Erhöhung der Förderleistung und Verbesserung des Wirkungsgrades preumatischer Förderanlagen durch Bühler-Fluidstat-Systeme

Autor(en): **Flatt, W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bericht über die Tätigkeit der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft**

Band (Jahr): **79 (1963)**

PDF erstellt am: **01.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-832779

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

ERHÖHUNG DER FÖRDERLEISTUNG UND VERBESSERUNG DES WIRKUNGSGRADES PNEUMATISCHER FÖRDERANLAGEN DURCH BÜHLER-FLUIDSTAT-SYSTEME

W. FLATT

Die Entwicklung pneumatischer Förderanlagen der bisher bekannten Systeme Flugförderung und Fluidlift® hat seit einiger Zeit einen Stand erreicht, der es ermöglicht, weitverzweigte automatisch gesteuerte, reichlich komplexe Systeme im Baukastenprinzip aus standardisierten Pneumatikelementen zusammenzustellen.

Möglichkeiten der Weiterentwicklung waren deshalb hauptsächlich im Hinblick auf folgende Punkte zu konzentrieren:

1. Reduktion des Kraftbedarfes,
2. Reduktion der zur Förderung notwendigen Luftmenge,
3. Reduktion der zur Abscheidung erforderlichen Filterflächen,
4. Reduktion des Verschleißes in Rohrleitungen,
5. Überwindung größerer Förderdistanzen,
6. schonende Behandlung der Fördergüter.

Von den theoretischen Arbeiten der Herren Dres A. Lippert[1,2] und E. Muschelknautz[3] (Farbenfabriken Bayer AG, Leverkusen) ausgehend, wurde die industrielle Entwicklung der pneumatischen Förderung durch statische Druckübertragung der komprimierten Luft auf die zu fördernden Schüttgüter durch Gebr. Bühler AG, Uzwil, Schweiz, für Großanlagen übernommen[4].

Während bei Flugförderung oder Fluidlift® der auf die einzelnen Gutpartikel wirkende Staudruck der turbulenten Luftbewegung den eigentlichen Antrieb des Fördergutes bewirkt, wird die Bewegung der Gutsäule im Förderrohr beim «Bühler-Fluidstat-System» durch statische Druckübertragung erzeugt.

Eine Gutsäule im Rohr von der Länge dl wird sich verschieben, wenn $dp \cdot F > d\,Q\,tg\,\beta$ ist (Abb. 1)[5].

Geht man von einem total verstopften Förderrohr (Abb. 2) aus, dessen Betriebsdruck p_2 nicht ausreicht, die Gutsäule der Länge L zu verschieben, so ist es aber möglich, den Druck p_2 über eine Bypaß-

[1] Lippert, A., Dr.: Pneumatische Förderung bei hohen Gutkonzentrationen. Chemie-Ingenieur-Technik 38 (1966) 3, S. 350–355.

[2] Lippert, A., Dr.: Diss. Universität Karlsruhe 1966: «Die Staub-Luft-Förderung von Pulvern und Schüttgütern mit hohen Gutkonzentrationen im Gasstrom.» – Ein neuer Fördervorgang. Experimentelle und theoretische Untersuchung.

[3] Muschelknautz, E., Dr.: Eine einfache Theorie zur Berechnung der Druckverluste pneumatischer Förderleitungen bei hoher Gutbeladung.

[4] Zwei Serien von in einer großen Anzahl Länder angemeldeten Schutzrechten zum Beispiel DBP 1 174 256, 16. Juli 1964, Bayer, Leverkusen, Schweizer Patent 459 060 vom 30. August 1968, Bühler, Uzwil.

[5] Erklärung der Bezeichnungen und Dimensionen auf Seite 263.

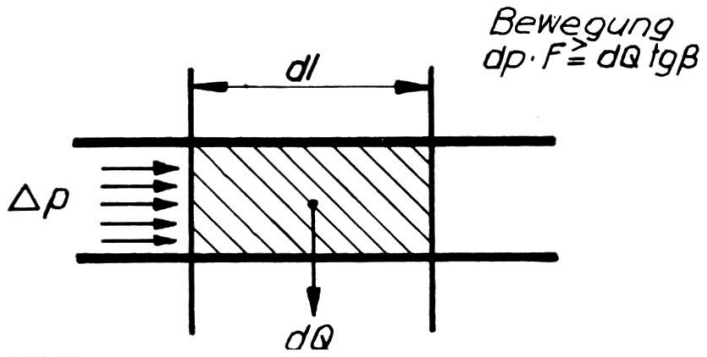


Abb. 1

leitung gegen das Ende der Förderleitung anzusetzen, wo der Druck p_2 ausreicht, die Gutsäule der Länge dl_1 auszustoßen. Dazu ist nur eine geringe Luftmenge erforderlich, und die Vorgänge lassen sich etwas vereinfacht als statische Druckübertragung ansprechen. (Daher der Name Fluidstat-System.)

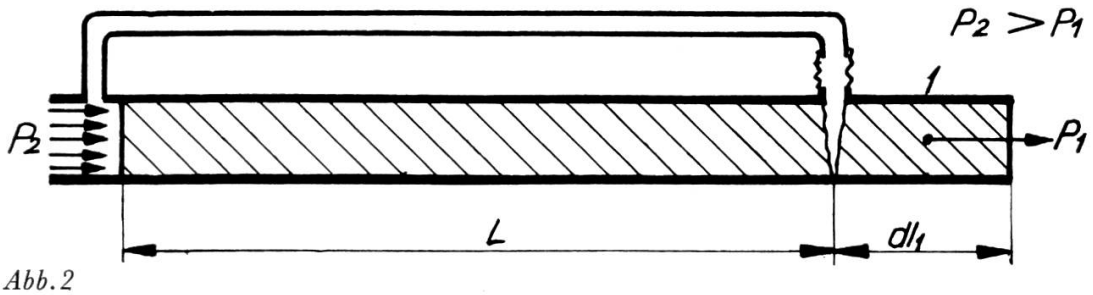


Abb. 2

Ist einmal das Rohrstück dl_1 entleert (Abb. 3), so ist es möglich, durch Verschieben des Bypasses in gleicher Weise den zweiten Abschnitt dl_2, und sinngemäß dl_3, $dl_4 \div dl_x$ zu entleeren.

