Hartwig Straub

Filterabscheidung zur Entstaubung der Förderluft

Physikalische Gesetze und Grundlagen sind keine Geheimnisse der Natur, sondern schlichtweg Gegebenheiten der Natur. Wir entlocken der Natur keine Geheimnisse, sondern lernen durch Versuche und Beobachtungen, die Geheimnisse zu erkennen.

Die Auslegung von Filterapparaten erfordert viel Erfahrung. Umfangreiche Arbeiten zu diesem Thema hat Prof. Löffler veröffentlicht. Er weist in seinen Schriften darauf hin, daß eine Vorausberechnung von Filtern nach dem derzeitigen Stand des Wissens noch nicht möglich ist.

Wir sind auf die Erfahrungen im Zusammenwirken der verschiedenen Einflußgrößen angewiesen.

Eine gute Hilfestellung und Zusammenfassung der Erfahrungen ist in der VDI 3677 (Filternde Abscheider) niedergelegt.

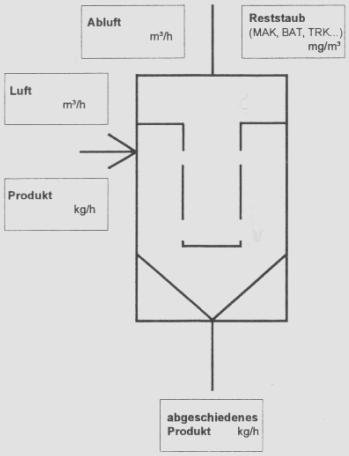


Abbildung 1

■ Aufgabenstellung

Bei pneumatischen Förderungen hat der Abscheider zwei Aufgaben:

1. Zurückhalten und Abscheiden des Produktes
2. Durchlassen der Förderluft

Hierin liegt die gegensätzliche Aufgabenstellung; wo Luft durchdringt, kann auch Staub durchdringen. Dies ist die Ursache des Reststaubes *(Abb. 1)*.

■ Abscheider

Die ersten Abscheideverfahren waren Absetzkammern. Die produktbeladene Luft wird in einen großen Raum gefahren, dadurch verringert sich die Luftgeschwindigkeit, und der Schüttgutpartikel fällt einfach aus.

Eine Weiterentwicklung der Absetzkammer war der Zyklon. Hier wird mit hoher Geschwindigkeit (ca. 20 m/s) mittels Fliehkraft der Schüttgutpartikel abgeschieden. Die Abluft wird nach oben mit einem relativ großen Reststaubanteil abgegeben.

Im Laufe der weiteren technischen Anwendungen wurden dann die filternden Abscheider entwickelt. Zunächst waren dies alles Speicherfilter, man konnte diese Filter so lange beaufschlagen, bis sie luftundurchlässig waren. Danach mußten sie gereinigt oder durch neue Sternfilter ersetzt werden.

Im Laufe der Zeit hat man dies dann automatisiert, indem man diese Filter mittels Vibrationen abreinigte. Diese Abreinigungsmethoden sind in vielen industriellen Anwendungen nicht ausreichend, so daß es zur Entwicklung von durckluftabgereinigten Filtern kam, die man im Dauerbetrieb einsetzen kann. Die Funktionsweise ist, daß sequentiell immer eine Restfläche im gleichen Apparat zur Verfügung steht. Hier gibt es die unterschiedlichsten Luftabreinigungen, z.B. Umkehrung des Gebläses; bei pneumatischen Förderungen hat sich jedoch die Druckluftabreinigung durchgesetzt.

Beim Einsatz einer Druckdifferenzsteuerung kann die Standzeit verlängert und der Druckluftbedarf verringert werden. Die rasante Entwicklung der Elektronik hat es ermöglicht, daß heute nahezu jeder zweite Filterapparat mit Druckdifferenzsteuerung ausgestattet ist *(Abb. 2)*.

Abbildung 2

Es gibt unterschiedliche Schüttgüter und unterschiedliche Verfahren. Um allen gerecht zu werden, kann es erforderlich sein, unterschiedliche Filtermedien einzusetzen.

Das Apparateteil, das die Abscheideleistung, d.h. die Trennung von Produkt und Luft übernimmt, ist in der VDI 3677 als Filterelement beschrieben. Dieses Filterelement besteht aus einem Filtermedium und ggfs. einer Stützkonstruktion.

