Bauart (Typ SP 25)

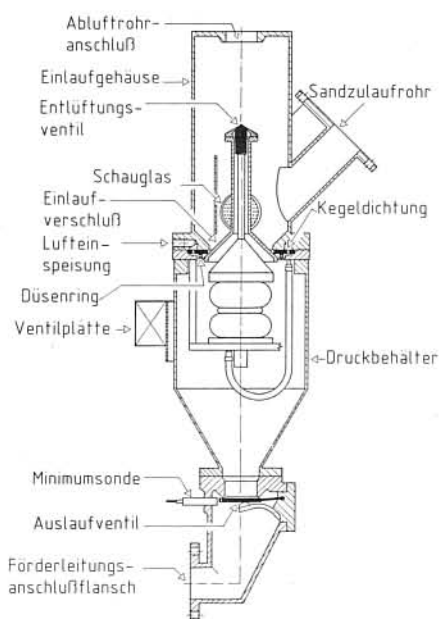


Bild 2. Prinzipieller Aufbau des neuen Förderers

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

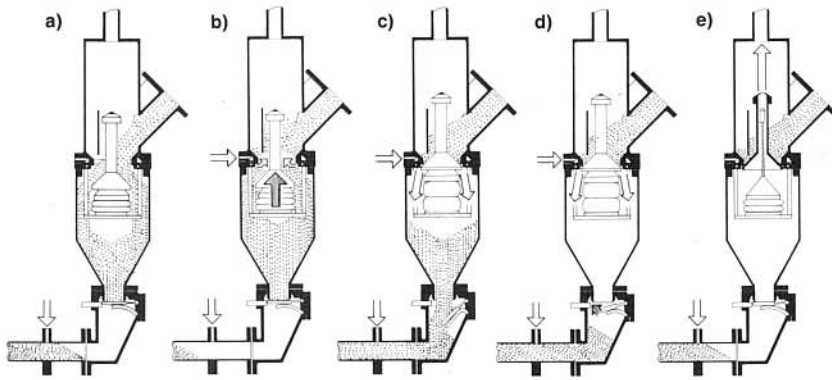


Bild 3. Die einzelnen Taktstufen des neuen Förderers: a) Füllvorgang, b) Schließvorgang, c) Fördervorgang, d) Schaltvorgang, e) Entlüftungsvorgang

Funktion des Förderers

Der Gefäßförderer schleust den Sand taktweise vom drucklosen Vorbehälter in die kontinuierlich mit dem Förderdruck beaufschlagte Förderleitung. Jeder Schleustakt verläuft in fünf Stufen. Diese sind in **Bild 3** dargestellt.

Füllvorgang

Der Einlaufverschluß ist geöffnet. Die Klappe des Auslaufventils wird von der Schließfeder und vom Luftdruck in der Förderleitung auf die Dichtkante gepreßt (**Bild 3a**). Sand fließt durch den Anschlußstutzen in den Druckbehälter. Der Füllvorgang ist zeitgesteuert. Zur Bestimmung der erforderlichen Füllzeit ist im Einlaufgehäuse ein Schauglas, durch das die einzustellende Einlaufzeit ermittelt werden kann.

Schließvorgang

Durch einen Balgzylinder angetrieben, bewegt sich der Einlaufkegel auf die Kegeldichtung zu. Gleichzeitig spült die aus dem Düsenring austretende Luft den Verschlußbereich sandfrei. Dadurch wird der Einlauf verschleißarm luftdicht verschlossen (**Bild 3b**). Das Auslaufventil ist noch geschlossen, und in die Förderleitung strömt weiter Druckluft.

Fördervorgang

Nachdem der Einlaufverschluß geschlossen ist, baut sich im Druckbehälter durch die weiter aus dem Düsenring strömende Luft Druck auf. Wird der in der Förderleitung herrschende Luftdruck überschritten, öffnet sich das Auslaufventil. Sand gelangt aus dem Druckbehälter in die Förderleitung (**Bild 3c**).

Schaltvorgang

Ist der Druckbehälter geleert, hebt eine Blattfeder die Klappe des Auslaufventils gegen dessen Dichtsitz. Dabei wird die induktiv arbeitende Minimumsonde betätigt. Die noch aus dem Druckbehälter strömende Luft reinigt die Dichtfläche der Auslaufventilklappe. Die Luftzufuhr in den Druckbehälter wird unterbrochen und der Balgzylinder des Einlaufverschlusses entlüftet (**Bild 3d**).

