

# Steigerung der Energieeffizienz in der industriellen Gasreinigung durch optimierte Oberflächenfiltration

T. Neuhaus, P. Bai, T. Schrooten, G.-M. Klein

**Zusammenfassung** Die Druckverluste von industriellen Schlauchfiltern und damit die Betriebskosten einer industriellen Gasreinigung werden hauptsächlich durch den bei der Oberflächenfiltration sich aufbauenden Filterkuchen am Filtermedium verursacht. Vergleichende Versuche in Anlehnung an VDI 3926 zeigen, dass mit ProTex-Filtermedien der Gradient des Differenzdruckanstiegs nach der periodischen Abreinigung und damit der mittlere Druckverlust eines Schlauchfilters reduziert werden kann. Vorgestellt werden diese Filtermedien sowohl für den Nieder- als auch für den Hochtemperaturbereich. Eine weitere Steigerung der Energieeffizienz wird durch die Verkürzung der Abreinigungszyklen erreicht und als Three-E-Technologie beschrieben. Mit dieser Technologie können die Betriebskosten gegenüber konventionellen Schlauchfiltern um bis zu 40 % gesenkt werden.

## Increase of energy efficiency for industrial gas purification by optimized surface filtration

**Abstract** The pressure loss of bag filters and therewith the operating costs of industrial gas cleaning plants are mainly given by the filter cake on the filter media. Comparative tests in accordance to VDI 3926 show, that with ProTex filter media a reduced gradient of the differential pressure curve directly after the periodical cleaning can be achieved and therewith a reduction of the average pressure loss of bag filters. The filter performance of ProTex filter media for low temperature and high temperature application will be shown. A further increase of the energy efficiency can be achieved by the decrease of the cleaning cycle time and is described as Three E technology. With this technology the operating costs can be reduced up to 40% compared to conventional bag filters.

### 1 Einführung

Die Steigerung der Energieeffizienz bei industriellen Prozessen ist aufgrund des angespannten Ressourcenbedarfs nicht nur in Europa, sondern weltweit Schwerpunkt bei der Entwicklung neuer und Optimierung bestehender Techniken und Verfahren geworden. Der Energieverbrauch bzw. die spezifischen Energiekosten entscheiden immer häufiger über die Auswahl eines Verfahrens. Die Verminderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes (CO<sub>2</sub>, Kohlendioxid) als umweltpolitisches Ziel hat diesen Trend noch verstärkt.

Mit über 80 % trägt die Ventilatorleistung zum Energieverbrauch des Gasreinigungsprozesses bei. Das Produkt aus Volumenstrom und Druckverlust der Anlage stellt die erforderliche Leistung dar. Der Volumenstrom ist verfahrensbedingt festgelegt; allein der Druckverlust kann als Optimierungspotenzial genutzt werden.

Der größte Anteil des Druckverlusts eines Schlauchfilters wird durch den Filterkuchen und die irreversible Partikeleinlagerung in das Filtermedium verursacht [1; 2]. Beide Bedingungen sind von der Kuchenbeschaffenheit (Dicke,

Kuchenkompression, Porosität), den Staub- und Gaseigenschaften (Staub-, Gasdichte, Partikelform, Agglomerationsverhalten, Feuchte etc.) sowie den Eigenschaften des Filtermediums (Oberflächenbeschaffenheit, Fasertiter, Homogenität, Porengröße und -verteilung u. a.) abhängig.

Konventionelle Nadelvliese, wie sie seit vielen Jahren in Schlauchfiltern eingesetzt werden, lagern insbesondere in der Anfangsphase der Filtration hohe Staubmengen in die Tiefe des Mediums ein und erfüllen erst nach Aufbau des Filterkuchens ihre eigentliche Filtrationsleistung. Dies hat zur Folge, dass der anfängliche sehr niedrige Restdruckverlust mit zunehmender Betriebsdauer stark ansteigt [3].

Die bereits seit mehreren Jahren alternativ eingesetzten Filtermedien mit ePTFE-Membran (ePTFE, expandiertes Polytetrafluorethylen) zeigen zwar 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 zurückzuführen ist.

Der Einsatz von Mikrofasern in Nadelvliesen hatte ursprünglich zum Ziel, die Abscheidegrade von konventionellen Filtermedien zu erhöhen. Durch die Anordnung, insbesondere auf der Anströmseite, kann jedoch die Einlagerung von Partikeln in die Mediumtiefe und damit ein überproportionaler Anstieg des Druckgradienten im Druckverlustverlauf vermieden werden. Die im Rahmen einer Bemusterungsreihe von Mikrofasermitteln verschiedener Mischung und Faserstrukturen entwickelten ProTex-Filtermedien verbinden diese Eigenschaften und bieten damit eine optimierte Oberflächenfiltration.