Die ersten Filterelemente waren Gewebeschläuche. Im Laufe der Entwicklung kam dann das Taschenfilter. Das Taschenfilter hatte den Vorteil, viel Filterfläche auf wenig Raum unterzubringen; allerdings auch den Nachteil, daß das Verhältnis zwischen Sinkgeschwindigkeit des Partikels und der Steiggeschwindigkeit im Filter sich wesentlich erhöht. Eine weitere Entwicklung war das Patronenfilter, das aus dem Nutzfahrzeugbau (Luftfilter) übernommen wurde. Dieses Patronenfilter hat den Vorteil, daß viel Filterfläche auf geringstem Raume untergebracht werden kann. Auch hier gilt die Einschränkung, daß je nach Faltenzahl die zur Verfügung stehende Filterfläche sich verkleinert. Dies ist ganz deutlich zu sehen, wenn Sie einen solchen Patronenfilter abwikkeln und die Verschmutzungsstreifen erkennen. Dieses Muster gleicht einem Zebrastreifen.

Um die Größe des Filterapparates auf ein vertretbares Volumen zu bringen, wurde das ts-Sternfilter entwickelt. Das Sternfilter erlaubt eine sehr kompakte

Bauweise bei optimierten Geschwindigkeiten im Filterapparat *(Abb. 3)*.

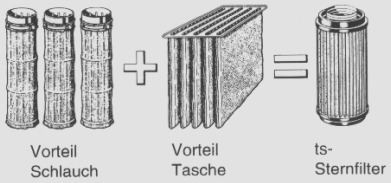


Abbildung 3

In der Fördertechnik gibt es die Kennziffer "μ", die ausdrückt:
Fördermenge des Gutes im Verhältnis zur Fördermenge des Gases. Diese Verhältniszahl läßt eine Klassifizierung in verschiedenen Förderarten zu *(Abb. 4)*.

$$\mu = \frac{\dot{G}_s}{\dot{G}_f}$$

μ = Gutbeladungkennziffer
G_s = Gutfördermenge [kg/h]
G_f = Fördergasmenge [kg/h]

Abbildung 4

Dünnstromförderung
(stationäre Flugförderung) $\mu < 30$

Dichtstromförderung
(instationäre Pfropfenförderung) $\mu > 30$

Dichtstromförderung
(stationäre Fließförderung) $\mu >> 30$

Eine ähnliche Kennziffer läßt sich zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit des Filterapparates einführen. Hier setzt man die Steiggeschwindigkeit der Luft im Filterapparat ins Verhältnis zur Sinkgeschwindigkeit des Schüttgutpartikels bzw. des Schüttgutagglomerates. Die Vorgänge im Filterapparat sind mit der Flugförderung zu vergleichen *(Abb 5)*.

$$K_{Fi} = \frac{V_{st}}{V_{si}}$$

K_{Fi} = Kennziffer Filter
V_{st} = Steiggeschwindigkeit der Luft im Filterapparat [m/s]
V_{si} = Sinkgeschwindigkeit des Schüttgutpartikels [m/s]

Abbildung 5

■ Anwendungstechnik

Heute werden immer feinere Schüttgüter hergestellt, teilweise mit einer Korngröße von 0,001 mm. Früher betrug die Korngröße 0,1 mm und darüber. Die Schüttguteigenschaft wird in der ISO-Norm 3435 definiert.

Dies stellt an Filterhersteller zusätzliche Anforderungen. Es kommt nicht nur auf das Filtermedium an, sondern auch auf die Behandlung und Steuerung des Filterapparates.

Die Sinkgeschwindigkeit des Staubes ist eine Größe, die beim Auslegen des Filterapparates nicht mehr unberücksichtigt bleiben kann. Provokativ: Es kommt eher auf den Filterapparat und dessen Steuerung an, als auf die Auswahl der Filtermedien. Das Filtermedium ist heute eher ein Regulativ für die Eigenheit des Staubes.

Einen wesentlichen Einfluß auf das Abscheideverfahren hat die Förderluft. Luft läßt sich leicht komprimieren, deshalb ist die Luftmengenregulierung eine zusätzliche Schwierigkeit.

