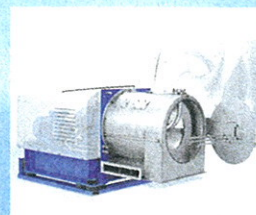
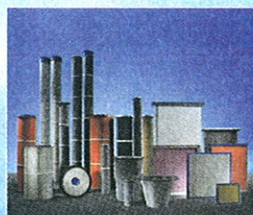
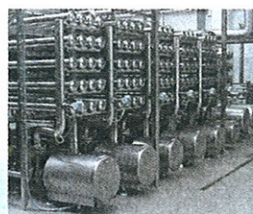
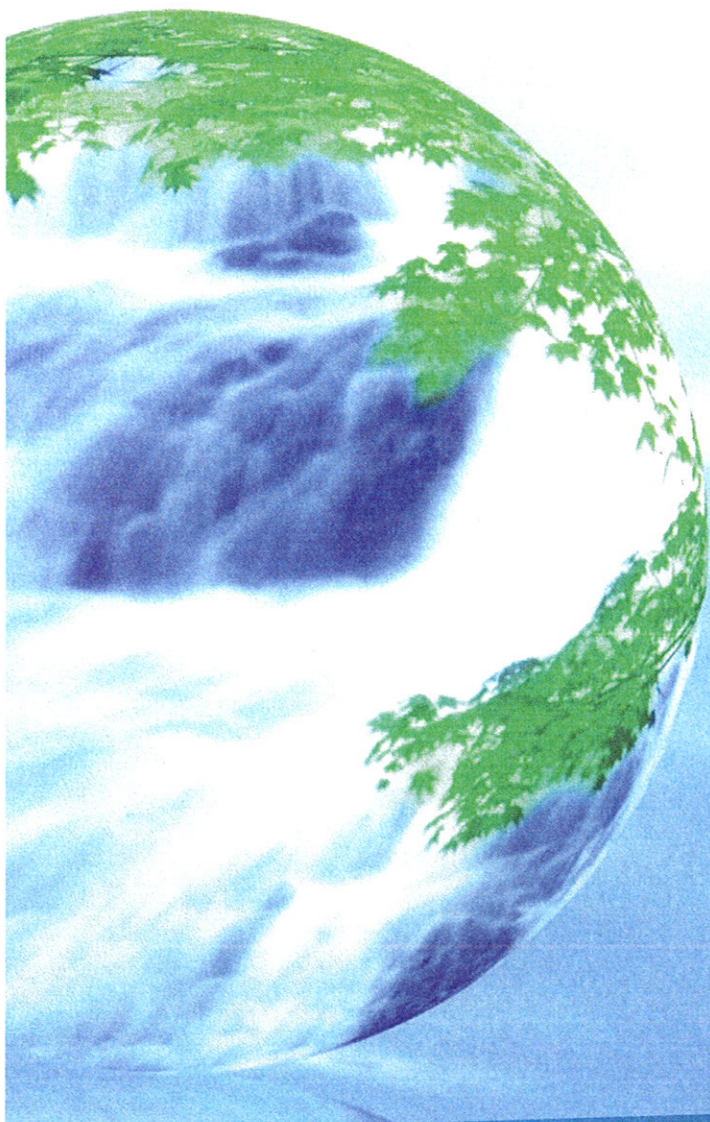




**D 11665 F**  
Special Edition  
Sonderausgabe

€ 27,50

## Global Guide of the Filtration and Separation Industry



# Global Guide 2010 - 2012

Welt-Handbuch der Filtrations- und Separationsindustrie

# Industrielle Entstaubung durch Schlauchfilter

T. Schrooten, A. Kögel, T. Daniel, G.-M. Klein

Filternde Abscheider und insbesondere Schlauchfilter haben sich in der Gasreinigung bei zahlreichen industriellen Prozessen durchgesetzt und gelten als wichtigste Filtergattung zur Abscheidung von Partikeln aus Gasströmen. Als grundsätzlicher Technologievorteil ist die problemlose Einhaltung aktueller Emissionsgrenzwerte in einem einstufigen Prozess – bei höchsten Volumenströmen und Staubbeladungen – zu nennen. Wurden die Filter in früheren Jahren durch Klopfen, Rütteln oder in Kombination mit Niederdruckspülung gereinigt, so haben sich in den letzten Jahrzehnten druckluftabgereinigte Jet-Pulse Schlauchfilter durchgesetzt. Vier Teilbereiche der Evolution der Jet-Pulse Schlauchfiltertechnologie zum aktuellen Entwicklungsstand werden im Folgenden behandelt: Erstens die konstruktive Ausführung der Filtergehäuse, und hier insbesondere die Steuerung der Luftführung während der Filtrations- und Abreinigungsphase; zweitens die Weiterentwicklung der verwendeten Druckluftinjektoren; drittens die Optimierung der Abreinigungssteuerung; und schließlich die Verbesserung der in Schlauchfiltern verwendeten abreinigbaren Oberflächenfiltermedien.