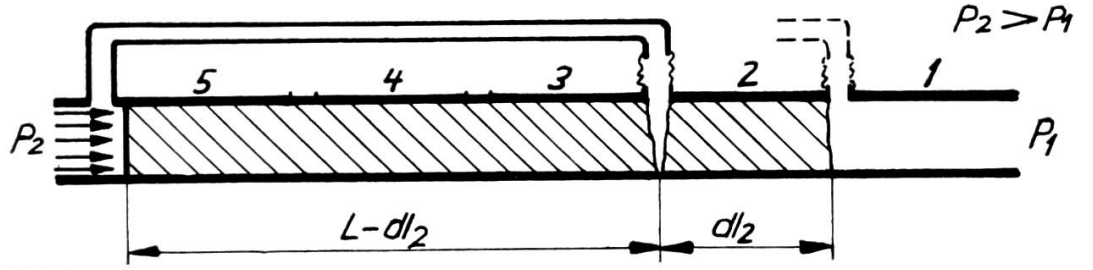


Abb. 3

Verbindet man nun die Bypaßanschlüsse miteinander (Abb. 4), so ergibt sich die zeitlich unmittelbar nacheinander gestaffelte Verschiebung einzelner Gutabschnitte dl_1–dl_x, sofern der Druckabfall Δp der einzelnen Bypaßrohrabschnitte größer ist als der erforderliche Verschiebedruck der zugehörigen Gutabschnitte dl, und es entsteht die eigentliche Förderung.

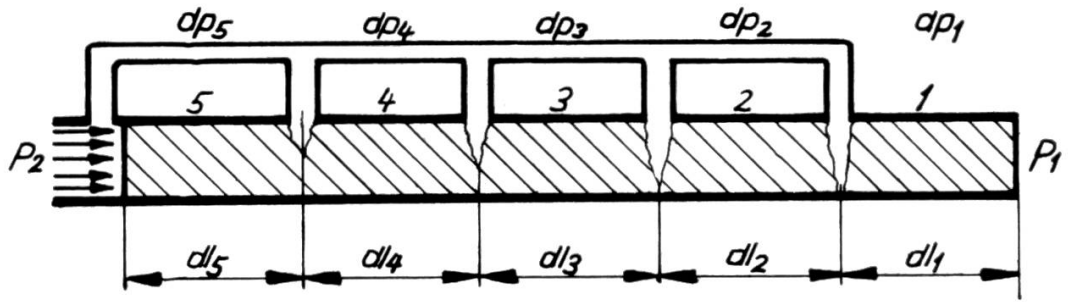


Abb. 4

Durch die Bypaßleitung wird aus vorgehenden Rohrabschnitten Förderluft entnommen und in nachfolgenden Rohrabschnitten wieder beigefügt. Dadurch ist keine zusätzliche Preßluft erforderlich, und die an der Förderung beteiligte Luftmasse kann konstant gehalten werden.

Da die Ablagerung im Rohr bewußt erzeugt wird, kann mit Fördergeschwindigkeiten von wenigen m/sec gefördert werden, wobei ein System auch aus dem Stillstand wieder angefahren werden kann.

Im Hinblick auf die Erfassung des Kraftbedarfes in Funktion des Mischungsverhältnisses bzw. der FROUDEschen Zahlen an industriellen Systemen, wurde eine Formulierung gesucht, die eine praktische Untersuchung der verschiedenen Vorgänge ermöglichte.

Ohne auf die Methode der Berechnung einzelner Förderstränge im Detail einzugehen, ist es im Hinblick auf die nachfolgenden Meßresultate und Diagramme notwendig, den unter anderem für den Kraftbedarf charakterisierenden K-Wert zu definieren[6].

g	= Erdbeschleunigung	m/sec	V_L	= Luftvolumen	m^3
D	= Rohrdurchmesser	m	γ_L	= spezifisches Gewicht der Luft	kp/m^3
N	= Kraftbedarf	mkg/sec			
F	= Rohrquerschnitt	m^2	$tg\beta$	= Gutreibungskoeffizient im Rohr	
μ	$= \frac{G_M}{G_L}$ = Mischungsverhältnis		R	= Gaskonstante für Luft	$\frac{m}{°K}$
G_L	= Luftdurchsatz	kp/sec	T	= °K	
G_M	= Gutdurchsatz	kp/sec			
Q	= Materialmenge	kp	K	= Kraftbedarfskoeffizient	$\frac{tg\beta}{RT\frac{c_G}{v_L}}\left(\frac{1}{m}\right)$
c_G	= Gutgeschwindigkeit	m/sec			
v_L	= Luftgeschwindigkeit	m/sec	C	= Systenskonstante	

6 Aus der Arbeit von Dr. E. MUSCHELKNAUTZ «Eine einfache Theorie zur Berechnung der Druckverluste pneumatischer Förderleitungen bei hoher Gutbeladung» nochmals kurz zusammengefaßt.

$$dQ = G_M \cdot dt$$

$$c_G = \frac{dl}{dt} \qquad dt = \frac{dl}{c_G}$$

$$dQ = \frac{G_M}{c_G} \cdot dl$$

$$G_M = G_L \cdot \mu$$

$$dp \cdot F = dQ \; tg\beta$$

$$dp \cdot F = \frac{\mu \cdot G_L}{c_G} \cdot tg\beta \, dl$$

$$G_L = V_L \cdot \gamma_L = F \cdot v_L \cdot \gamma_L$$

$$V_L = \frac{l}{\gamma_L}$$

$$dp \cdot F = \frac{\mu \cdot F \cdot v_L \cdot \gamma_L}{Cc_G} tg\beta \, dl$$

$$\gamma_L = \frac{Pabs}{RT}$$

$$dp = \frac{p \cdot \mu \cdot v_L \cdot tg\beta}{RT \cdot cG} dl$$

$$dp = p \cdot \mu \cdot \frac{tg\beta}{RT \cdot \frac{c_G}{v_L}} dl \qquad k = \frac{tg\beta}{RT \cdot \frac{c_G}{v}}$$

$$\int_2^1 \frac{dp}{p} = \int \mu \, k \, dl$$

$$\ln \frac{P_1}{P_2} = k \, \mu \, l$$

$$P_2 = P_1 e^{\mu l k}$$

Unterteilt man die gesamte Förderlänge in Teilabschnitte, so kann in der Praxis k für einen einzelnen Rohrabschnitt als konstant angenommen werden. l, μ, k bestimmen dann letzten Endes den für die Förderung erforderlichen Druck gemäß obiger Funktion.