Am Beispiel einer Tankwagenentleerung läßt sich dies deutlich darstellen. Die Erfahrung zeigt, daß auf Silos durchaus 3 m² Filterfläche ausreichend sind, wenn die Luftmenge unter Kontrolle gehalten werden kann. Bei vielen Tankwagenentleerungen wird mit maximalem Druck der Tankwagen leergeblasen. Bei dieser Entleerung bilden sich Brücken im Tankwagen. Brechen die Brücken ein, kommt es zum Luftschwall, was zu einer wesentlichen Erhöhung (5fach) der Luftmenge führt. Die Anströmgeschwindigkeit auf das Filtermedium wird zu hoch und führt zum Kollabieren und Zusetzen des Filtermediums. Ist auf dem Silo keine Überdruckklappe vorgesehen, kann es zum Aufreißen des Silos kommen.

Die neuesten Technologien im Tankwagen, sowie die richtige Unterweisung des Bedieners des Tankwagens erlauben, daß die Schwalluft etwa zwischen 2 und 3 liegt.

Bei nicht sorgfältiger Handhabung des Tankwagens kann sie durchaus bis zum 6fachen betragen. Dies provoziert dann die Öffnung der Überdruckklappe und somit ein Abblasen ins Freie. Wenn die Sicherheitsvorrichtungen eingebaut sind, schließt das Quetschventil zum Abbau des Überdruckes.

Bei einer Förderleitung NW 80 werden ca. 400 m³/h gefiltert und bei einer Förderleitung NW 100 ca. 650 m³/h. Hierzu eine Druckverlaufskurve *(Abb. 6)*.

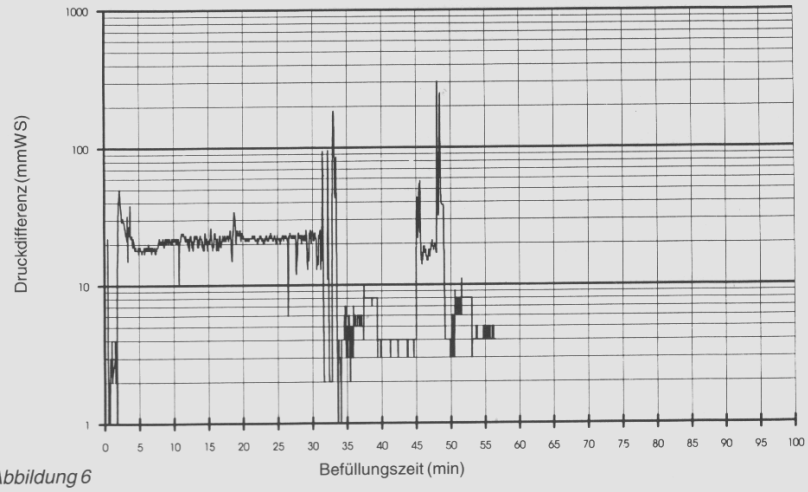


Abbildung 6

Als Silofilter werden heute zwei Systeme eingesetzt. Eines mit einer mechanischen Abreinigung; das andere mit einer elektropneumatischen Druckluftabreinigung. Die Filterfläche muß ausreichend dimensioniert sein. Mit einer Druckluftabreinigung kann man die Filterfläche verkleinern *(Abb. 7 u. 8)*.

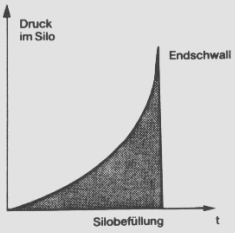


Abbildung 7

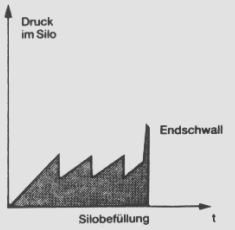


Abbildung 8

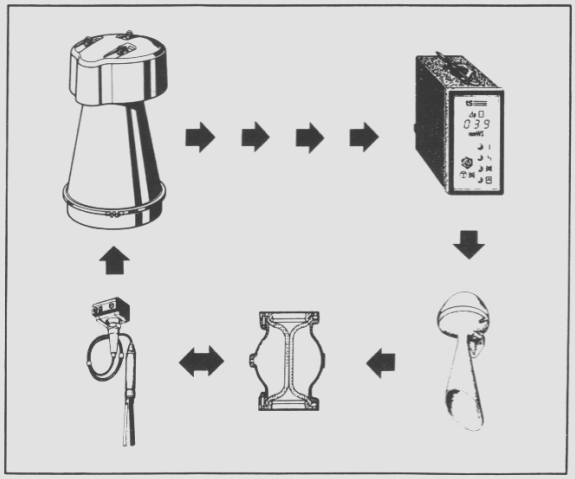
Im Anlagenbau ist der Trend zur vollautomatischen Anlage deutlich spürbar. Aus diesem Grunde wurde die vollautomatische Silobefüllung entwickelt.