## Einführung

Die älteste Abreinigungsmethode für Schlauchfilter – aber heute noch in mobilen Filter genutzt – besteht aus motorischen oder manuell zu betätigenden Rüttelvorrichtungen. Bei der automatisierten Regenerierung wird zeitabhängig oder bei Erreichen eines maximalen Filterwiderstandes ein Motor gestartet, der das Filterelement in Schwingung versetzt. Bei der sich daraus ergebenden Bewegung löst sich der angelagerte Staubkuchen von der Filteroberfläche und fällt nach unten in einen Staubsammelrumpf (oder –behälter), der in der Regel durch Staubaustragsorgane geleert wird. Die mechanische Abreinigung wird nach Unterbrechung des Filtrationsbetriebs durchgeführt. Die Filterschläuche werden bei der Abreinigung durch Rütteln mechanisch beansprucht und weisen dementsprechend relativ kurze Standzeiten auf. Ein wesentlich schonenderes Abreinigungsverfahren besteht in der periodischen Umkehrung der Strömungsrichtung (Rückspülfilter). Hierbei ist die Filteranlage in mehre-

ren separaten Kammern ausgeführt und wird kammerweise abgereinigt. Vielfach wurde auch die Kombination beider Abreinigungsmethoden realisiert. Seit einigen Jahrzehnten hat sich jedoch das Jet-Pulse-Verfahren (Druckstoßverfahren) weitgehend als Standard durchgesetzt [1-4]. Die Regenerierung der Filtermedien erfolgt durch einen zyklischen, intensiven Druckluftstoß. Dieser versetzt den Filterschlauch bei der Abreinigung kurzzeitig in Überdruck. Die Filterschläuche werden kurz aufgebläht, die Strömungsrichtung umgekehrt und der Filterkuchen abgelöst (Bild 1). In der Filtrationsphase gibt ein Stützkorb dem Schlauch die entsprechende Stabilität. Die Abreinigungszyklen hängen u.a. von der Filterflächenbelastung (Volumenstrom pro Filterfläche und Zeiteinheit), der Gasdichte, der Rohgasbeladung und den Partikeleigenschaften ab. Die Regenerierung kann zeitabhängig oder über festgelegte Filterdifferenzdrücke gesteuert werden.

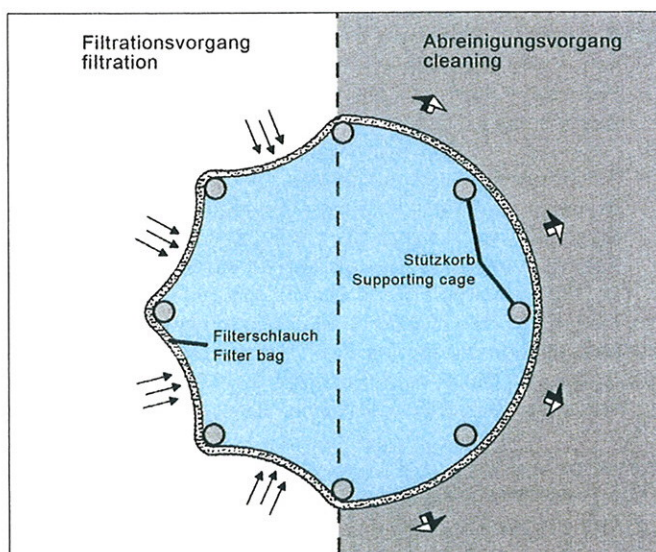


Bild 1: Filtrier- und Abreinigungsstellung eines druckluftabgereinigten, außen beaufschlagten Filterschlauches