Untersuchungen an Fördersystemen bei Förderdistanzen von 100 m, Förderleistungen bis zu 40 t/h mit verschiedenen Produkten zeigen, daß der spezifische Kraftbedarf bis auf das Fünffache reduziert werden kann, wenn nur das Mischungsverhältnis bzw. der Betriebsdruck entsprechend hoch, die Fördergeschwindigkeiten entsprechend klein gewählt werden.

Abb. 5a zeigt vergleichsweise den Verlauf des Betriebsdruckes in Funktion der Fördergeschwindigkeit $\triangle p = f\,(v_L)$ für ein konventionelles Flugfördersystem (Fluidlift) und ein neues Bühler-Fluidstat-System, bei Förderung von Halbweißmehl, Tonerde und Na-Tripoliphosphat.

Während bei Flugförderung das Förderrohr nach Unterschreitung einer bestimmten Minimalgeschwindigkeit durch das Produkt verstopft wird (Stopfgrenze A), beginnt das Fluidstat-System im Ge-

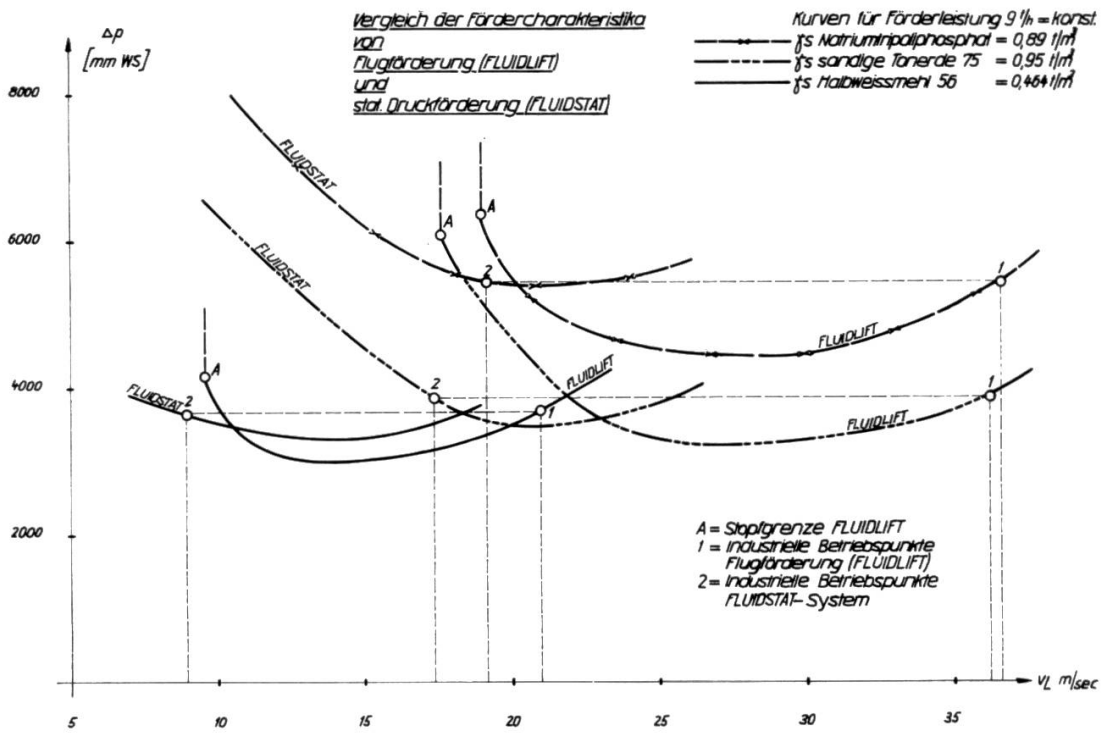

Vergleich der Fördercharakteristika
von
Flugförderung (FLUIDLIFT)
und
stat. Druckförderung (FLUIDSTAT)
Kurven für Förderleistung 9 t/h = konst.
γs Natriumtripolyphosphat = 0,89 t/m³
γs sandige Tonerde 75 = 0,95 t/m³
γs Halbweissmehl 56 = 0,464 t/m³
Δp
[mm WS]
8000
6000
4000
2000
FLUIDSTAT
FLUIDLIFT
A = Stopfgrenze FLUIDLIFT
1 = Industrielle Betriebspunkte
Flugförderung (FLUIDLIFT)
2 = Industrielle Betriebspunkte
FLUIDSTAT-System
vL m/sec
5
10
15
20
25
30
35