Durch die Kombination der ProTex-Filtermedien mit einem Betrieb bei kurzen Zykluszeiten ( $\leq 150$  s) können weitere Potenziale zur Absenkung des Energiebedarfs für den Ventilator erschlossen werden. Das neue Three-E (Enhanced Energy Efficiency)-Verfahren hat, bedingt durch die höheren Fraktionsabscheidegrade des ProTex-Filtermediums, keine negativen Auswirkungen auf die Reingaskonzentration. Der höhere Druckluftbedarf wird durch die beschriebenen Vorteile überkompensiert.

### 2 Vergleichende Untersuchungen in Anlehnung an VDI 3926

#### 2.1 Versuchsaufbau und Prüfbedingungen

Als Prüfvorschrift für die vergleichende Prüfung von Filtermedien hat sich die VDI 3926 bewährt, die im ISO-Normentwurf weitgehend übernommen wurde [4; 5]. In Anlehnung hieran erfolgen auch die Filtermedienuntersuchungen bei der Fa. Intensiv-Filter an einem Flachrondenprüfstand des Typs 1. Im Unterschied zur Richtlinie wird auf die ersten 30 Zyklen des Tests, die ausschließlich zur Charakterisierung des Mediums dienen, verzichtet. Des Weiteren wird mit 10 g/m<sup>3</sup> eine höhere Rohgasstaubkonzentration gewählt. Die nachfolgenden zehn differenzdruckgesteuerten Zyklen zur Stabilisierung des Filtrationsvorgangs werden bei-

Dipl.-Ing. Tim Neuhaus, Dipl.-Ing. Peng Bai,  
Dipl.-Ing. Theo Schrooten, Dr.-Ing. Gunnar-Marcel Klein,  
Intensiv-Filter GmbH & Co. KG, Velbert.

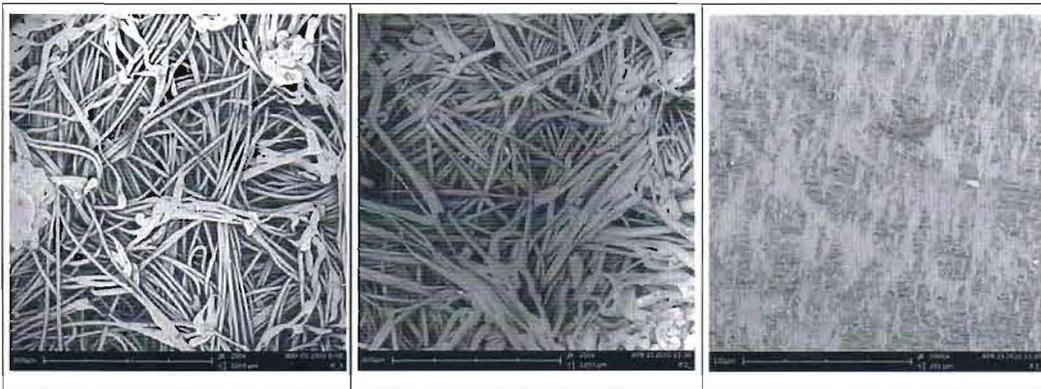


Bild 1. REM-Aufnahmen von Filtermedienoberflächen: ProTex PES x200 (links); ProTex PMIA x200 (Mitte); ePTFE/Membran x1000 (rechts).

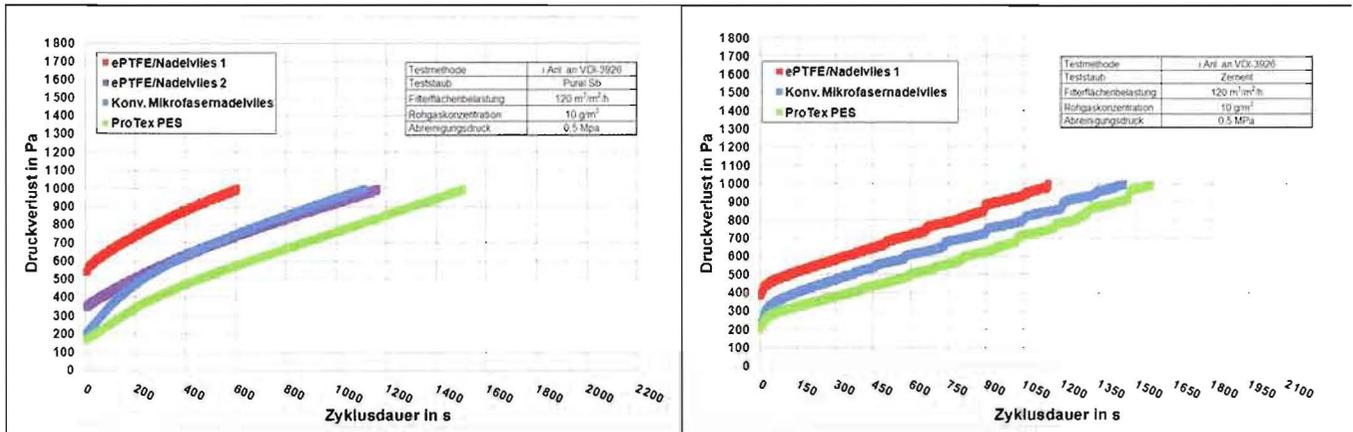


Bild 2. Prüfung verschiedener Filtermedien für die Niedertemperaturanwendung in Anlehnung an VDI 3926, Differenzdruckverläufe des zehnten differenzdruckgesteuerten Zyklus der Stabilisierungsphase nach der Alterung.