## Konstruktive Merkmale moderner Jet-Pulse Schlauchfilter

Das Rohgas wird idealerweise im Kreuzstrom zu den Filterschläuchen geführt, um eine Aufströmung entgegen der Partikelsedimentationsrichtung zu vermeiden. Das Rohgas wird über eine Verteilerplatte gelenkt, an der eine Vorabscheidung stattfindet und der Rohgasstrom im Filtergehäuse vergleichmäßig wird [5]. Die Abscheidung der Partikel findet an der Oberfläche des Filtermediums, bzw. an der Oberfläche des sich darauf abscheidenden Filterkuchens statt. Die entsprechenden Strömungswiderstände resultieren aus den Druckverlusten des Filterkuchens  $\Delta p_{FK}$  und des Filtermediums direkt nach der Jet-Pulse Abreinigung (Restdruckverlust  $\Delta p_0$ ). Das gereinigte Gas strömt nach oben aus dem Schlauch ab. Speziell bei langen Schläuchen (z.B. Schlauchlänge 8 m bei einem Schlauchdurchmesser von 160 mm) und hohen Filterflächenbe-

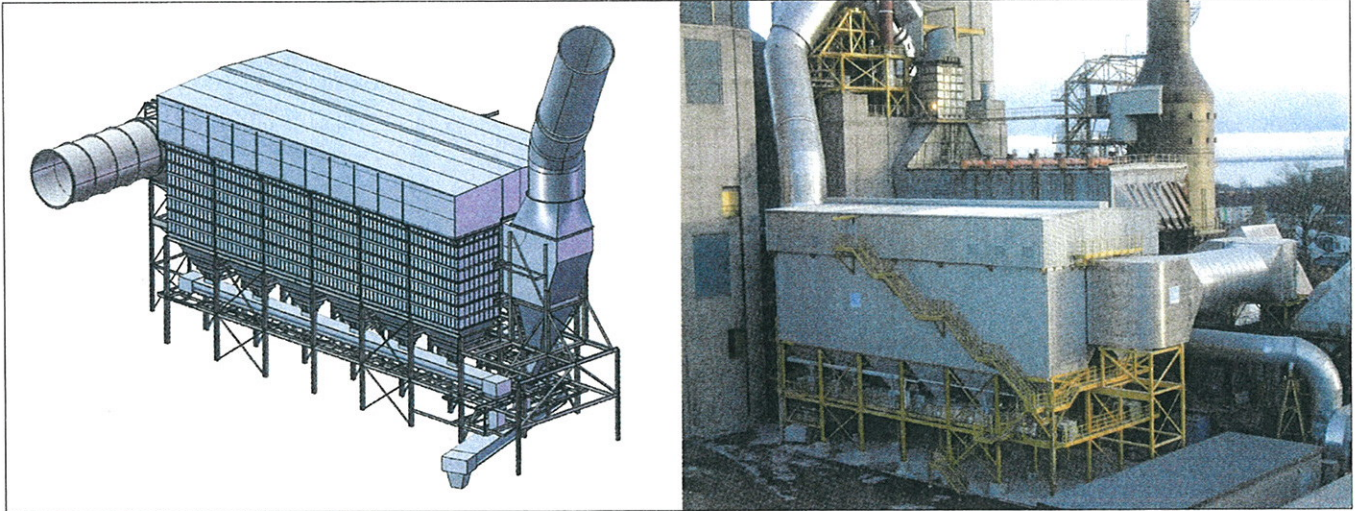


Bild 2: Offline-Schlauchfilter in der Zementindustrie (Intensiv-Filter ProJet mega® 136/36-8000, HeidelbergCement, Cementa AB Slite, Gotland Schweden)

lastungen ist der Druckverlust über den Schlauchboden, d. h. bei Austritt aus dem Schlauch über die Einlaufdüse in den Reingasbereich, ebenfalls von Bedeutung. Dieser und sämtliche weiteren Strömungswiderstände des Filtergehäuses (Rohgaseintritt bis Filterkuchenoberfläche, Reingasströmung ab Schlauchaustritt bis Austritt Reingaskanal) werden im Gehäusedruckverlust  $\Delta p_G$  zusammengefasst. Nach der Abreinigung der Filterschläuche sedimentieren die Staubpartikel in den Staubsammelraum und das Material wird von dort zumeist über Förderschnecken und Zellenradschleusen abtransportiert. In der online Betriebsweise werden die in der Rohgaskammer befindlichen Partikel kontinuierlich anfiltriert. Direkt nach der Jet-Pulse-Abreinigung ist die Partikelkonzentration in der Nähe des Filterschlauchs sehr hoch. In diesem Zustand kommt es, insbesondere bei feindispersen Stäuben mit geringer Agglomerationsneigung, zum Wiederanfiltrieren abgereinigter Partikel. Diese „innere“ Staubzirkulation kann einen erheblichen Anteil an der Filterkuchenmasse verursachen und trägt damit zum Druckverlust bei. Zur Steigerung der Energieeffizienz werden daher Filtermodule durch roh- und/oder reingasseitige Absperrorgane während der Abreinigung in einen strömungslosen Zustand versetzt. In diesem sogenannten offline-Modus (bei alleiniger reingasseitiger Kammerabschaltung semi-offline) wird die sofortige Wiederanlagerung des Staubes an benachbarten Filterschläuchen unterbunden. Als weiterer Vorteil kann die Abreinigung durch einen Druckluftimpuls von wesentlich niedrigerer Intensität als bei konventionellen Jet-Pulse Filtern erfolgen. Aktuelle offline-Schlauchfilteranlagen sind modular aufgebaut und decken einen Volumenstrombereich von 50.000 m<sup>3</sup>/h i.B. bis über 1 Mio. m<sup>3</sup>/h i.B. ab /6-8/. Moderne offline Jet-Pulse Filter weisen strömungsopti-