Abb. 5a

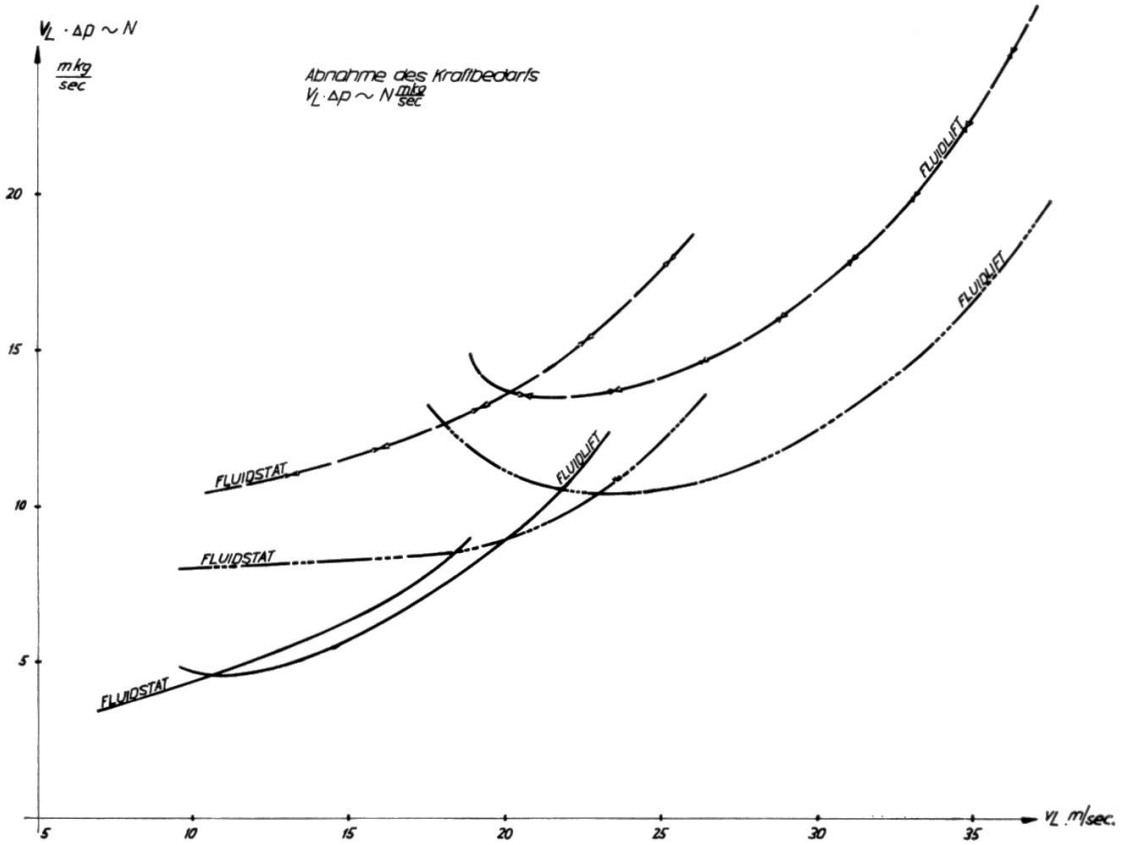

vL · Δp ~ N
m kg / sec
Abnahme des Kraftbedarfs
vL · Δp ~ N m kg/sec
20
15
10
5
FLUIDSTAT
FLUIDLIFT
vL m/sec.
5
10
15
20
25
30
35

Abb. 5b

schwindigkeitsbereiche unterhalb der Stopfgrenze durch statische Druckübertragung erst richtig zu arbeiten.

Da die Betriebspunkte 1 konventioneller Flugförderanlagen für die Gewährung einer guten Betriebssicherheit in etwa bei Geschwindigkeiten von $2 \div 2{,}5 \times$ Schwebegeschwindigkeit der Fördergüter liegen, wird beim Fluidstat-System selbst ohne Erhöhung des Betriebsdruckes eine wesentliche Reduktion der Fördergeschwindigkeit und damit des Luftvolumens und des Kraftbedarfes möglich.

Abb. 5b zeigt ferner die stetige Abnahme des Produktes aus $\triangle p \cdot V_L \sim N$ mkg/sec bei Reduktion der Fördergeschwindigkeit und konstanter Förderleistung.

Wie aus der Definition von k hervorgeht, sind diese Werte von der Beschaffenheit der Fördergüter abhängig. Dabei spielt Granulation, Fluidisierbarkeit, spezifisches Gewicht, Oberflächenbeschaffenheit der Partikel, Feuchtigkeit und andere Guteigenschaften eine entscheidende Rolle.

Selbstverständlich spielt je nach Produkt der Abstand der Bypaßanschlüsse sowie das Querschnittsverhältnis der Bypaßleitung zur Förderleitung eine wesentliche Rolle. In aufwendigen Versuchen wurden diese Zusammenhänge untersucht.

Zur Erreichung der optimalen K-Werte sind demzufolge bestimmte optimale Verhältnisse in der Geometrie der Rohrleitung einzuhalten.

Zunächst seien die Vorgänge bei der Förderung von Mehl im Detail dargelegt.

Abb. 6 zeigt den Verlauf der K-Werte bei Mehl in Funktion des Mischungsverhältnisses (Parameter = FROUDEsche Zahlen). Die K-Werte wurden mit einer Systemkonstanten multipliziert und auf der Ordinate abgetragen.

Dieses Diagramm zeigt bei abnehmenden FROUDEschen Zahlen bzw. zunehmendem Mischungsverhältnis die Reduktion der $c \cdot K$-Werte. Im Bereiche der Fluidlift-Förderung bis zu fünfmal größer als im Bereiche der Fluidstat-Förderung.

Für die Wahl der Fördergeschwindigkeit eines bestimmten Schüttgutes gilt für verschiedene Rohrdurchmesser:

$$Fr = \frac{v_L}{\sqrt{Dg}} = \text{const.}$$

Zur Festlegung der optimalen $c \cdot K$-Werte werden aus diesem Grunde $c \cdot K$-Werte über Fr aufgetragen (Parameter $= \mu$) (Abb. 7).