behalten. Dabei dient der letzte Zyklus zur Charakterisierung des Filtermediums und zum Vergleich der Filtermedien hinsichtlich der Zyklusdauer. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse werden die letzten 30 Zyklen nicht differenzdruckgesteuert, sondern bei einer konstanten Zykluszeit von 600 s abgereinigt.

Die Versuche erfolgen mit verschiedenen Prüfstäuben. Im Unterschied zum in der Norm vorgeschriebenen Prüfstaub Pural Nf, wird Pural Sb (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) verwendet, der eine sehr geringe Agglomerationsneigung und hohe Fließfähigkeit aufweist. Erfahrungen haben gezeigt, dass der Prüfstaub Pural Sb zur Abbildung von Praxisbedingungen besser geeignet ist als Pural Nf [6]. Als weitere Prüfstäube wurden für die ProTex-Niedertemperaturanwendung ein feindisperser Portlandzementstaub (CEM III/A 52,5 N-HS/NA, Blaine 5900, d<sub>50</sub> = 8 µm) und für die Hochtemperaturanwendung ein aus einer Zement-Rohmehlmühle gewonnener Staub, sog. Rohmaterial (ca. 90 % CaCO<sub>3</sub> bzw. Kalkstein), eingesetzt. Sowohl Zementstaub als auch Kalkstein weisen ein starkes Agglomerationsverhalten auf.

### 2.2 Auswahl der untersuchten Filtermedien

Für den Niedertemperaturbereich werden die Flachrondenuntersuchungen mit Polyester-Mikrofasernadelvlies, einem Filtermedium mit ePTFE-Membran und dem ProTex-Filtermedium (PES) durchgeführt. Für den Hochtemperaturbereich stehen aufgrund der vielseitigen und unterschiedlichen Anforderungen in der Praxis eine Reihe verschiedener Filtermedien auf Polymerbasis zur Verfügung. Typische Materialien sind PMIA (m-Aramid, Nomex®), Polyimid, PPS, PTFE und Mischvliese. Die Auswahl des entsprechenden

Mediums für die jeweilige Anwendung erfolgt in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur, der chemischen Zusammensetzung und der Feuchtigkeit des Abgases. Die Entscheidung bei der Auswahl erfolgt in erster Linie hinsichtlich der Beständigkeit der Filtermedien gegenüber dem Abgas und nicht bezüglich einer energieeffizienten Betriebsweise. Das Optimierungspotenzial von ProTex-Filtermedien wird für alle typischen Polymere untersucht, um für jede Anwendung ein optimales Energiesparmedium zur Verfügung zu stellen. Die hier vorgestellten ProTex- und konventionellen Filtermedien basieren auf m-Aramid und Polyimid und haben Mikrofaserauflage in verschiedener Mischung und Faserstruktur. Als weiteres Filtermedium, das im Hochtemperaturbereich mittlerweile breite Anwendung findet, wird eine ePTFE-Membran auf Glasgewebe eingesetzt. Bild 1 zeigt beispielhafte Rasterelektronenmikroskop(REM)-Aufnahmen von untersuchten Filtermedien.

### 2.3 Versuchsergebnisse

Das Kriterium zum Optimierungspotenzial war die Minimierung des Gradienten der Druckverlustkurve in der ersten Filtrationsphase nach der Druckstoßabreinigung. Verglichen werden die letzten Zyklen der Flachrondentests. Die Versuchsergebnisse für den Niedertemperaturbereich sind in Bild 2 und den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst. Die Differenzdruckverläufe zeigen für die ePTFE-Membran einen geringen Druckgradienten direkt nach der Abreinigung, jedoch einen sehr hohen Restdruckverlust, der auf die irreversible Staubeinlagerung in die Membran zurückzuführen ist. Das konventionelle Mikrofasermittel weist einen relativ geringen Restdruckverlust auf, jedoch eine

Tabelle 1. Versuchsergebnisse der Prüfung verschiedener Filtermedien für die Niedertemperaturanwendung in Anlehnung an VDI 3926, Prüfstaub: Pural Sb.

