**Dr.-Ing. Gunnar-Marcel Klein,**
Technischer Direktor von Intensiv-Filter.
Co-Autoren des Beitrages sind Dipl.-Ing. Theo Schrooten, Dipl.-Ing. (FH), Tim Neuhaus, Dipl.-Ing. (FH), Ralf Esser, Frank Ott, Dipl.-Ing. (FH), und Tobias Daniel, alle Intensiv-Filter.

# Energieverbrauch nahezu halbieren

## Ansatzpunkte für die Steigerung der Energieeffizienz in der industriellen Gasreinigung

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. Die Vorteile haben in den letzten Jahren zur Substitution von Zentrifugalabscheidern und elektrostatischen Abscheidern geführt. Die Firma Intensiv-Filter wird auf der Filtech und in diesem Beitrag Neuentwicklungen vorstellen, die signifikante Steigerungen der Energieeffizienz von Schlauchfilteranlagen ermöglichen.

Der Energiebedarf wird vor allem durch den Druckverlust der Filteranlage und damit durch den Saugzugventilator verursacht. Die Druckverluste bei Schlauchfiltern resultieren aus den Strömungswiderständen des Filterkuchens $\Delta pFK$, des Filtermediums (Restdruckverlust $\Delta p0$) und des Filtergehäuses $\Delta pG$ (Rohgaseintritt bis Filterkuchenoberfläche, Schlauchinnenströmung, Reingasströmung ab Schlauchaustritt bis Reingasaustritt). Daneben ist Energie für die Erzeugung der zur periodischen Abreinigung der Filterschläuche verwendeten Druckluft aufzuwenden. Der Hauptanteil des Energieaufwandes ist für die Überwindung des Filterkuchenwiderstandes notwendig. Intensiv-Filter hat konsequenterweise die nachfolgend vorgestellten Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz auf die Reduzierung dieses Druckverlustanteils fokussiert.

### Steigerung der Energieeffizienz von Jet-Pulse Schlauchfiltern durch Abreinigung im Offline-Betrieb

Durch roh- und reingasseitige Absperrorgane (Klappen, Schieber, Ventile) wird während der Druckstoßabreinigung ein Teil der Anlage in einen strömungslosen Zustand versetzt. Durch diesen sogenannten Offline-Betrieb werden das Wiederanfiltrieren von abgereinigten Partikeln und eine „innere" Staubzirkulation vermieden. Es wird eine Reduzierung der Filterkuchenmasse erreicht und der Filterkuchenwiderstand $\Delta pFK$ minimiert. Der Vorteil des Offline-Betriebs zeigt sich vor allem bei feindispersen Stäuben und Filterschläuchen mit Längen größer 6 m, z. B. bei der Ofen- und Mühlenentstaubung in der Zementindustrie. Offline- bzw. Semi-offline-Filter können effektiv mit einer Niederdruckabreinigung, d. h. Abreinigungsdrücken im Bereich 0,1 bis 0,3 MPa betrieben werden. Der Druckluftverbrauch für die Abreinigung kann hierdurch gegenüber konventionellen Filtern um bis zu 90 % gesenkt werden.

### Steigerung der Energieeffizienz durch innovative Druckluft – Injektortechnik

Gegenüber dem Stand der Technik (Lochdüse, s. Abb. 1 a) konnte bereits durch Aushalsung der Düse zu einer „Idealen Düse" (Abb. 1 b) eine Verbesserung bei der Umwandlung der statischen Druckenergie im Blasrohr in einen gerichteten Druckluftstrahl erzielt werden [1]. Das von Intensiv-