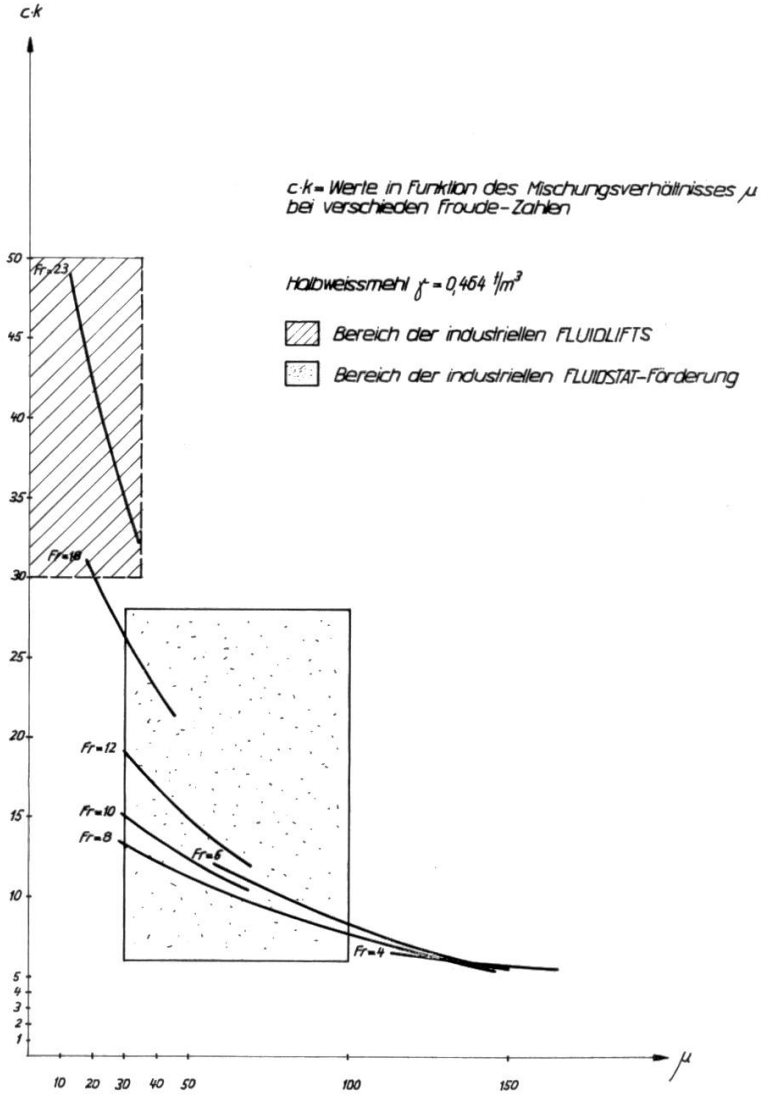


Abb. 6

Die Minima ergeben die optimalen FROUDEschen Zahlen. Deutlich ist bei zunehmendem Mischungsverhältnis eine leichte Verschiebung der optimalen FROUDEschen Zahlen gegen kleinere Werte feststellbar.

Werden schließlich die Werte K-Optimal über μ abgetragen (Abb. 8), so zeigt sich deutlich die Reduktion des Kraftbedarfes bei Fr-optimal und zunehmenden Mischungsverhältnissen.

Bisher beschriebene Vorgänge wurden untersucht auf Rohrleitungen von 12 m bzw. 100 m Länge, Rohrdurchmesser von 80 bis 110 mm und mit Produkten verschiedener Struktur und Betriebsdrücken von 0,1 bis 4 atü.

Die Zusammenfassung der Resultate geht aus Abb. 9 hervor, wo die

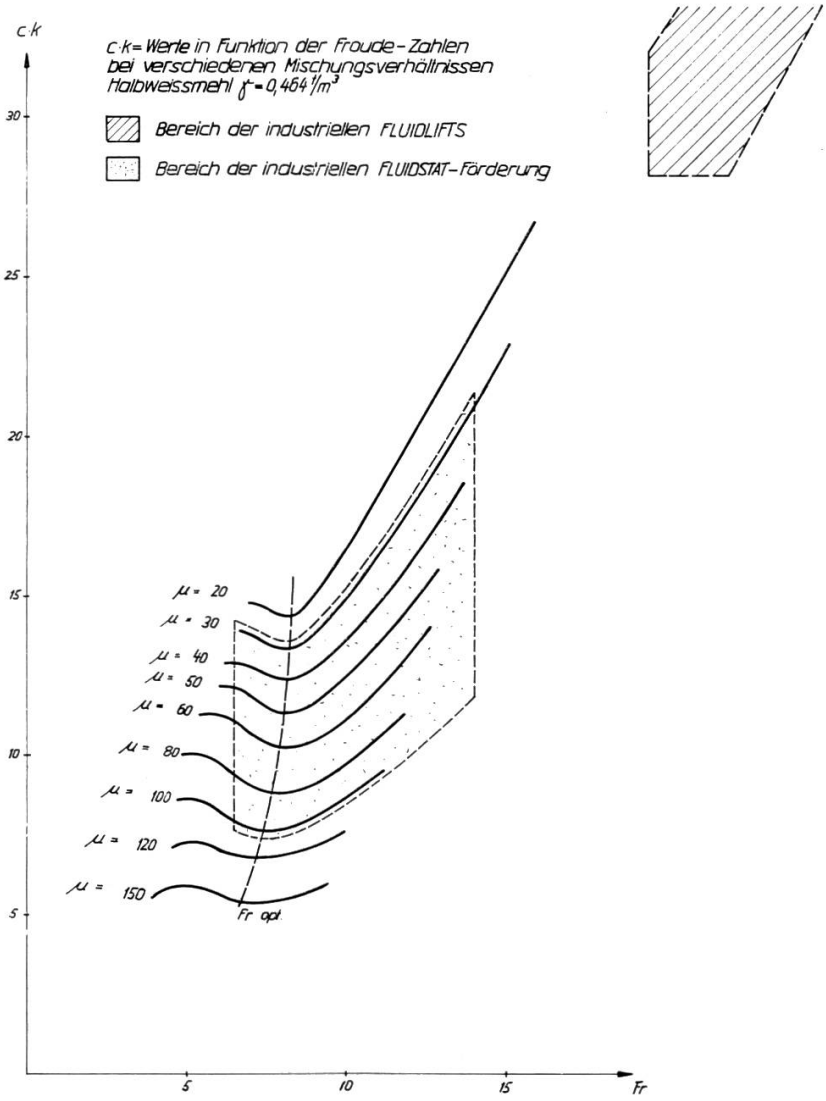


Abb. 7

c · K-Werte bei FROUDE optimal über μ für Perborat, Hartweizengrieß, Na-Tripoliphosphat, Halbweißmehl und mehlige Tonerde aufgetragen sind.

Aus Abb. 9 ist ferner ersichtlich, daß feingranulierte Produkte sich mit wesentlich geringerem Kraftbedarf fördern lassen als grobgranulierte. Das exakte Erfassen dieser Zusammenhänge wird Gegenstand späterer Berichte sein.

Aus den bisher besprochenen Untersuchungen geht hervor, daß der Kraftbedarf sich gegenüber bisher bekannter Systeme um das zirka Fünffache reduzieren läßt, sofern das Mischungsverhältnis entsprechend groß gewählt werden kann.