mierte Komponenten, z.B. wandbündige Rohgasklappen auf und eine mittels CFD strömungsoptimierte Gestaltung der Gasführung im Filter /9/. Bild 2 zeigt exemplarisch den konstruktiven Aufbau einer im November 2009 in Betrieb genommenen offline-Filteranlage in neuentwickelter Modulbauweise mit CFD optimierten Strömungswegen der Rohgaseintrömung und des Filtergehäuses (Verbundfilter zur Entstaubung des Drehrohrofens und der Rohmehlmühle in der Zementindustrie, 1,2 Mio. m<sup>3</sup>/h i.B., Rohgaskonzentration bis 900 g/m<sup>3</sup> i.N., Reingas-konzentration < 10 mg/m<sup>3</sup>).

### Evolution der Injektortechnologien

Das Druckluft-Injektorsystem zur periodischen Regenerierung der von außen nach innen durchströmten Filterschläuche ist für einen energieeffizienten Betrieb von entscheidender Bedeutung. Die Abreinigung hat so zu erfolgen, dass sich der Filterkuchen über die gesamte Schlauchlänge vollständig ablöst. Parallel ist das Zurückschlagen des Mediums auf den Stützkorb („Teppichklopfeffekt“) durch entsprechende Modulation des Druckverlaufs zu minimieren. Viele Injektorsysteme bestehen aus einem Blasrohr mit einfachen Bohrungen, aus denen die Druckluft ausströmt. Durch die nachgeschaltete Venturidüse (Bild 3.1) wird Sekundärluft angesaugt und eine Erhöhung des statischen Drucks im Filterschlauch erzielt. Die Einlaufdüse (Bild 3.2) stellt eine Optimierung mit verminderten Strömungsverlusten dar. Durch Aushalsung der Düsen zu einer „Idealen Düse“ (Bild 3.3) wird eine weitere Effizienzsteigerung bei Umwandlung der Druckluftenergie in einen Abreinigungsimpuls erreicht /7/. Eine sehr effiziente Abreinigungstechnologie stellt der Coanda-Injektor dar /5/. Dieses Abreinigungssystem nutzt den sogenannten Coanda-Effekt, bei dem