Entlüftungsvorgang

Durch den zu diesem Zeitpunkt noch im Druckbehälter herrschenden Druck wird zum einen der Balgzylinder zusammengedrückt; zum anderen wird der Kegel des Einlauf-

verschlusses an der Kegeldichtung gehalten. Dadurch öffnet sich das Entlüftungsventil, der Druck im Druckbehälter baut sich ab. Schließlich fällt der Einlaufkegel durch sein Eigengewicht nach unten und gibt den Einlaufquerschnitt frei (**Bild 3e**). Der Druckbehälter wird erneut mit Sand gefüllt.

An- und Abschaltung

Der Förderer kann in jeder beliebigen Schaltstufe abgestellt werden. Zum Anlauf springt die Steuerung immer in die Stufe „Füllen“.

Fördertechnische Messungen am neuen Förderer

Versuchsanlage

Parallel mit den Entwicklungsarbeiten wurden fördertechnische Messungen in einer Versuchsförderanlage durchgeführt. Es standen drei Förderstrecken (DN 80) mit Längen von 41, 80 bzw. 119 m sowie die Förderstrecke mit 41 m Länge mit Förderleitungen DN 65 und DN 100 zur Verfügung. Die Förderleitungen enden in einem Silo, das auch der Vorbehälter der Fördergeräte ist. Dadurch können auch Dauerversuche im Kreislauf durchgeführt werden. Die Luftversorgung erfolgt vom Werksnetz (6 bar Überdruck) aus. Als Fördergut wurde Quarzsand F 32 verwendet.

Die Daten von Druck, Förderluftmenge, Pfropfengeschwindigkeit und Pfropfenlänge wurden elektrisch gemessen und mittels Mehrkanalschreiber synchron registriert. Zum Vergleich wurden auch Messungen mit einem herkömmlichen Gerät, unter gleichen Bedingungen, durchgeführt.

Bild 4 zeigt die Anordnung der Geräte in der Versuchsanlage. Zu erkennen sind der neue Förderer, der herkömmliche Schubsender, der Förderleitungsstrang und das Empfangssilo, von dem die Fördergeräte wieder beschickt werden.



Bild 4. Versuchsanlage mit dem neuen Förderer (rechts), dem herkömmlichen Schubsender, Förderleitungsstrang und Empfangssilo

Ergebnisse der Messungen am neuen Förderer

Erreichbare Förderleistung, notwendiger Förderdruck

Die über verschiedene Förderstrecken erreichbare Förderleistung und den dazu notwendigen Förderdruck zeigt **Bild 5**.

Bis 40 m Förderstrecke ist eine Förderleistung von 10 t/h möglich. Die Förderleistung fällt dann bis auf 6 t/h bei 120 m Förderweg ab. Der Förderdruck steigt von 4 auf 5 bar.

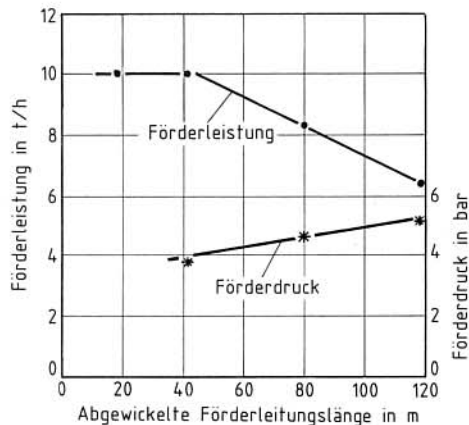


Bild 5. Förderleistung und Förderdruck beim Transport des Sandes F 32 in Abhängigkeit von der Förderleistungslänge beim neuen Förderer

Luftverbrauch

Bild 6a gibt die Abhängigkeit des spezifischen Luftverbrauchs von der Förderleistung (Förderleitung DN 80) wieder. Als spezifischer Luftverbrauch wird der Luftverbrauch in dm^3/min , bezogen auf 1 m Förderstrecke, definiert.