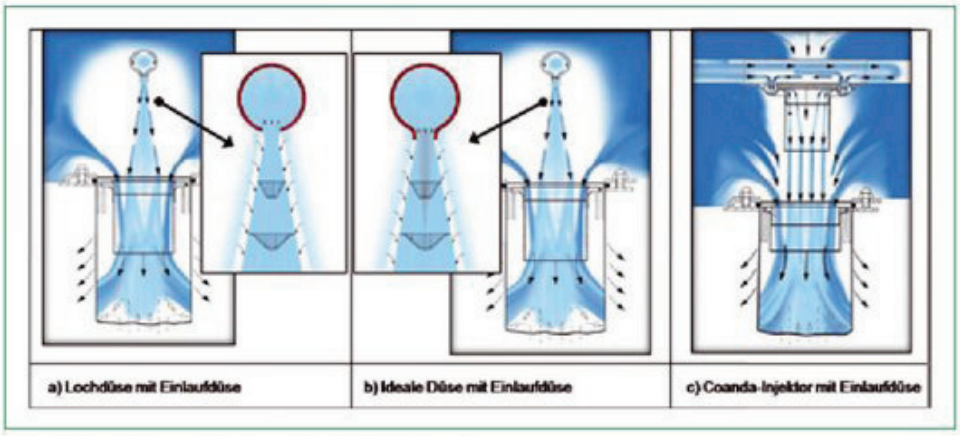


Abb. 1: Vergleich verschiedener Druckluft-Injektorsysteme

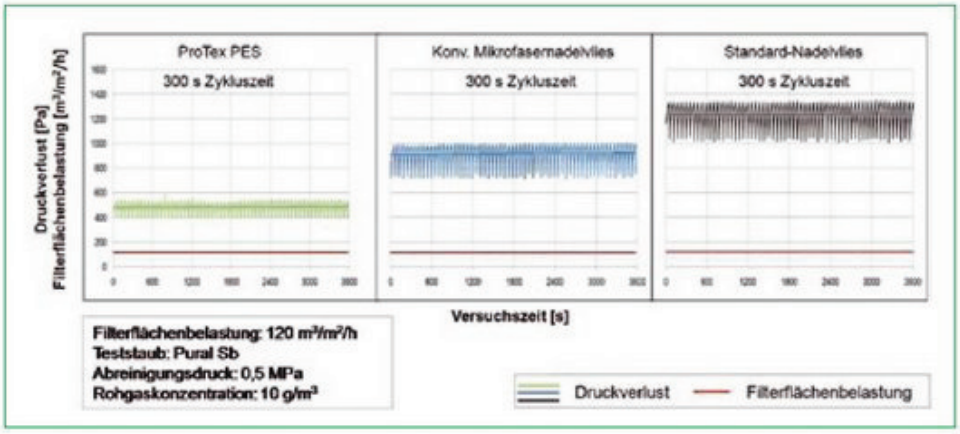


Abb. 2: Druckverlustkurven bei Einsatz von ProTex im Vergleich zu konventionellen Filtermedien – Versuche an einer 10-Schlauch-Technikumsanlage

**Entstaubungs-Konzepte mit der Energieeffizienz von morgen**

**Innovative Injektorsysteme**

Der Druckluftinjektor hat die Aufgabe, die über Membranventile mit extrem kurzer Ventilöffnungszeit (50 ms) zugeführte Druckluft so in den Filterschlauch zu leiten, dass dieser eine maximale Expansion erreicht und der angelagerte Staubkuchen vollständig abgereinigt wird. Der zweistufige Intensiv-Filter Coanda Injektor erzielt bei minimalem Druckluftbedarf eine maximale Abreinigungseffizienz.

**Abreinigbare Oberflächenfiltermedien**

In Schlauchfilteranlagen zur Entstaubung industrieller Abgasströme werden Oberflächenfiltermedien eingesetzt. Neben Nadelvliesen werden auch Ausführungen mit auflaminierter ePTFE-Membran verwendet. Die neu entwickelten Intensiv-Filter ProTex Medien bestehen aus Mikrofasern. Hierdurch werden bei geringen Druckverlusten hohe Filterabscheidegrade erreicht. Durch eine spezielle Oberflächenstruktur findet bei Anlagerung des Filterkuchens kein überproportionaler Druckabstieg statt. Der Differenzdruckanstieg innerhalb eines Filtrationszyklus zwischen zwei Abreinigungsimpulsen wird damit auf ein Minimum reduziert.