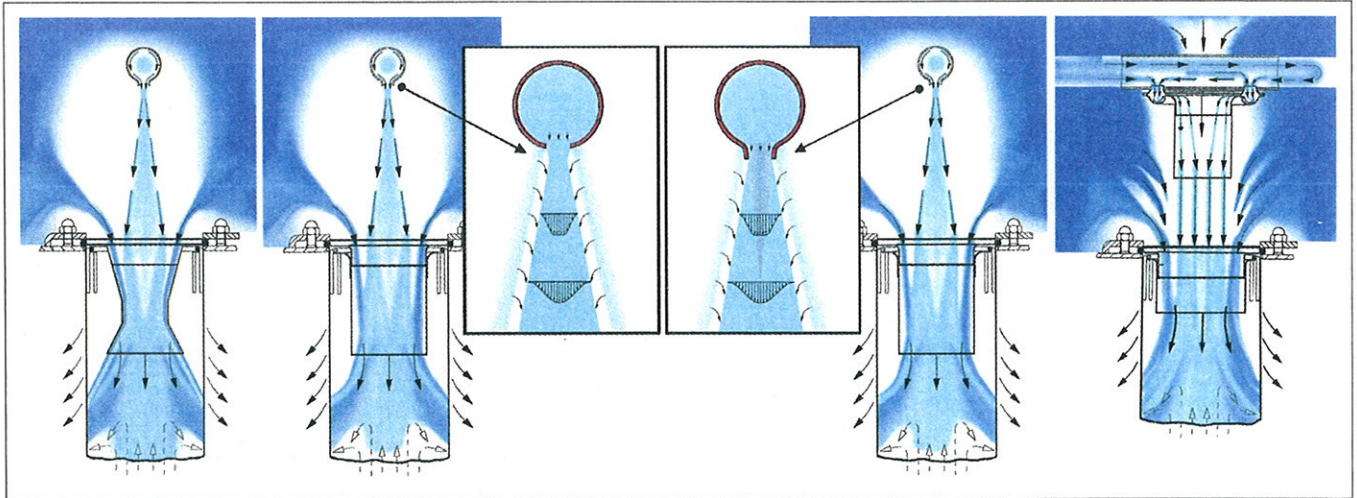


Bild 3: Darstellung unterschiedlicher Druckstoß-Abreinigungssysteme, 1 Blasrohr mit Bohrung und Venturi-Einlaufdüse, 2 Blasrohr mit Bohrung und Einlaufdüse, 3 Blasrohr mit idealer Düse und Einlaufdüse, 4 Blasrohr mit Coanda-Injektor und Einlaufdüse

die Druckluft aus einem Ringspalt austritt und über eine gewölbte Oberfläche geführt wird. Die Primärluft folgt dabei der Grenzschicht, die durch die Geometrie des Coanda-Injektors nicht ablöst. Dabei entsteht innerhalb der ersten Injektorstufe ein extrem hoher Unterdruck, der weitere Sekundärluft ansaugt und einen Treibstrahl ausbildet, der gegenüber den zuvor beschriebenen Varianten eine deutlich erhöhte Luftmenge aufweist (Bild 3.4). Dieser Treibstrahl tritt in die Einlaufdüse als zweite Injektorstufe ein, in der weitere Sekundärluft angesaugt wird. Ein Benchmark der beschriebenen Systeme auf Basis des mit piezoresistiven Drucksensoren gemessenen, lokalen effektiven Schlauchinnendrucks belegt, dass mit dem Coanda-Injektor bei Tankdrücken von 0,2 bis 0,5 MPa im Vergleich zu allen anderen Injektoren immer der maximale Druckstoß erzielt wird /8/.

#### Optimierung der Abreinigungssteuerung

Die Abreinigungssteuerung erfolgt heute über Mikroprozessortechnik und Feldbussysteme. Neben der Steuerung der Membranventile werden die pneumatisch oder elektrisch betätigten Roh- und Reingasklappen angesteuert und Signale von Feldsensoren, z.B. „broken-bag Wächtern“, verarbeitet. Bei Taktung der Druckstöße wird zwischen einer festen Zeitsteuerung und der Differenzdrucksteuerung mit variablen Zykluszeiten unterschieden. Mit der kontinuierlichen Regelung des Tankdrucks des Druckluftspeichers liegt ein weiterer Steuerungsparameter vor, mit dem eine bedarfsgerechte Abreinigung vorgenommen werden kann. Über die kontinuierliche Anpassung des Abreinigungsdrucks wird der Druckluftbedarf den jeweils vorherrschenden Betriebsbedingungen angepasst /8/. Als Regelgröße der sogenannten vordruckgeregelten Abreinigung dient der Filterdifferenzdruck. Bild 4

zeigt die Regelcharakteristik der vordruckgeregelten Abreinigung. Die Betriebsdaten der Entstaubungsanlage werden bei minimalem Druckluftbedarf im gewünschten Betriebspunkt gehalten und es wird eine Vergleichmäßigung des Staubanfalls sowie eine bessere Ausnutzung der Kapazität der Staubaustragsorgane erzielt. Parallel können durch die geringere mechanische Belastung der Filterschläuche die Serviceintervalle der Filteranlage verlängert werden.

#### Verbesserte Schlauchfiltermedien mit reduziertem Druckverlust

Der Druckverlust von Filtermedium und angelagertem Filterkuchen hat den mit Abstand größten Anteil an den Energiekosten, die zum Betrieb der Filteranlage anfallen. Aktuelle Entwicklungen zielen auf die Reduzierung des Restdruckverlusts  $\Delta p_0$  und die Reduzierung des Druckanstiegs in der ersten Phase der Filtration (Phase mit nichtlinearem Druckanstieg vor Einsetzen der reinen Kuchenfiltration /10-11/). Das Ergebnis dieser Entwicklungen sind neue Filtermedien, die zwischen Stützgewebe und Rohgasseite Mikrofasern mit einem Titer  $\leq 1,5$  dtex aufweisen, die so angeordnet sind, dass sich ein minimaler Restdruckverlust sowie in der ersten Filtrationsphase nach der Druckstoßabreinigung ein nahezu linearer Verlauf der Druckverlustkurve einstellt /12/. Untersuchungen nach VDI 3926 Blatt 1 belegen die Vorteile dieser neuen Filtermedien gegenüber heute verwendeten Nadelvliesen und Nadelvliesen mit auflaminierter ePTFE-Membran. Deutlich kostenintensivere Filtermedien mit ePTFE-Membran zeigen zwar ebenfalls einen geringen Druckgradienten im Druckverlustverlauf, beginnen jedoch mit einem sehr hohen Restdruckverlust, der auf die sehr geringe Porenweite der Membran und irreversible Staubeinlagerungen in der Membran zurückzu-