Bei der vollautomatischen Silobefüllung wird der Druck im Silo permanent gemessen und mit Sollwerten verglichen. Steigt der Druck zu hoch, wird blitzartig ein Quetschventil geschlossen, so daß der Druckschwall sich nicht erhöhen und über das Filter abbauen kann. Die Überfüllung des Silos wird mittels eines Vollmelders verhindert, dieser schließt bei Vollmeldung ebenfalls das Quetschventil und betätigt das Signalhorn.

Ist die Silobefüllung beendet, wird das Filter automatisch nachgereinigt und das Quetschventil geschlossen. Das Quetschventil kann von der Schaltwarte aus wieder geöffnet werden. Das hat den Vorteil, daß ein Silo nur dann befüllt werden kann, wenn der Anlagenführer es freigibt; so kann man Falschbefüllungen vermeiden *(Abb. 9)*.

Silofilter mit Druckluftabreinigung und vollautomatischer Prozeßsteuerung zur Entstaubung der Förderluft

Meldesteuermodul MSM-2 mit Überwachungsanzeigen zum Einbau in der Schaltwarte



Vollmelder für Vollmeldung (Vollmeldung an Prozeßsteuerung)

Füllventil zur automatischen Förderunterbrechnung bei Überdruck oder mit Zeitverzögerung nach der Vollmeldung

Signalhorn für Meldung an den Tankwagenfahrer "Silo voll"

Abbildung 9

■ Prüfmethode

Zur Auslegung von Filterapparaten haben wir eine 3stufige Prüfmethode, bei der versucht wird herauszufinden:

in Stufe 1:

- Wie verhält sich das Schüttgut am Filtermedium?
- Welcher Reststaub ist zu erwarten?
- Läßt sich der Filterkuchen abwerfen?

ts-Sternfilter

Abbildung 10

- Welche Filterhilfsschicht ist notwendig, um einen bestimmten Reststaub zu gewährleisten? *(Abb. 11)*

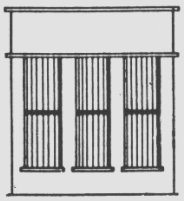
Abbildung 11

in Stufe 2:

- Wie verhält sich unser Sternfilter in Verbindung mit dem Schüttgut? *(Abb. 10)*

in Stufe 3:

- Wie verhält sich das Schüttgut im Filterapparat?



ts-Filterapparat

Abbildung 12

- Wie läßt sich das Produkt aus dem Filterapparat austragen?
- Bei dieser Prüfmethode wird das optimale Verhältnis zwischen Sinkgeschwindigkeit des Schüttgutes und Steiggeschwindigkeit der Luft im Filterapparat herauszufinden versucht *(Abb. 12)*.

■ Staubexplosion

Staubexplosionen kommen selten vor, doch wenn sie auftreten, haben sie meist verheerende Folgen, wie z.B. eine der letzten in der "Rolandsmühle".

In den letzten Jahren wurden intensiv Staubexplosionen untersucht. Die Filterhersteller haben dazu eine druckstoßfeste und druckfeste Bauweise für Filterapparate und alternativ eine Druckentlastungseinrichtung entwikkelt. In vielen Fällen ist eine Druckentlastungseinrichtung ausreichend.

Alle Stäube werden in Staubexplosionsklassen eingeteilt. Die Grafik zeigt die Häufigkeit der Staubexplosionsklasse bezogen auf mehr als 500 untersuchte Stäube *(Abb. 13)*.

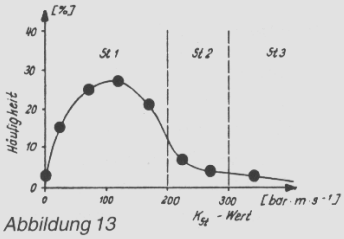


Abbildung 13

Zusammenhang zwischen dem Kst-Wert und der Staubexplosionsklassse

Staubexplosionsklasse	Kst ($\frac{bar \cdot m}{s}$)
St 0	0
St 1	bis 200
St 2	201-300
St 3	über 300