Aus den Meßwerten wurde für den spezifischen Luftverbrauch für die Förderleitung DN 80 durch Approximation die Beziehung

$$\dot{V}_{\text{spez}} = 3,0354 \cdot e^{0,3135 \cdot \dot{M}_s}$$

mit $\dot{V}_{\text{spez}}$ in $\text{dm}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$ und $\dot{M}_s$ in t/h gewonnen.

Energiebedarf

Aus dem spezifischen Luftverbrauch und den gemessenen Förderdrücken läßt sich die Leistungsaufnahme eines der Förderanlage versorgenden Kompressors errechnen. In **Bild 6b** ist diese Leistungsaufnahme in W/m Förderstrecke in Abhängigkeit von der Förderleistung dargestellt. Aus diesem Diagramm geht auch der Einfluß des Förderleistungsdurchmessers auf den Energiebedarf hervor.

Bei schleißenden Produkten wie Quarzsand hat die Fördergeschwindigkeit großen Einfluß auf den Rohrleitungsabrieb. Der Rohrleitungsdurchmesser kann deshalb nicht alleine nach dem Energiebedarf gewählt werden, sondern es müssen auch die entsprechend den jeweiligen Förderleistungsdurchmessern notwendigen Fördergeschwindigkeiten beachtet werden. Dies wird später erläutert.

Energiekosten

Da die spezifische Leistungsaufnahme nicht linear mit der Förderleistung steigt, gibt es für eine bestimmte zu fördern-

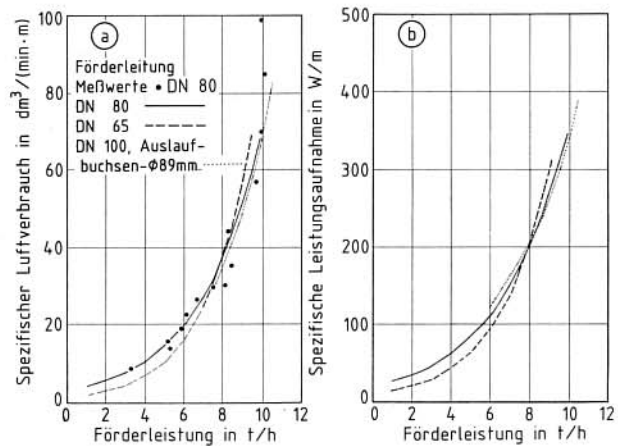


Bild 6. Spezifischer Luftverbrauch (a) und spezifische Leistungsaufnahme des Kompressormotors (b) beim Transport des Sandes F 32 (Näherungskurven) in Abhängigkeit von der Förderleistung beim neuen Förderer

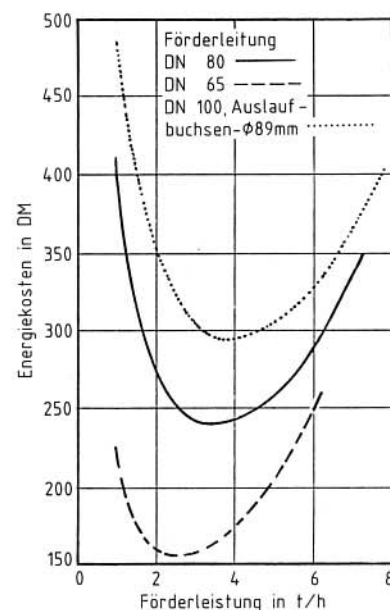


Bild 7. Energiekosten zum Transport von 1000 t Sand (F 32) über 75 m in Abhängigkeit von der Förderleistung [angenommener Strompreis 21 Pf/(kW · h)]

de Sandmenge eine optimale Förderleistung mit minimalen Energiekosten. Für den Transport von 1000 t Quarzsand F32 durch eine 75 m lange Förderstrecke sind in **Bild 7** die sich ergebenden Energiekosten [angenommener Strompreis 21 Pf/(kW · h)] für Förderleitungen DN 65, DN 80 und DN 100 abhängig von der Förderleistung aufgetragen. (Auch hier sind die gemachten Einschränkungen bezüglich des Verschleißes zu beachten!)