Die Dimensionierung industrieller Anlagen hat im Hinblick auf

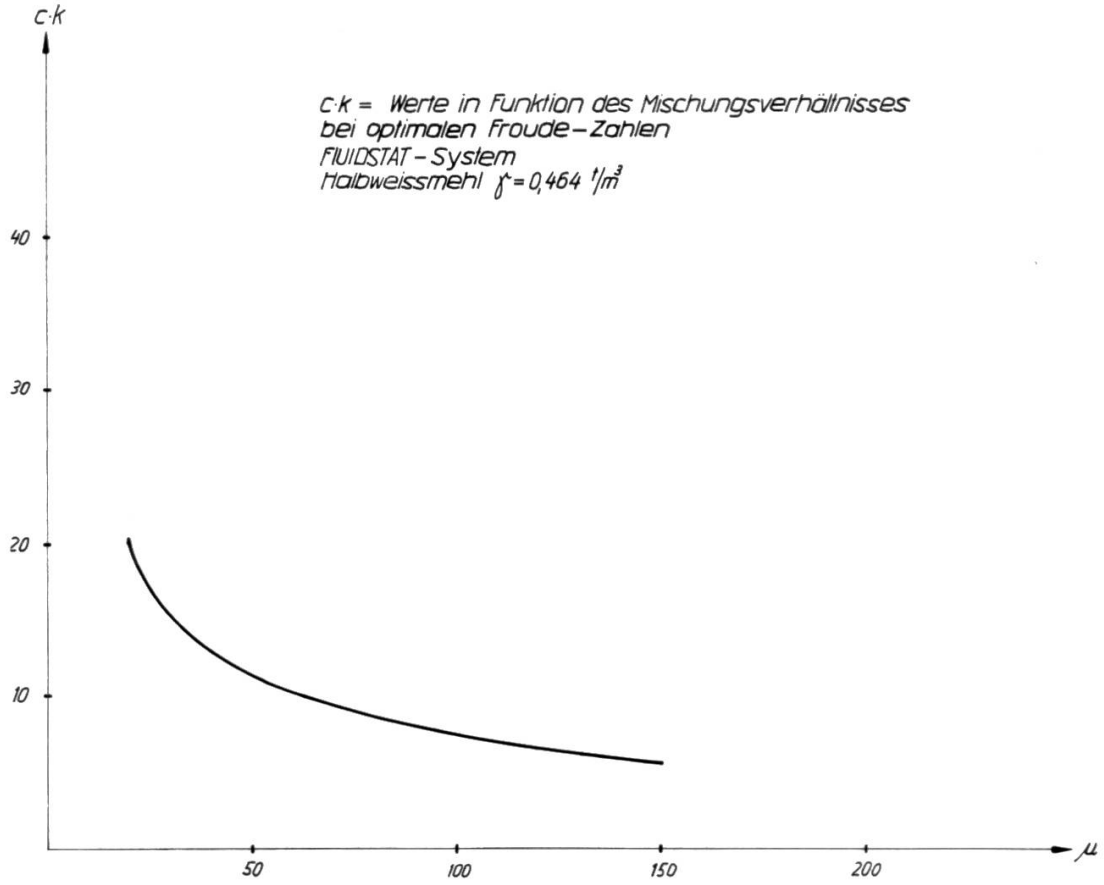

c·k
c·k = Werte in Funktion des Mischungsverhältnisses
bei optimalen Froude-Zahlen
FLUIDSTAT-System
Halbweissmehl γ = 0,464 l/m³
40
30
20
10
50
100
150
200
μ

Abb. 8

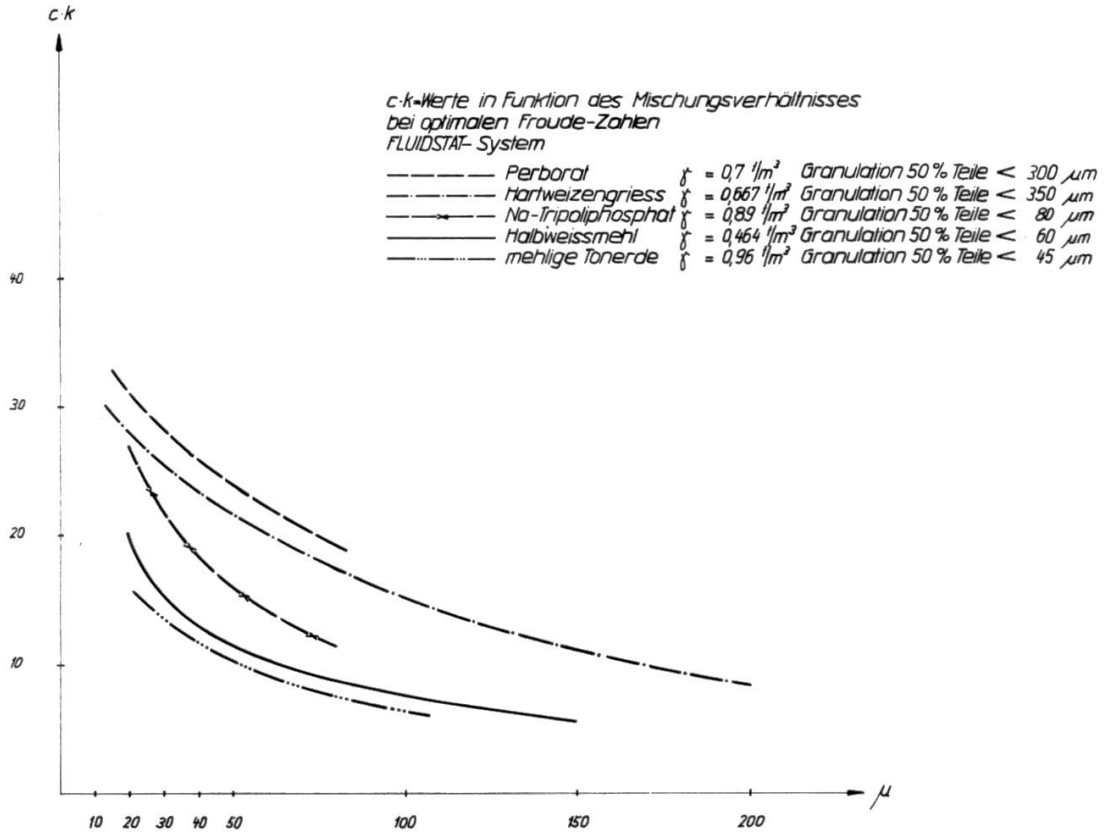

c·k
c·k-Werte in Funktion des Mischungsverhältnisses
bei optimalen Froude-Zahlen
FLUIDSTAT-System
Perborat γ = 0,7 l/m³ Granulation 50 % Teile < 300 μm
Hartweizengriess γ = 0,667 l/m³ Granulation 50 % Teile < 350 μm
Na-Tripolyphosphat γ = 0,89 l/m³ Granulation 50 % Teile < 80 μm
Halbweissmehl γ = 0,464 l/m³ Granulation 50 % Teile < 60 μm
mehlige Tonerde γ = 0,96 l/m³ Granulation 50 % Teile < 45 μm
40
30
20
10
10
20
30
40
50
100
150
200
μ

Abb. 9

Investitionskosten, Betriebskosten und Unterhaltskosten ein Optimum anzustreben.