		ePTFE/ Nadelvlies 1	ePTFE/ Nadelvlies 2	Konventionelles Mikrofaser- Nadelvlies	ProTex
<b>Neuzustand</b>					
Luftdurchlässigkeit	in l/dm <sup>2</sup> /min@200Pa	49	55	117	112
Restdruckverlust	in Pa	120	92	65	63
<b>Nach Alterung und Stabilisierungszyklen</b>					
Luftdurchlässigkeit	in l/dm <sup>2</sup> /min@200Pa	13	18	35	36
Restdruckverlust	in Pa	533	350	155	155
Zyklusdauer	in s	603	1 164	1 114	1 505
<b>Nach Filterbetrieb im gealterten Zustand</b>					
Luftdurchlässigkeit	in l/dm <sup>2</sup> /min@200Pa	13	18	39	40
Restdruckverlust	in Pa	530	318	155	158
Reingaskonzentration	in mg/m <sup>3</sup>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tabelle 2. Versuchsergebnisse der Prüfung verschiedener Filtermedien für die Niedertemperaturanwendung in Anlehnung an VDI 3926, Prüfstaub: Zement.

		ePTFE/Nadelvlies 1	Konventionelles Mikrofaser-Nadelvlies	ProTex
<b>Neuzustand</b>				
Luftdurchlässigkeit	in l/dm <sup>2</sup> /min@200Pa	49	117	112
Restdruckverlust	in Pa	120	65	63
<b>Nach Alterung und Stabilisierungszyklen</b>				
Luftdurchlässigkeit	in l/dm <sup>2</sup> /min@200Pa	13	24	29
Restdruckverlust	in Pa	458	247	227
Zyklusdauer	in s	1 147	1 451	1 556
<b>Nach Filterbetrieb im gealterten Zustand</b>				
Luftdurchlässigkeit	in l/dm <sup>2</sup> /min@200Pa	14	29	32
Restdruckverlust	in Pa	359	213	177
Reingaskonzentration	in mg/m <sup>3</sup>	< 0,1	< 0,1	< 0,1

hohe Steigung der Druckverlustkurve direkt nach der Abreinigung, sodass am Ende des Zyklus etwa das Druckverlustniveau der ePTFE-Membran erreicht wird. Das Filtermedium ProTex zeigt für beide Teststäube sowohl einen geringen Gradienten der Druckverlustkurve als auch einen niedrigen Restdruckverlust. Die mit wachsender Staubkuchendicke zunehmenden Unregelmäßigkeiten im linearen Kurvenverlauf der Versuche mit Zementstaub können auf Kompressionsvorgänge im Staubkuchen zurückgeführt werden (vgl. [7]).

Für den Hochtemperaturbereich werden die Differenzdruckverläufe der Flachrondenuntersuchung in den **Bildern 3** und **4** sowie den **Tabellen 3** und **4** verglichen. Auch hier zeigt die ePTFE-Membran einen geringen Druckgradienten, jedoch hohen Restdruckverlust. Ursache ist ebenfalls die irreversible Verblockung der Membran. **Bild 5** zeigt beispielhaft die Oberflächen der geprüften Medien nach dem Test in Anlehnung an die VDI-Richtlinie. Die konventionellen Mikrofaserfiltermedien zeigen einen deutlich niedrigeren Restdruckverlust, jedoch einen zum Teil starken Druckanstieg direkt nach der Abreinigung. Sowohl ProTex PMIA als auch ProTex PI zeigen hingegen einen nahezu linearen Druckanstieg bei gleichzeitig niedrigem Restdruckverlust nach der Abreinigung. Der gleiche Trend kann auch bei den Versuchen mit Kalkstein beobachtet werden. Durch die Anwendung des Three-E-Verfahrens und der da-

mit verbundenen Reduzierung der Zykluszeit kann eine weitere Absenkung des Druckverlusts erzielt werden. Bei einer Verkürzung der Zykluszeit von 300 auf 100 s zeigt ProTex gegenüber konventionellen Mikrofasermedien eine Reduzierung von 55 % für den Niedertemperaturbereich bis über 60 % für den Hochtemperaturbereich. Für die besser agglomerierenden Stäube Zement und Kalkstein ergibt sich eine Reduzierung um 35 bis 55 %.

### 3 Praxisnahe Untersuchungen an einer Technikumsanlage

#### 3.1 Versuchsbedingungen

Die Technikumsanlage besteht aus einem Schlauchfilter mit zehn Schläuchen ( $d = 160$  mm,  $l = 4$  m). Jeweils zwei Schläuche werden separat im Online-Betrieb über einen mit Membranventilen ausgerüsteten Druckkessel in Verbindung mit einem JetBus-Abreinigungssystem regeneriert. Der Abreinigungsdruck kann stufenlos – über eine dem Druckkessel vorgeschaltete Wartungseinheit mit Druckminderer – im Bereich von 0,1 bis 0,6 MPa eingestellt werden. Der Volumenstrom wird im Kreislauf geführt und der Teststaub über eine Dosierstrecke aus einem Pufferbehälter mit Dosierschnecke kontinuierlich in die Prüfluft dispergiert. Der an den Filterschläuchen abgeschiedene Staub wird über eine