Vorgänge in der Förderleitung des neuen Förderers

Meßvorrichtung

Zwei kapazitiv arbeitende Sonden wurden im Abstand von 2 m kurz vor dem Empfangssilo in die obere Wand der Förderleitungen eingebaut. Solange ein Pfropfen diese Sonden berührt, geben diese ein elektrisches Signal. Die Ausgangssignale dieser Sonden konnten von zwei Kanälen des Mehrkanalschreibers synchron registriert werden.

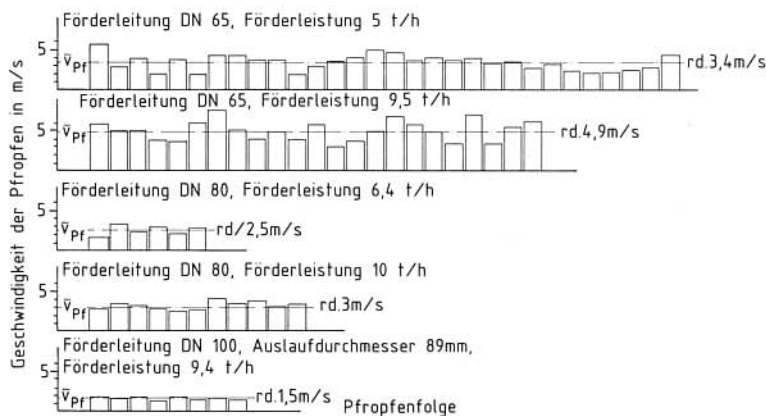


Bild 8. Geschwindigkeit der Pfpfen in der Förderleitung in Abhängigkeit von der Förderleitungsnennweite und der Förderleistung beim Transport des Sandes F 32 im neuen Förderer

Pfpfengeschwindigkeit

Ein sich durch die Förderleitung bewegendes Pfpfen schaltet nacheinander die erste und die zweite Sonde. Aus der Vorschubgeschwindigkeit des Schreibers, dem aufzeichneten Signalabstand und dem festen 2-m-Abstand der Sonden lässt sich die Pfpfengeschwindigkeit errechnen. **Bild 8** gibt die Pfpfengeschwindigkeit für unterschiedliche Förderleistungen und Förderleitungsdurchmesser als Balkendiagramm wieder. Die Höhe der Einzelbalken entspricht der Geschwindigkeit eines Pfpfens. Zusätzlich ist der Mittelwert jeder Meßreihe eingezeichnet (Reihenfolge der Pfpfen von links nach rechts).

Pfpfenlänge

Solange ein Pfpfen eine Sonde bedeckt, gibt diese ein Signal an den Schreiber. Aus der Vorschubgeschwindigkeit des Schreibers, der Signallänge und der ermittelten Pfpfengeschwindigkeit lässt sich die Pfpfenlänge bestimmen. In **Tafel 1** sind die ermittelten Pfpfenlängen und Pfpfengeschwindigkeiten zusammengestellt.

Tafel 1. Mittlere Pfpfengeschwindigkeit und Pfpfenlänge des neuen Förderers in Abhängigkeit von der Förderleistung und dem Förderleistungsquerschnitt

Förderleitung	Förderleistung	Mittlere Pfpfengeschwindigkeit	Mittlere Pfpfenlänge
	in t/h	in m/s	in m
DN 65	5,00	3,37	1,52
DN 65	9,45	4,91	1,53
DN 80	6,00	2,54	2,10
DN 80	10,00	3,00	2,15
DN 100	9,36	1,51	3,35

Fördertechnische Messungen mit dem herkömmlichen Fördergerät

Die fördertechnischen Messungen mit dem herkömmlichen Förderer wurden in der gleichen Versuchsförderanlage vorgenommen (**Bild 4**).

Luftverbrauch

Bild 9a gibt die Abhängigkeit des spezifischen Luftverbrauchs von der Förderleistung (Förderleitung DN 80) wieder.