Da der maximale Betriebsdruck von preislich vertretbaren Kompressoren sowie rationellen Einschleusaggregaten bestimmt wird, Förderkapazität, Förderdistanz und Schüttguteigenschaften gegeben sind, ist ein Mischungsverhältnis zu wählen, welches diesen industriellen Gegebenheiten Rechnung trägt.

Praktisch gesehen kann je nach Produkteigenschaften die Luftmenge verglichen mit heute bekannten Fluidlift-Systemen um 40 bis 60 % reduziert werden, ohne den Betriebsdruck nennenswert erhöhen zu müssen. Dies bedeutet wesentliche Einsparungen an Energiekosten, hauptsächlich bei Systemen mit großen jährlichen Betriebsstunden.

Wo Filter notwendig sind, kann die Filterfläche entsprechend reduziert werden, was sich nicht zuletzt auch auf die Gebäudekosten noch wesentlich auswirken kann.

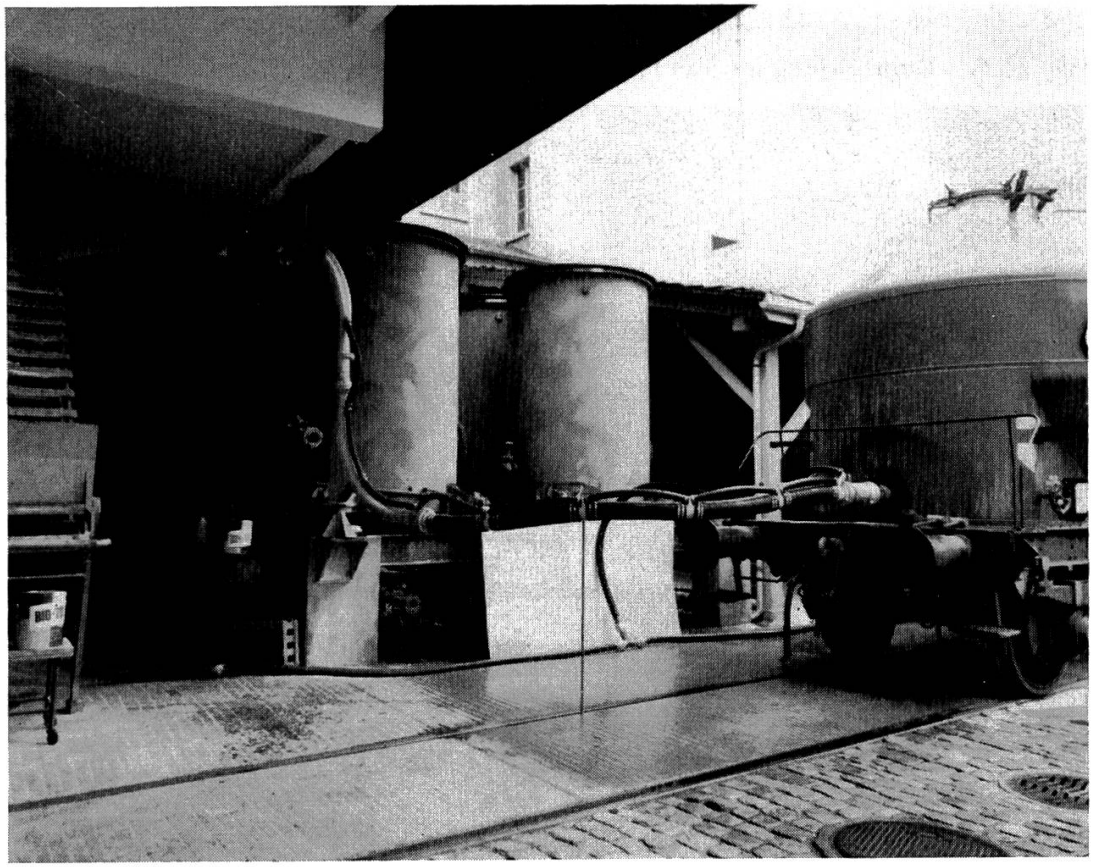


Abb. 10 Bypaßrohrleitung an Druckbehälterwaggon angeschlossen. Am Boden verlegt die Zufuhrleitung der Druckluft (2 atü) zu Druckbehälter und Ringdüse.