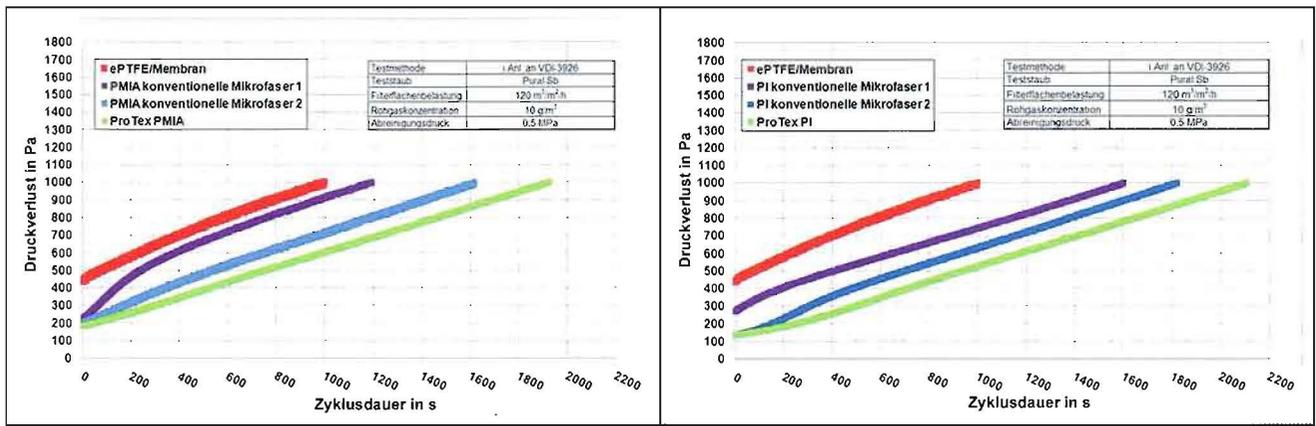


Bild 3. Prüfung verschiedener Filtermedien für die Hochtemperaturanwendung aus ePTFE-Membran, PMIA (m-Aramid, Nomex®) und PI (Polyimid), Differenzdruckverläufe des letzten differenzdruckgesteuerten Zyklus der Prüfung in Anlehnung an VDI 3926, Prüfstaub: Pural Sb.

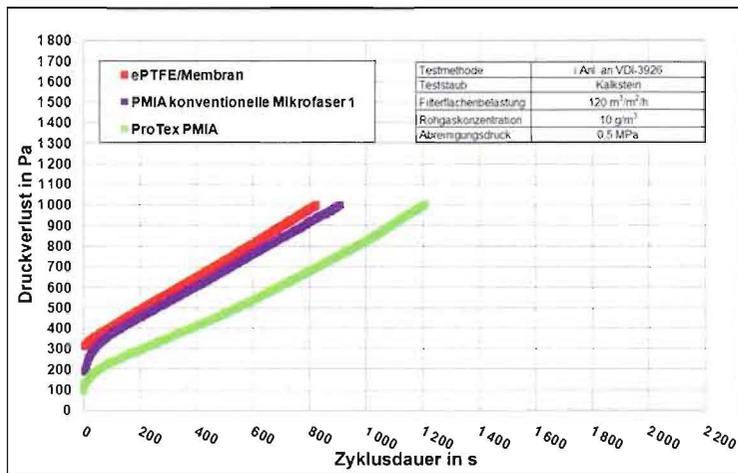


Bild 4. Prüfung verschiedener Filtermedien für die Hochtemperaturanwendung aus ePTFE/Membran und PMIA (m-Aramid, Nomex®), Differenzdruckverläufe des letzten differenzdruckgesteuerten Zyklus der Prüfung in Anlehnung an VDI 3926, Prüfstaub: Kalkstein (Rohmehl).

Zellenradschleuse zurück in den Pufferbehälter ausgetragen. Eine detaillierte Beschreibung der Technikumsanlage ist in [8] veröffentlicht. Die Filterschläuche für die Testreihe in der Technikumsanlage sind aus dem zuvor beschriebenen Mikrofasermedium und dem ProTex-Filtermedium gefertigt. Als Referenz wurde zusätzlich ein konventionelles PES-Nadelvlies in die Testreihe aufgenommen, das bis heute in zahlreichen Anwendungen eingesetzt wird. Die Alterung der Schläuche erfolgt durch 36 000 Abreinigungen mit einer Zykluszeit von 25 s, einem Abreinigungsdruck von 0,5 MPa, einer Filterflächenbelastung von 120 m<sup>3</sup>/h und einer Staubkonzentration von 10 g/m<sup>3</sup> (Prüfstaub Pural Sb). Damit geht die Alterungsprozedur weit über die Bedingungen des ISO-Normentwurfs (2 500 mit einer Zykluszeit von 20 s) hinaus. Die Versuche werden bei identischen Bedingungen und zeitgesteuert