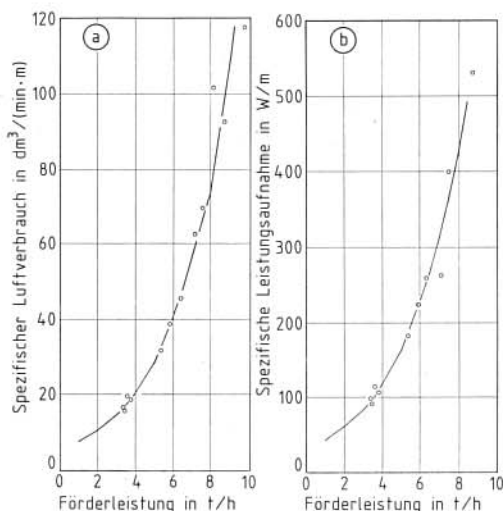


Bild 9. Spezifischer Luftverbrauch (a) und spezifische Leistungsaufnahme des Kompressormotors (b) in Abhängigkeit von der Förderleistung beim Transport des Sandes F 32 (Förderleitung DN 80) im herkömmlichen Förderer

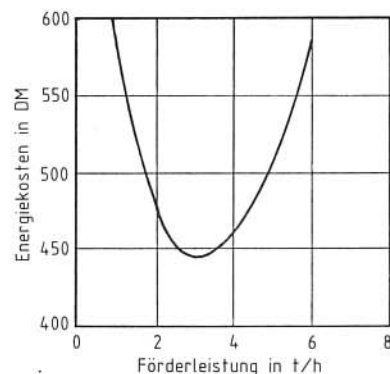


Bild 10. Energiekosten zum Transport von 1000 t Sand über 75 m in Abhängigkeit von der Förderleistung beim herkömmlichen Förderer [Sand F 32, Förderleitung DN 80, angenommener Strompreis 21 Pf/(kW · h)]

Energiebedarf

Aus dem spezifischen Luftverbrauch und den gemessenen Förderdrücken wurde die Leistungsaufnahme eines die Förderanlage versorgenden Kompressors errechnet. In **Bild 9b** ist diese Leistungsaufnahme in W/m Förderstrecke in Abhängigkeit von der Förderleistung dargestellt.

Energiekosten, Beispiel

Mit den gleichen Daten wie im Beispiel für den neuen Förderer sind für die Förderleitung DN 80 in **Bild 10** die Energiekosten für den Sandtransport mit dem herkömmlichen Förderer aufgetragen.

Vorgänge in der Förderleitung des herkömmlichen Förderers

Pfpfengeschwindigkeit

Mit der gleichen Einrichtung wie beim neuen Förderer wurden die Pfpfengeschwindigkeit und -länge bei der Förderung mit dem herkömmlichen Förderer ermittelt. Die Messungen wurden am Taktende vorgenommen, bis die Minimumsonde den laufenden Fördertakt beendete. Für die Förderstrecke mit 41 m (Förderleitung DN 80) sind die Ergebnisse in **Bild 11** zusammengestellt.

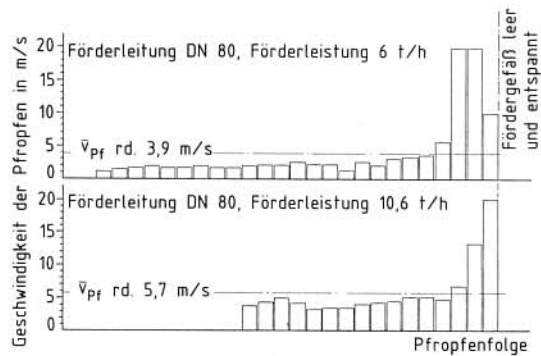


Bild 11. Geschwindigkeit der Pflöpfen in der Förderleitung in Abhängigkeit von der Förderleistung beim herkömmlichen Förderer (Sand F 32, Förderleitung DN 80)

Vergleich des herkömmlichen mit dem neuen Förderer

In Bild 12a ist für beide Geräte der spezifische Luftverbrauch in Abhängigkeit von der Förderleistung bei einer Förderleitung DN 80 aufgetragen. Bild 12b zeigt schließlich die Energiekosten zum Sandtransport mit beiden Geräten für Mengen und Strecken der vorherigen Beispiele. Bemerkenswert ist, daß es eine Förderleistung mit minimalem Energieverbrauch gibt und der optimale Bereich beim neuen Förderer wesentlich breiter ist als bei dem herkömmlichen Gerät, also auch im praktischen Betrieb leichter eingestellt werden kann.

Zudem benötigt der neue Förderer bei den für das Beispiel gewählten Daten nur rd. 55% der Energiekosten des herkömmlichen Gerätes.