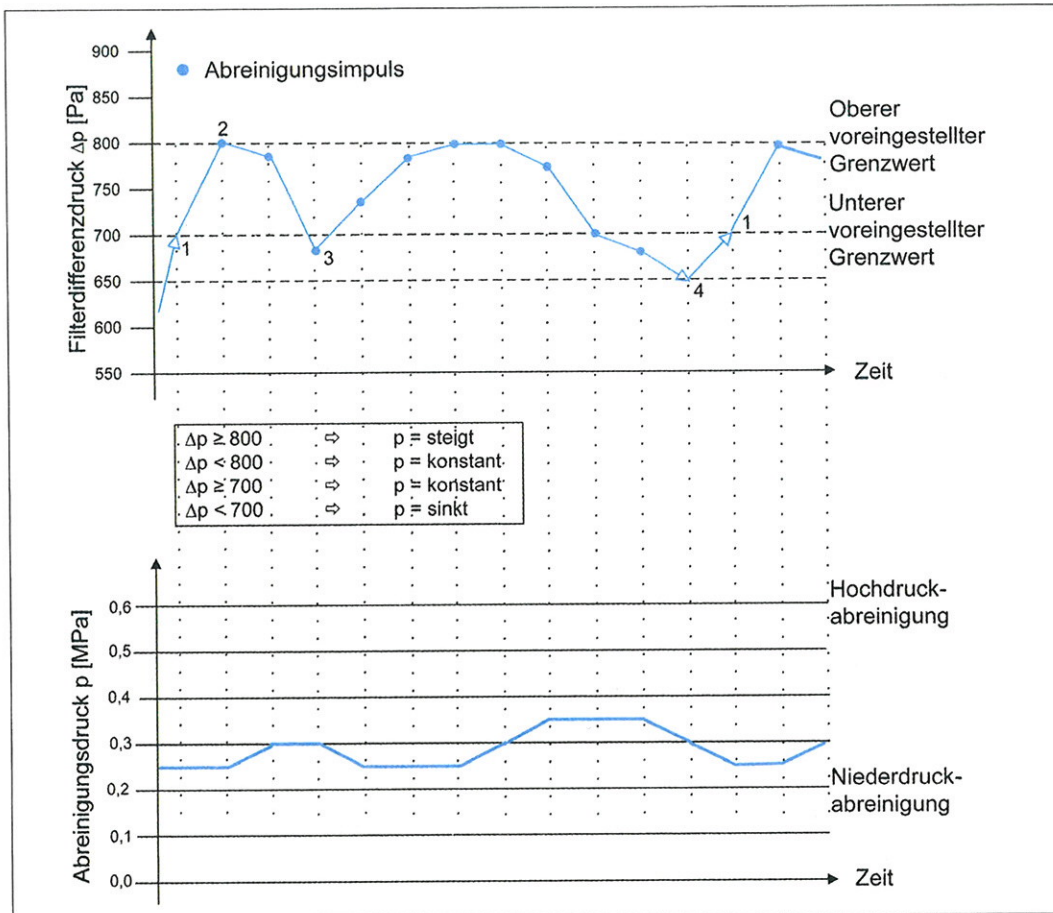


Bild 4: Regelcharakteristik der vordruckgeregelten Abreinerung

führen ist. Konventionelle Nadelvliese und Mikrofaser-Nadelvliese weisen im Unterschied hierzu geringe Restdruckverluste auf, haben jedoch eine hohe Steigung der Druckverlustkurve direkt nach der Abreinerung, so dass am Ende des Zyklus etwa das Druckniveau der ePTFE-Membran erreicht wird. Validierungsversuche im halbtechnischen Maßstab (Filteranlage mit 10 Schläuchen,  $D = 160$  mm,  $L = 4000$  mm) belegen, dass mit mikrofaserbasierten Filtermedien im Vergleich zu konventionellen Nadelvliesen und Nadelvliesen mit