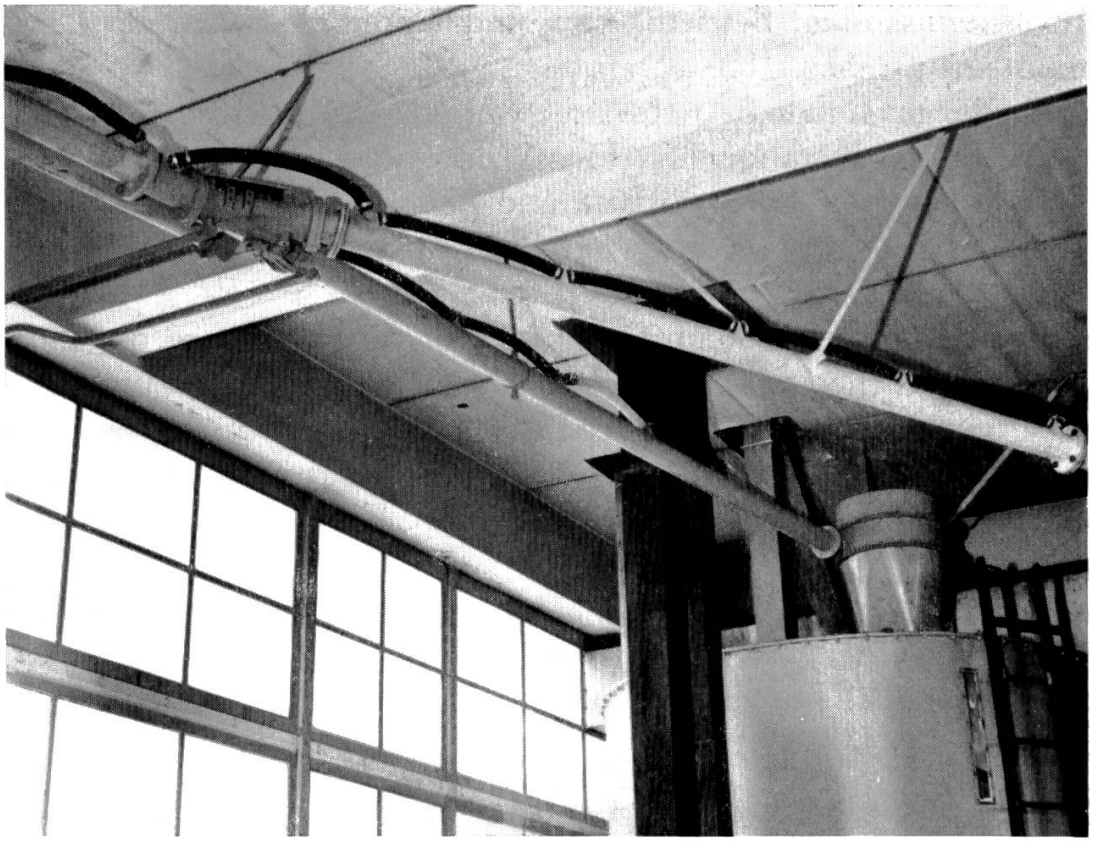
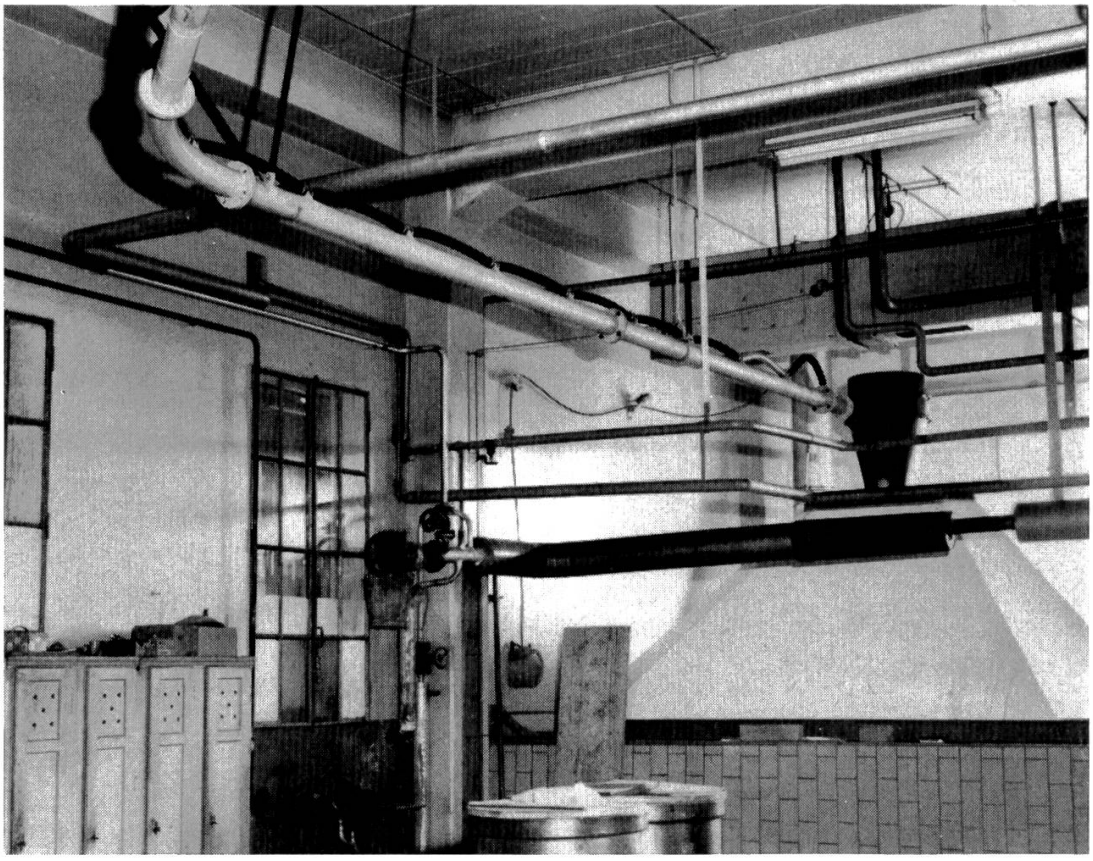


Abb. 11, 12 Rohrführung mit Rohrweiche und Verzweigung auf zwei verschiedene Silos.



Die Reduktion der Fördergeschwindigkeit wirkt sich aber auch positiv auf den Verschleiß der Förderrohre aus, insbesondere bei abrasiven Produkten wie Zement, Tonerde, Feldspat, Dolomit, Eisenoxyd usw.

Zusätzlich ist die schonende Produktbehandlung während des Transports zu erwähnen. So wurde bei der Förderung von Kristallzucker der Anteil des Abriebs bezogen auf Teile unter 20 μm um das zirka Dreißigfache reduziert.

Besondere Möglichkeiten ergeben sich auch im Umbau bestehender Anlagen, wo insbesondere bei Druckbehälter-Waggonentladeanlagen unter Beibehaltung bestehender Gebläse und Motoren durch Austausch der Förderleitungen die Förderleistungen gesteigert werden können.

Druckbehälter-Waggonentladeanlage für Na-Tripoliphosphat

Förderdistanz	50 m
Leistung	25 t/h

In dieser Anlage wurde unter Beibehaltung des bestehenden Kompressors und Motors die Förderleistung von 12 t/h auf 24 t/h gesteigert, durch Lieferung einer neuen Rohrleitung mit Bypaß.

Adresse des Verfassers:
W. Flatt
Masch.-Ing. ETH / SIA
Uzwil / Schweiz