Filter unter dem Namen Coanda-Injektor entwickelte Abreinigungssystem nutzt den sogenannten Coanda-Effekt aus, bei dem die Druckluft aus einem Ringspalt austritt und über eine gewölbte Oberfläche geführt wird (Abb. 1 c). Die Primärluft folgt dabei der Grenzschicht, die sich, aufgrund der 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 stark erhöhte Luftmenge aufweist. 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 im Vergleich zu anderen Injektoren bei allen Tankdrücken der maximale Druckstoß erzielt wird [1].

## Steigerung der Energieeffizienz durch Optimierung der Abreinigungssteuerung

Konventionelle Filteranlagen werden entweder zeit- oder differenzdruckgesteuert und bei konstantem Abreinigungsdruck betrieben. Eine deutlich effizientere Betriebsweise von Filteranlagen stellt eine zeitgesteuerte Abreinigung in Verbindung mit einer vordruckgesteuerten Regelung dar. Bei dieser von Intensiv-Filter entwickelten automatischen Steuerungseinheit JetBus Controller wird der Differenzdruck über den Schlauchboden, welcher Rein- und Rohgasraum des Filters trennt, kontinuierlich erfasst und der Abreinigungsdruck an die Betriebssituation angepasst [2]. Der Abreinigungsdruck wird so geregelt, dass sich die Anlage in einem vorgegebenen Differenzdruckfenster bewegt.

## Neuartige Schlauchfiltermedien mit reduziertem Druckverlust im Jet-Pulse-Betrieb (ProTex Filtermedien)

Der Druckverlust von Filtermedium und angelagertem Filterkuchen hat den mit Abstand größten Anteil an den Energiekosten, die zum Betrieb der Filteranlage anfallen. Ziel der Entwicklungen von Intensiv-Filter war es, exakt diesen Druckverlust von Filtermedium und Filterkuchen zu reduzieren. Das Ergebnis der Entwicklung sind neue Filtermedien mit dem Namen ProTex. ProTex Filtermedien weisen zwischen Stützgewebe und Rohgasseite speziell angeordnete Mikrofasern mit einem Titer ≤ 1,5 dtex auf. Diese sind so angeordnet, dass sich ein minimaler Restdruckverlust sowie in der ersten Filtrationsphase nach der Druckstoßabreinigung ein nahezu linearer Verlauf der Druckverlustkurve einstellt. Dies führt zu signifikant reduzierten mittleren und maximalen Differenzdruckanstiegen innerhalb eines Filtrationszyklus. Umfangreiche Untersuchungen nach (VDI 3926) belegen die Vorteile der ProTex Filtermedien gegenüber heute verwendeten Nadelvliesen und Nadelvliesen mit auflaminierter ePTFE-Membran [3]. Deutlich kostenintensivere Filtermedien mit ePTFE-Membran zeigen zwar ebenfalls einen geringen Druckgradienten im Druckverlustverlauf, beginnen jedoch mit