Tabelle 3. Versuchsergebnisse der Prüfung verschiedener Filtermedien für die Hochtemperaturanwendung in Anlehnung an VDI 3926, Prüfstaub: Pural Sb.

		ePTFE/ Membran	PMIA konventionelle Mikrofaser 1	PMIA konventionelle Mikrofaser 2	ProTex PMIA
<b>Neuzustand</b>					
Luftdurchlässigkeit	in l/dm <sup>2</sup> /min@200Pa	31	100	92	140
Restdruckverlust	in Pa	175	72	63	73
<b>Nach Filterbetrieb im gealterten Zustand</b>					
Luftdurchlässigkeit	in l/dm <sup>2</sup> /min@200Pa	12	29	31	33
Restdruckverlust	in Pa	436	204	185	180
Reingaskonzentration	in mg/m <sup>3</sup>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

		PI konventionelle Mikrofaser 1	PI konventionelle Mikrofaser 2	ProTex PI
<b>Neuzustand</b>				
Luftdurchlässigkeit	in l/dm <sup>2</sup> /min@200Pa	61	121	159
Restdruckverlust	in Pa	103	65	57
<b>Nach Filterbetrieb im gealterten Zustand</b>				
Luftdurchlässigkeit	in l/dm <sup>2</sup> /min@200Pa	22	42	51
Restdruckverlust	in Pa	278	173	148
Reingaskonzentration	in mg/m <sup>3</sup>	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tabelle 4. Ergebnisse der Prüfung verschiedener Filtermedien für die Hochtemperaturanwendung in Anlehnung an VDI 3926, Prüfstaub: Rohmehl (Kalkstein).

		ePTFE/ Membran	PMIA konventionelle Mikrofaser 1	PMIA konventionelle Mikrofaser 2	ProTex PMIA
<b>Neuzustand</b>					
Luftdurchlässigkeit	in l/dm <sup>2</sup> /min@200Pa	34	95	97	145
Restdruckverlust	in Pa	176	82	81	62
<b>Nach Filterbetrieb im gealterten Zustand</b>					
Luftdurchlässigkeit	in l/dm <sup>2</sup> /min@200Pa	17	25	30	37
Restdruckverlust	in Pa	444	243	212	191
Reingas-Konzentration	in mg/m <sup>3</sup>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

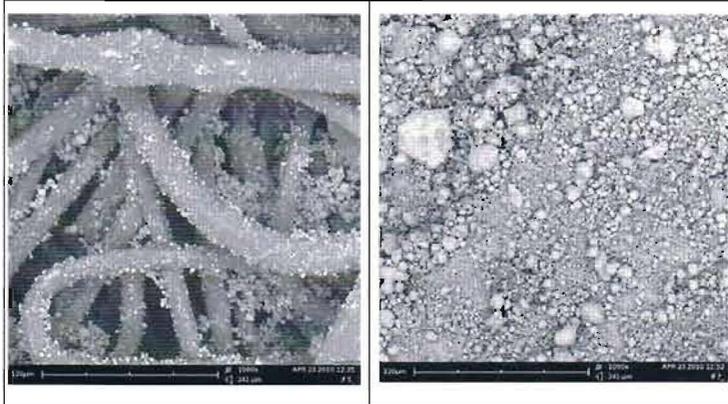


Bild 5. REM-Aufnahmen (x1000) von Filtermedienoberflächen nach Prüfung in Anlehnung an VDI 3926: ProTex PMIA (l.), ePTFE-Membran (r.).

ter Abreinigung mit 300, 200 und 100 s Zykluszeit durchgeführt.

### 3.2 Versuchsergebnisse

Die obere Diagrammreihe in Bild 6 zeigt den Differenzdruckverlauf über die Messzeit bei Verwendung der drei beschriebenen Filtermedien und 300 s Zykluszeit. Parallel ist der Messwert der Filterflächenbelastung in den Diagrammen aufgetragen (Einstellung auf konstant 120 m<sup>3</sup>/h bei allen Versuchen). Der mittlere Differenzdruck (Messstellen auf der Roh- und Reingasseite) bei Verwendung des ProTex-Filtermediums ist auch in der Technikumsanlage deutlich geringer als bei Verwendung des konventionellen Mikrofasermediums. Das Nadelvlies (ohne Mikrofaser) liegt im Differenzdruckniveau noch-