Kst-Werte technischer Feinstäube
Kräftige Zündquelle

Staubart	P_{max} (bar)	Kst-Wert ($bar \cdot m \cdot s^{-1}$)
PVC	6,7- 8,5	27- 98
Milchpulver	8,1- 9,7	58-130
Polyäthylen	7,4- 8,8	54-131
Zucker	8,2- 9,4	59-165
Harzstaub	7,8- 8,9	108-174
Cellulose	8,0- 9,8	56-229
Pigmente	6,5-10,7	28-344
Aluminium	5,4-12,9	16-750

ts-systemfilter war mit der rohgasseitigen Druckentlastung aus mehreren Gründen nicht zufrieden. Wir waren der Auffassung, daß die rohgasseitige Druckentlastung Probleme mit sich bringt. Zum einen wird das zündende Produkt waagerecht weggeschleudert und unter Umständen der Flammenaustritt ebenfalls.

Deshalb hat ts-systemfilter in Zusammenarbeit mit der DMT in Dortmund den Gedanken verfolgt und Versuche gefahren, die Druckentlastung reingasseitig anzubringen. Dies ist gelungen.

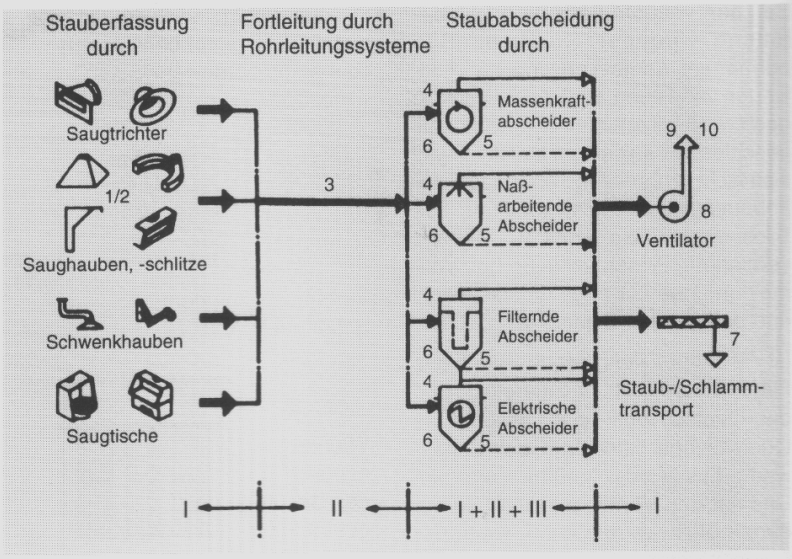
Es besteht keine Gefahr, daß bei zugefahrenem Filter die Druckentlastung reingasseitig nicht anspricht. Im Gegenteil, es hat sich bei den Versuchen ergeben, daß die Sternfilter eine Flammensperre darstellen und der Druckabbau tatsächlich senkrecht nach oben erfolgt. Dies hat den Vorteil, daß die Druckentlastung in vielen Fällen über das Dach ins Freie erfolgen kann, bei seitlicher Druckentlastung muß dies durch die Wand geschehen.

■ Wartung

Ein Filterapparat sollte, wie jedes andere technische Gerät, regelmäßig gewartet und überprüft werden. So wird gewährleistet, daß das Filter jederzeit funktioniert.

Wartungsplan *(Abb. 14)*

1, 2, 3 Messen der Luftgeschwindigkeiten
4 Betriebsdruckdifferenz, (Sollwertmarkierung)
5 Funktionskontrolle der Staub- und Schlammaustragungsorgane
6 Leistungsaufnahme der Nebenantriebe
7 Funktionskontrolle Staub- und Schlammtransport
8 Leistungsaufnahme Ventilator
9 Gesamtvolumenstrom
10 Staub- und Geräuschemmission



I=tägliche Betriebskontrolle, II=monatliche Wartung, III=jährliche Hauptuntersuchung