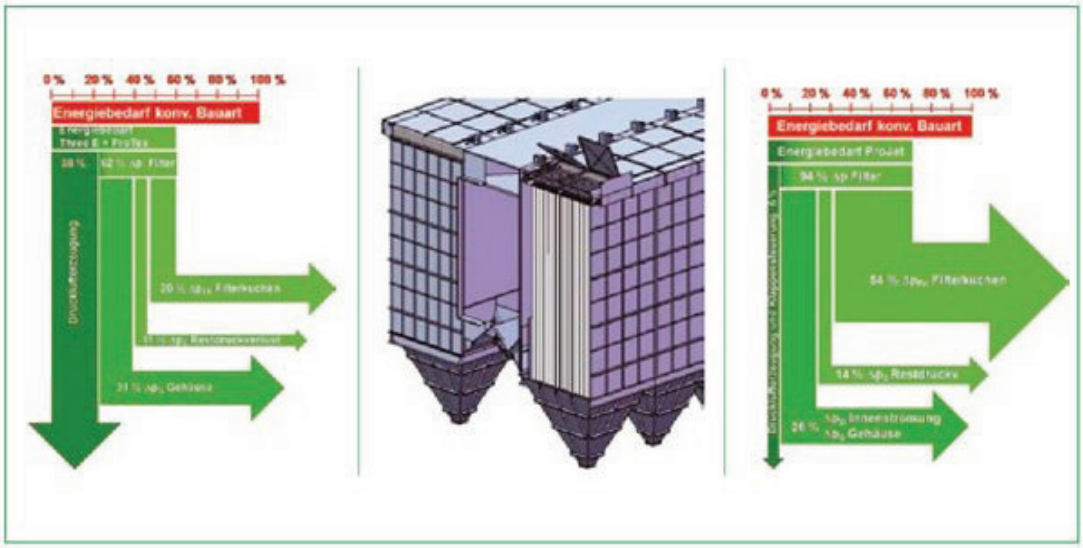


Abb. 3: Steigerung der Energieeffizienz für Jet-Pulse-Schlauchfilter in Online- und Offline-Ausführung

einem sehr hohen Restdruckverlust, der auf die sehr geringe Porenweite und irreversible Staubeinlagerungen in der Membran zurückzuführen ist. Konventionelle Nadelvliese und Mikrofaser-Nadelvliese weisen im Unterschied hierzu geringe Restdruckverluste auf, haben jedoch eine hohe Steigung der Druckverlustkurve direkt nach der Abreinigung, sodass am Ende des Zyklus etwa das Druckniveau der ePTFE-Membran erreicht wird. Validierungsversuche im halbtechnischen Maßstab (Filteranlage mit 10 Schläuchen, D = 160 mm, L = 4.000 mm) belegen, dass mit ProTex im Vergleich zu heute marktüblichen Filtermedien das Differenzdruckniveau halbiert werden kann (Abb. 2).

Eine weitere Senkung des Druckverlustes zwischen Roh- und Reingasseite gelingt durch die Optimierung der Zykluszeiten. Da ProTex Filtermedien sehr hohe Feinstaub-Abscheidegrade aufweisen, kann die Zykluszeit verkürzt werden ohne Inkaufnahme eines erhöhten Staubdurchgangs direkt nach der Druckstoßabreinigung. Bei einer Verkürzung der Zykluszeit von bisher üblichen 300 s auf 100 s erreicht das ProTex Filtermedium eine Reduktion des mittleren Differenzdruck um den Faktor 4 gegenüber dem aktuellen Stand der Technik.

## Reduzierung des Energiebedarfs für den Betrieb von Schlauchfilteranlagen im Online- und Offline-Betrieb.

Mit den beschriebenen Optimierungsmöglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz kann der Energiebedarf für Filteranlagen im Online-Betrieb (die Abreinigung erfolgt während der Filtrationsphase) um 40 % reduziert werden (Abb. 3 a). Filteranlagen im Offline-Betrieb (Kombination der beschriebenen Maßnahmen) erzielen bereits ohne ProTex- und Three E-Technologie eine Energieeinsparung um 30 %, bezogen auf die Referenzanlage im Online-Betrieb (Abb. 3 c). Weitere Potentiale durch Verbindung von Offline-Anlagen mit der ProTex- und Three E-Technologie sind Gegenstand aktueller Untersuchungen. Abbildung 3 b zeigt den konstruktiven Aufbau eines Filters der ProJet mega-Baureihe in Offline-Ausführung und mit einer Schlauchlänge von acht Metern.

### Infokasten

Dieser Beitrag beruht auf dem Vortrag „Enhanced Energy Efficiency Solutions for Industrial Baghouse Filters" von Dr. Gunnar-Marcel Klein auf der Int. Conf. Filtech 2009 in Wiesbaden.

### Literatur

[1] Klein, G.-M., Schrooten, T., Neuhaus, T., Kräbs, R.: Energieeffiziente Jet-Pulse-Entstaubungsanlagen, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 69 (2009) Nr. 5.

[2] Neuhaus, T., Schrooten, T., Bai, P., Daniel, T., Klein, G.-M.: Steigerung der Energieeffizienz bei der Gasreinigung mit Schlauchfiltern. 7. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung, 22.09.2009.

[3] 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.

### Kontakt

**Astrid Kögel**
**Intensiv-Filter GmbH & Co. KG,**
**Velbert-Langenberg**
Tel.: 02052/910-457
Fax: 02052/910489
astrid.koegel@intensiv-filter.com
www.intensiv-filter.com