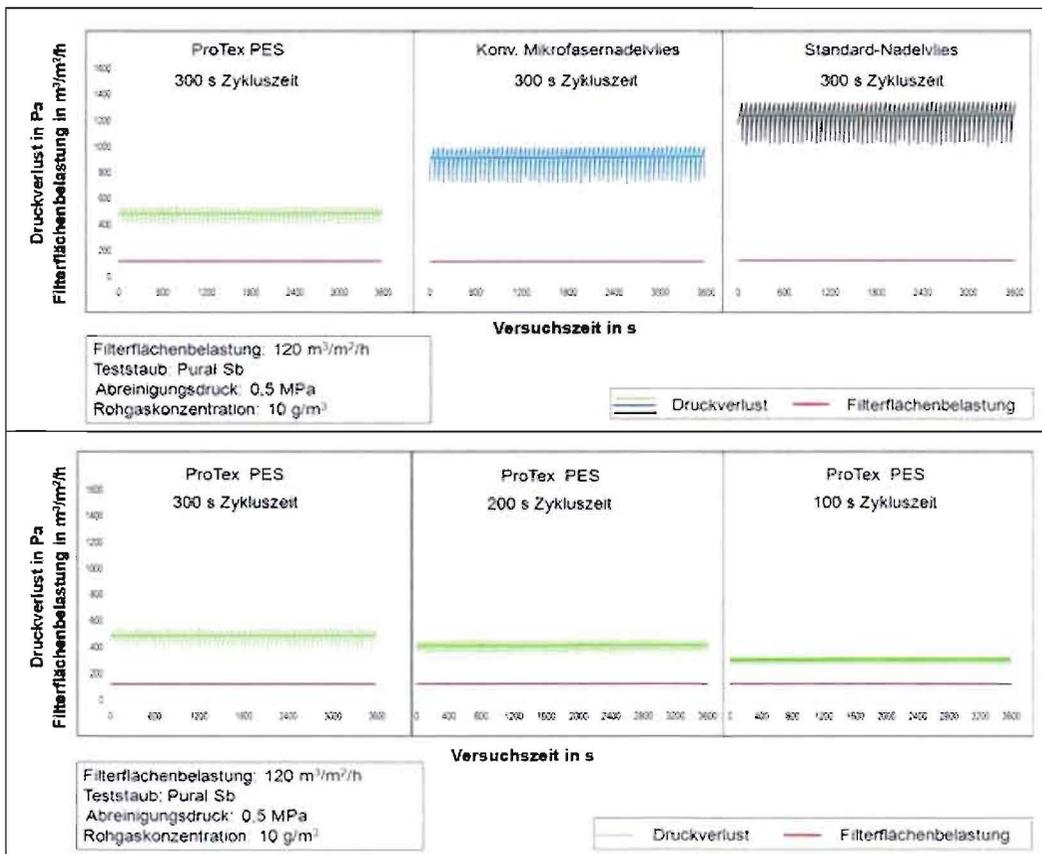


Bild 6. Druckverlustkurven bei Verwendung unterschiedlicher Filtermedien und Variation der Zykluszeit – Versuche an einer Zehn-Schlauch-Technikumsanlage.

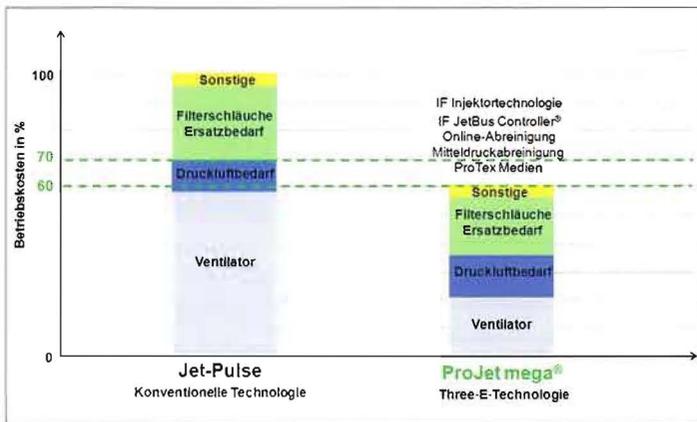


Bild 7. Betriebskosten eines ProJet mega®-Filters im Online-Betrieb mit Three-E-Technologie und ProTex-Filtermedium im Vergleich zu einem Jet-Pulse-Filter im Online-Betrieb unter Standardbedingungen.

mals darüber. Hierbei ist anzumerken, dass letzteres Medium durch die offene Porenstruktur stetig ansteigende Restdruckverluste aufweist und auch nach der beschriebenen Alterungsprozedur nicht in einen quasistationären Betriebszustand zu überführen war. Bezogen auf die Mittelwerte zeigt das ProTex-Filtermedium einen um den Faktor 1,9 im Vergleich zum konventionellen Mikrofasermaterial und einen um den Faktor 2,3 im Vergleich zum konventionellen Nadelvlies reduzierten Druckverlust.

Die untere Diagrammreihe in Bild 6 zeigt das Differenzdruckverhalten bei Verwendung des ProTex-Filtermediums in Verbindung mit verkürzten Zykluszeiten (100 und 200 s). Bei einer Verkürzung der Zykluszeit auf 100 s erreicht das ProTex-Filtermedium einen um den Faktor 4 reduzierten mittleren Differenzdruck gegenüber dem Benchmark (Nadelvliesmedium und Betrieb mit einer Zykluszeit von 300 s).