Abbildung 14

■ Gewährleistung

	Gewährleistungswert	Einheit					Techn. Regel für den Nachweis
Erfassung	Schadstoffkonzentration im Objektbereich	mg/m³	x	•	•	—	ZH 1 / 561 VDI - 2265
	Strömungsgeschwindigkeit V_0 der abgesaugten Luft	m/s	x	x	x	—	DIN 1952
	V_Z	m/s	x	x	x	—	
	V_R	m/s	•	•	•	•	
Ventilator	Absaugvolumenstrom (Ventilatordurchsatz)	m³/h	•	•	•	•	DIN 1945
	Gesamtdruckdifferenz	Pa	•	•	•	•	"
	Antriebsleistung	kW	•	•	•	•	VDE - 0410
	Schallpegel	d B(A)	•	•	•	•	
Abscheider	Leistung der Nebenantriebe	kW	•	•	•	•	VDE - 0410
	Wasserbedarf	l/h	—	•	—	—	VDI - 3679
	Druckluft/Spülluft	m³/h	—	—	•	—	VDI - 3677
		bar	—	—	•	—	"
	Belastung	m³/m²h	—	—	•	—	"
	Betriebsdruckdifferenz	Pa	•	•	•	•	DIN - 1945
Reinluft	Staubkonzentration	mg/m³	•	•	•	•	VDI - 2066
	Staubauswurf	kg/h	•	•	•	•	"
	Temperatur	K	•	•	•	•	DIN - 1953
	relative Feuchte	%	•	•	•	•	"

• = erforderlich, x = erwünscht, — = soweit möglich

Abbildung 15

■ Technische Regelwerke

ISO 3435
Klassifizierung und Symbolisierung von Schüttgütern
VDI 2031
Feinheitsbestimmungen an technischen Stäuben
VDI 2066 Bl. 1
Staubmessungen in strömenden Gasen Gravimetrische Bestimmung der Staubbeladung - Übersicht -
VDI 2066 Bl. 2
Manuelle Staubmessung in strömenden Gasen, Gravimetrische Bestimmung der Staubbeladung - Filterkopfgerät -
VDI 2260
Technische Gewährleistung für Entstauber
VDI 2262
Staubbekämpfung am Arbeitsplatz
VDI 2263
Verhütung von Staubbränden und Staubexplosionen
VDI 2264
Betrieb und Wartung von Abscheideanlagen
VDI 2329
Pneumatische Förderanlagen
VDI 3671
Technische Gewährleistungen für pneumatische Förderanlagen
VDI 3673
Druckentlastung von Staubexplosionen
VDI 3677
Filternde Abscheider
VDI 3926
Prüfung von Filtermedien für Abreinigungsfilter
FEM 2 311
Lagerung von Schüttgütern - Terminologie -
FEM 2 412
Stetigförderer
FEM 2 461
Garantie-Bedingungen für Pneumatische Förderanlagen
FEM 2 481
Spezifische Schüttguteigenschaften bei der pneumatischen Förderung, Definition und Festlegung der Meßverfahren
FEM 2 581
Schüttguteigenschaften

■ Literaturverzeichnis

Bartknecht, W. Explosionen / Staub Explosionen
Springer-Verlag, Berlin,
ISB N 3-540-09894-1 / ISB N 3-540-16243-7

Batel, W. Entstaubungstechnik
Springer-Verlag, Berlin, ISB N 3-540-05649-1

Berufsgenossenschaft Bonn
Staubexplosionen, ISS N 0172-729
Gefährliche Arbeitsstoffe
Dokumentation Staubexplosionen, ISS N 0173-0487

Beth Staubtechnik

Gericke, W. Pneumatische Schüttgutförderer

Gericke, H. Dosieren von Feststoffen

Heinrich, u. a. Luftfiltration
VEB-Verlag Technik, Berlin

Henselder, R. Vorschriften zur Reinhaltung der Luft
ISB N 3-88784-076-3

Löffler, u. a. Staubabscheidung
Vieweg-Verlag, Braunschweig, ISB N 3-528-08566-5

Molerus, O. Fluid-Feststoff-Strömungen
Springer-Verlag, Berlin, ISB N 3-540-11321-5

Schütz, A. BIA-Handbuch
Erich Schmidt-Verlag, Bonn

Selig, H-J. Pneumatische Förder- und Mischverfahren, Krausskopf-Verlag, Mainz

Siegel, W. Pneumatische Förderung
Vogel-Verlag, Würzburg, ISB N 3-8023-0432-2

VDI Filtertechnik, VDI-Verlag, Düsseldorf

VDMA Umweltschutz
Maschinenbau-Verlag, Frankfurt

Warring, R.H. Filters and Filtration
Trade and Technical-Verlag, Morden/England
ISB N 85461-086-3

Weber, M. Strömungs-Fördertechnik
Krausskopf-Verlag, Mainz, ISB N 3-7830-0084-X