Mikrofaserbeimischungen das Differenzdruckniveau halbiert werden kann (Bild 5). Eine weitere Senkung des Druckverlustes zwischen Roh- und Reingasseite gelingt durch die Optimierung der Zykluszeiten. Da mikrofaserbasierte Filtermedien sehr hohe Feinstaub-Abscheidegrade aufweisen, kann die Zykluszeit - ohne Inkaufnahme eines erhöhten Staubburchgangs direkt nach der Druckstoßabreinerung - verkürzt werden. Bei einer Verkürzung der Zykluszeit von bisher üblichen 300 s auf 100 s erreichen

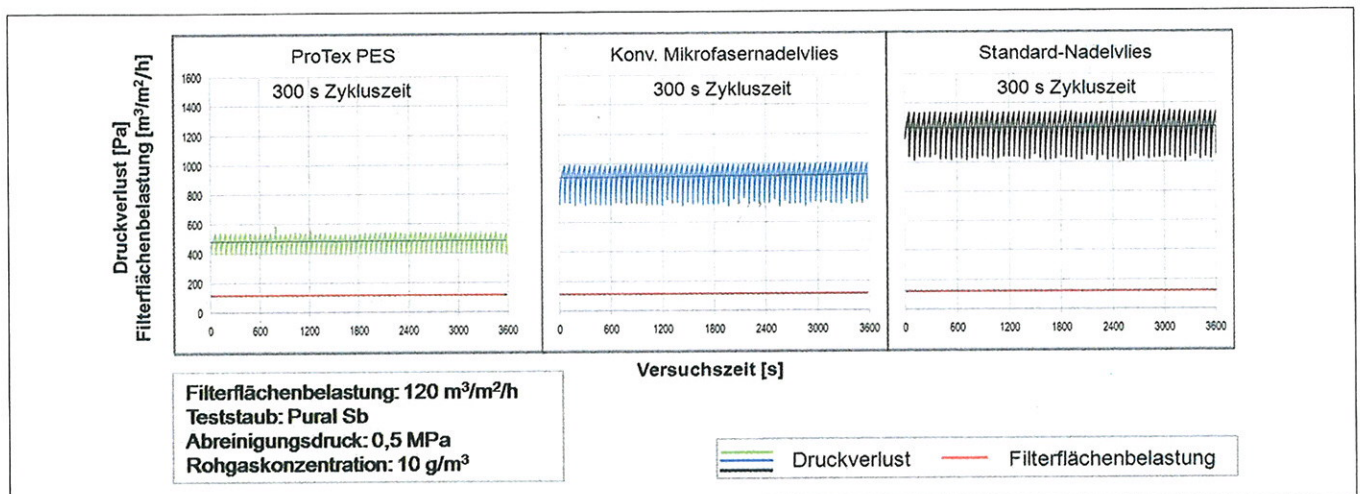


Bild 5: Differenzdrücke zwischen Roh- und Reingasseite, verschiedene Filtermedien, 10-Schlauch-Technikumsanlage

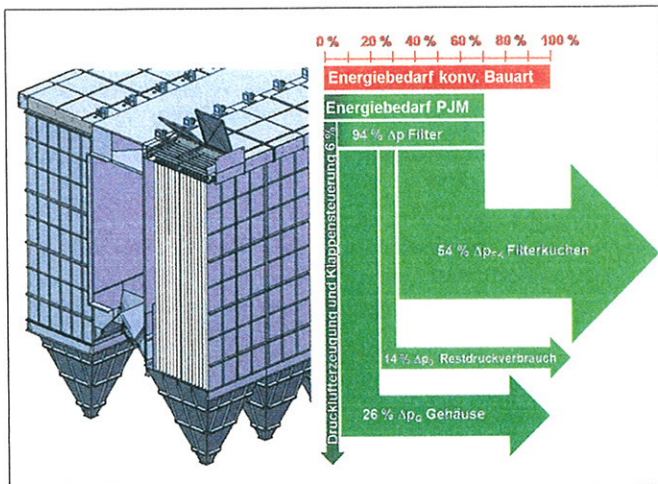


Bild 6: Konstruktiver Aufbau und Energieflussbild ProJet mega® in offline Betriebsweise, 8 m Schlauchlänge

mikrofaserbasierte Filtermedien eine Reduktion des mittleren Differenzdruck um den Faktor 4 gegenüber dem bisherigen Stand der Technik /12/ erreicht.