Praktischer Einsatz

Inzwischen haben sich mehrere Geräte der neuen Bauart in der Praxis bewährt. Als Beispiele für die verschiedenen Einsatzfälle seien folgende genannt:

- Transport von Altsand aus einem Silo mit vorgeschaltetem Verhältnisdosiergerät (Bild 13).
- Abtransport von gekühltem Altsand zu einem Fluidbett-kühler (Förderstrecke rd. 40 m, DN 80, Förderleistung rd. 6 t/h). Bei diesem Einsatzfall wird der Bettspiegel durch die quasikontinuierliche Förderung sehr konstant gehalten. Dadurch wird eine gleichmäßige Entstaubung im Fluidbett erreicht.
- In einem deutschen Glaswerk, das optische Gläser herstellt, verursachte der durch einen älteren pneumatischen Förderer erzeugte Eisenabrieb im Quarzsand unzulässige Färbungen im Glas. Mit einem Förderer der neuen Bauart wurde dieser Mangel beseitigt (Förderstrecke rd. 40 m, DN 80, Förderleistung rd. 7 t/h).

Zusammenfassung

Mit einem Gefäßförderer neuer Bauart ist es gelungen, einen Fortschritt beim Transport von Quarzsand und ähnli-

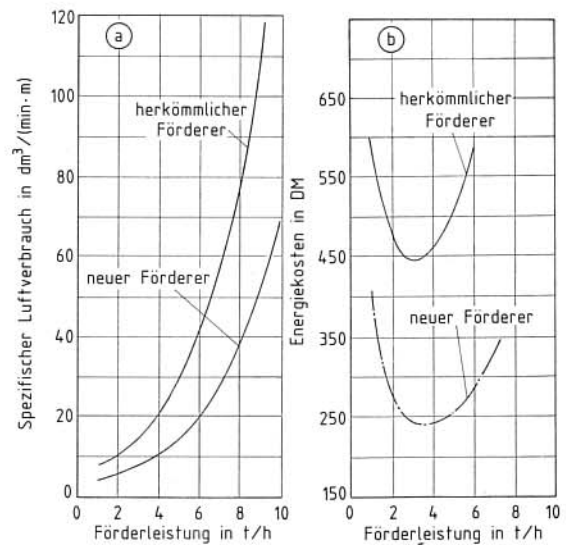


Bild 12. Vergleich des herkömmlichen und neuen Förderers: spezifischer Luftverbrauch (a) und Energiekosten zum Transport von 1000 t Sand über 75 m (b) in Abhängigkeit von der Förderleistung (Sand F 32, Förderleitung DN 80)

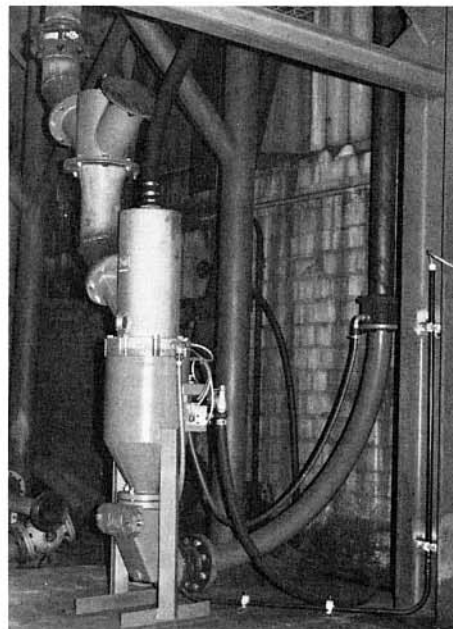


Bild 13. Neuer Förderer zum Transport von Altsand mit vorgeschaltetem Verhältnisdosiergerät (Förderstrecke rd. 60 m, DN 100, Förderleistung rd. 9 t/h, (Werkbild Schmolz + Bickenbach, Krefeld)

chen Produkten zu erzielen. Besondere Vorteile ergeben sich hinsichtlich Baugröße, Steuerungsaufwand und Energiebedarf. Es wird über Aufbau und Funktion sowie über fördertechnische Messungen, auch im Vergleich mit herkömmlichen Förderern, sowie über den praktischen Einsatz berichtet.