Das konventionelle Nadelvlies weist Emissionen > 10 mg/m<sup>3</sup> auf, was auf ein Eindringen der Partikel in das Filtermedium und eine offene Porenstruktur hindeutet. Bei einer Zykluszeit von 200 s werden für das konventionelle Mikrofasermaterial und ProTex-Filtermedium eine Gesamtstaubkonzentration von 0,5 bzw. 1,7 mg/m<sup>3</sup> im Reingas ermittelt. Beide Filtermedien liegen damit deutlich unter den Grenzwerten der TA Luft. Bei einer weiteren Verkürzung der Zykluszeit auf 100 s steigt die Konzentration bei dem ProTex-Filtermedium geringfügig auf 2,5 mg/m<sup>3</sup> und bleibt damit immer noch deutlich unter den Werten des Nadelvlieses und unter den vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Grenzwerten.

#### 4 Schlussfolgerung und Ausblick

Die optimierte Oberflächenfiltration von ProTex-Filtermedien konnte sowohl für den Niedertemperatur- als auch für die Hochtemperaturanwendung durch vergleichende Untersuchungen gezeigt werden. In Kombination mit der

Zykluszeitverkürzung und des damit angewendeten Three-E-Verfahrens wird der durch den Strömungswiderstand des Filterkuchens und den Restdruckverlust des Filtermediums verursachte Energiebedarf signifikant reduziert. Die Auswirkungen auf die Betriebskosten sind in Bild 7 anhand eines konventionellen Jet-Pulse-Schlauchfilters und eines ProJet-mega®-Schlauchfilters der Fa. Intensiv-Filter mit Three-E-Technologie dargestellt. Aufgrund der Reduzierung der Druckverluste durch Three E und ProTex können bei Anlagen der Fa. Intensiv-Filter gegenüber konventionellen Schlauchfilteranlagen die Betriebskosten um bis zu 40 % gesenkt werden.

Daneben bietet die Three-E-Technologie selbstverständlich auch die Alternative der Erhöhung der Filterflächenbelastung und damit der Reduzierung der Baugröße des Filters, bei gegenüber Standardbedingungen unveränderten Betriebskosten. Damit bietet sich Three E auch für die Kapazitätsausweitung von Produktionsanlagen an, d. h. zur Steigerung des zu entstaubenden Gasvolumenstroms unter Beibehaltung des bestehenden Filtergehäuses.

Aktuell sind weiterführende Validierungsversuche in der Zementindustrie in Vorbereitung. Weitere hochtemperaturbeständige Fasern wie PPS und PTFE befinden sich in Prüfung, um das ProTex-Filtermedienportfolio abzurunden.

#### Literatur

- [1] Klein, G.-M.: Energieeffiziente Schlauchfilteranlagen. Jahrestreffen des Fachausschusses Gasreinigung, 30./31. März 2009, Frankfurt a. M.
- [2] Klein, G.-M.; Schrooten, T.; Neuhaus, T.; Kräbs, R.: Energieeffiziente Jet-Pulse-Entstaubungsanlagen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 69 (2009) Nr. 5, S. 199-204.
- [3] VDI 3677 Blatt 1 (Entwurf): Filternde Abscheider – Oberflächenfilter. Berlin: Beuth 2009.
- [4] VDI 3926 Blatt 1: Richtlinie Prüfung von Filtermedien für Abreinigungsfilter – Standardprüfung zur vergleichenden Bewertung von abreinigbaren Filtermedien. Berlin: Beuth 2004.
- [5] ISO/CD 11057: Air quality – Test method for filtration characterization of cleanable filter media. Genf 2008.
- [6] Imminger, H.-J.; Geisel, P.: Filterprüfstand Typ 1 nach VDI 3926 – Optimierung des Prüfstand – Interpretation des Prüfergebnisse. Prüfung von Filtermedien, Erfahrungsberichte aus der Anwendung der Richtlinie VDI 3926 Blatt 1. Kolloquium 7.-8. Juni 1999, Karlsruhe. Schriftenreihe der Kommission Reinhaltung der Luft (KrdL) im VDI und DIN – Normenausschuss Bd. 29, S. 104-118.
- [7] Schmidt, E.: Abscheidung von Partikel aus Gasen mit Oberflächenfiltern, Fortschritt-Berichte VDI: Reihe 3 Nr. 546. Düsseldorf: VDI 1998.
- [8] Klein, G.-M.; Neuhaus, T.; Bai, P.; Schrooten, T.; Daniel, T.: Verminderung der durch die Partikelablagerung verursachten Druckverluste in industriellen Schlauchfiltern. F&S 23 (2009) Nr. 3, S. 1-5.