### Leistungsdaten moderner Schlauchfilteranlagen im online und offline Betrieb

Mit den beschriebenen evolutionären Verbesserungen der Jet-Pulse Filtertechnologie wurde insbesondere die Energieeffizienz gesteigert. Im Vergleich zu konventionellen Ausführungen konnte der Energiebedarf von Filteranlagen, die nach dem beschriebenen aktuellen Stand der Technik ausgeführt sind (offline-Betrieb, moderne Injektorsysteme, bedarfsgerechte Abreinigungssteuerung) um 30 % reduziert werden (Bild 6). Weitere Reduzierungen der Energiebedarfe bei gleichzeitig gesteigerten Abscheidegraden werden bei Verwendung der oben beschriebenen speziellen mikrofaserbasierten Schlauchfiltermedien erzielt /13-14/. Insgesamt erreichen bzw. unterschreiten moderne Jet-Pulse Schlauchfilter heute die Betriebskosten von Elektrofiltern – bei geringeren Investitionskosten und besseren Leistungsdaten (Abscheidegrade und erreichbare Reingaskonzentration).

### Literaturverzeichnis

- /1/ Meyer zu Riemsloh, H.: Abreinigung von Faserstofffiltern unter Druckluft. Zement-Kalk-Gips 31 (1978) Nr. 7, 355-359.
- /2/ F. Löffler: Staubabscheiden. G. Thieme Verlag, Stuttgart-New York (1988).
- /3/ Entstaubungstechnik, Filtermedien. Intensiv-Filter Taschenbuch, Intensiv-Filter GmbH & Co. KG (Hrsg.), 3. Auflage (1989).

- /4/ Schmidt, E.: Gasreinigung. CIT 79 (2007), Nr. 11, 1883-1892.
- /5/ Meyer zu Riemsloh, H., Kordas, F.: Entstaubung großer Abgasvolumenströme mit filternden Abscheidern. Aufbereitungstechnik 33 (1992) Nr. 12, 673-683.
- /6/ Esser, R.: Kiln bag filter conversion at Dyckerhoff Zement's Geseke plant. Global Cement Magazine July-August 2008, 7-9.
- /7/ Esser, R., Schrooten, T.: Performance conversion. ICR (International Cement Review) Februar 2009.
- /8/ Klein, G.-M., Schrooten, T., Neuhaus, T., Kräbs, R.: Energieeffiziente Jet-Pulse-Entstaubungsanlagen, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 69 (2009) Nr. 5, 199-204.
- /9/ Schrooten, T., Esser, R., Knop, K., Kögel, A., Klein, G.-M.: Optimizing plant components using flow simulations. ZGK (Zement Kalk Gips) International 62 (2009), Nr. 6/7, 48-53.
- /10/ Gäng, P.: Prüfung und Auswahl von Filtermedien für Abreinigungsfilter zur Entstaubung, Teil 1: Standardtest im Labor nach VDI/DIN 3926, F&S Filtrieren und Separieren, Jahrgang 22 (2008) Nr.2
- /11/ Schubert, J., Mausnitz, G., Höflinger W.: Clogging mechanisms involved in the aging of cleanable filter media. Filtech 2009, Conference Proceedings Vol.II, 341-348, Wiesbaden, Germany, October 2009.
- /12/ Klein, G.-M., Neuhaus, T., Bai, P., Schrooten, T., Daniel, T.: Verminderung der durch die Partikelablagerung verursachten Druckverluste in industriellen Schlauchfiltern. F&S Filtrieren und Separieren, Jahrgang 23 (2009) Nr. 3, 134-139.
- /13/ Klein, G.-M., Schrooten, T., Neuhaus, T., Esser, R., Ott, F., Daniel, T.: Enhanced energy efficiency solutions for industrial baghouse filters. Filtech 2009, Conference Proceedings Vol.II, 144-151, Wiesbaden, Germany, October 2009.
- /14/ Klein, G.-M., Daniel, T., Esser, R., Kögel, A.: ProTex and Three E: The key to greater energy efficiency. ZGK (Zement Kalk Gips) International 62 (2009), Nr. 9, 73-78.

**Dipl.-Ing. Theo Schrooten**

**Astrid Kögel**

**Dipl.-Ing. (FH) Tobias Daniel**

**Dr.-Ing. Gunnar-Marcel Klein**

Ansprechpartner:

**Tobias Daniel**

Produktmanagement / Marketing

tobias.daniel@intensiv-filter.com

Phone +49 2052 910-257

Fax +49 2052 910-259

**Astrid Kögel**

Kommunikation / PR

astrid.koegel@intensiv-filter.com

Phone +49 2052 910-457

Fax +49 2052 910-489

Voßkuhlstraße 63

D-42555 Velbert-Langenberg

www.intensiv-filter.com