

Weiterführende explosionstechnische Untersuchungen an Versuchsschlauchfiltern unter praxisnahen Bedingungen

Peter Schepp, Kappelrodeck

Aufbauend auf umfangreiche explosionstechnische Untersuchungen, die im Jahre 2005 im Großmaßstab unter praxisnahen Bedingungen an einem Versuchsholzstaubfilter mit innen beaufschlagten Filterschläuchen durchgeführt worden waren, wurden ebensolche Untersuchungen an einem Versuchsholzstaubfilter mit außen beaufschlagten Filterschläuchen angeschlossen. Die für Schlauchfilter mit innen beaufschlagten Filterschläuchen aufgestellten Regeln zur Auslegung der Druckentlastung wurden auf ihre Anwendbarkeit auf Schlauchfilter mit außen beaufschlagten Filterschläuchen überprüft. Es werden außerdem einige Erkenntnisse zur tatsächlichen räumlichen Ausbreitung der aus Entlastungsöffnungen derartiger Filter austretenden Flammen vorgestellt. Einige Aspekte zu bauartbedingten prinzipiellen Unterschieden im Verhalten der beiden Filtertypen im Falle einer Explosion im Rohgasraum werden herausgearbeitet.

Schlauchfilter werden in den unterschiedlichsten Prozessen eingesetzt, so z. B. zur Produktabscheidung hinter Wirbelschichttrocknern, hinter Sprühabsorbieren in der Abgasreinigung oder aber zur Staubabscheidung in Aspirationsleitungen. Entsprechend vielfältig sind die Ausführungsformen dieser Komponente, angefangen von den verwendeten Schlauchmaterialien bis hin zu den unterschiedlichsten konstruktiven Ausgestaltungen.

Die Versuchsfilter repräsentierten Filtertypen, die als Staubabscheider in Holz verarbeitenden Betrieben eingesetzt werden; dementsprechend wurde auch die Versuchsdurchführung gestaltet. Gleichwohl kommt den gewonnenen Ergebnissen eine eher allgemeingültige Bedeutung zu.

Grundsätzlich sind der Rohgas- und der Reingasraum eines Schlauchfilters durch einen sog. Lochboden voneinander getrennt, in dem die Filterschläuche fixiert sind. Man unterscheidet (**Bild 1**):

- Schlauchfilter mit „stehenden“ Filterschläuchen, bei denen die Filterschläuche an ihrem Boden an einer weiteren Lochplatte oder einem Rüttelboden im Reingasraum aufgehängt sind. Diese Filterschläuche werden von innen nach außen durchströmt; das von ihnen eingeschlossene Volumen zählt somit zum Rohgasvolumen (hier Typ A genannt).

- Schlauchfilter mit „hängenden“ Filterschläuchen, bei denen die Filterschläuche mit einem innen liegenden Korb stabilisiert sind und in den Rohgasraum hinein hängen. Sie werden von außen nach innen durchströmt, sodass das Filterschlauchvolumen zum Reingasvolumen gerechnet wird (hier mit Typ B bezeichnet).

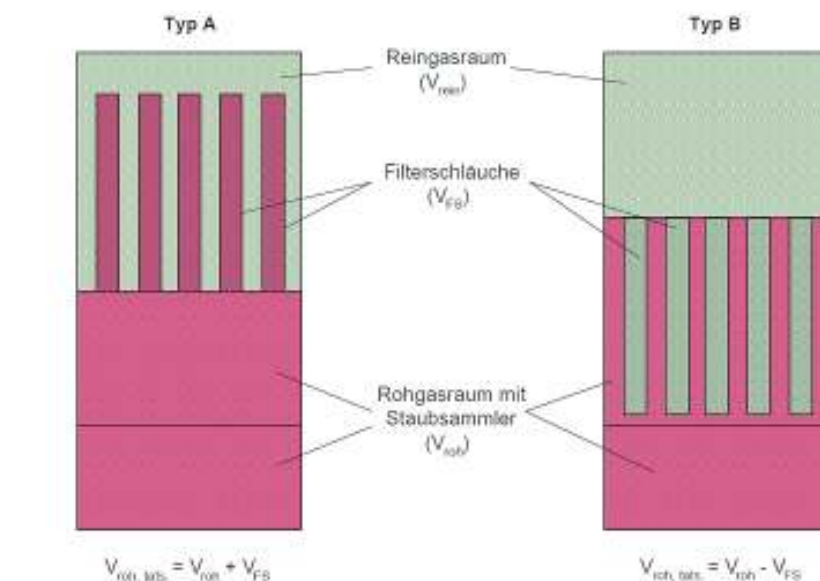


Bild 1 Prinzipiell unterschiedliche Bauformen von Schlauchfiltern.

siert sind und in den Rohgasraum hinein hängen. Sie werden von außen nach innen durchströmt, sodass das Filterschlauchvolumen zum Reingasvolumen gerechnet wird (hier mit Typ B bezeichnet).

Beim Filtertyp A zählt das von den Filterschläuchen eingeschlossene Volumen zum Rohgasvolumen, beim Filtertyp B wird das Filterschlauchvolumen zum Reingasvolumen gerechnet.

Im Jahre 2005 waren umfangreiche explosionstechnische Untersuchungen an

einem Versuchsholzstaubfilter vom Typ A mit Rüttelabreinigung durchgeführt worden [1]. In einer weiteren Versuchsreihe wurden nunmehr Untersuchungen an einem Versuchsholzstaubfilter vom Typ B mit Druckstoßreinigung angeschlossen, eine Bauart, die einen großen Teil der auf dem Markt befindlichen Holzstaubfilter repräsentiert.

Ziel der Untersuchungen war es u. a., Antworten auf folgende Fragen geben zu können:

- Auf welcher Berechnungsgrundlage kann die Auslegung der benötigten Größe der Entlastungsfläche bei vorgegebenem maximalen reduzierten Explosionsdruck erfolgen?

- Wie wirkt sich eine Zündung im Filter bei niedrigen Rohgasstaubkonzentrationen ($\sim 30 \text{ g/m}^3$), aber während der Abreinigungsphase auf den Explosionsablauf aus?

- Wie ist die Wirksamkeit der Komponenten „rohgasseitige Rückschlagklappe“ und „reingasseitige 90°-Umlenkung mit Druckentlastung“, wie sie als Entkopplungseinrichtungen in der Berufsgenossenschaftlichen Information für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BGI) 739 [2] beschrieben sind, zu bewerten?

- Welche tatsächlichen Flammenreichweiten treten auf?

- Unterscheiden sich die Versuchsergebnisse dieser Versuchsreihe von denjenigen, die mit dem Versuchsfilter prinzipiell anderer Bauart gewonnen wurden?

Beschreibung des Versuchsfilters

Die Versuche wurden wie schon im Jahre 2005 mit einem eigens für die Untersuchungen gefertigten Versuchsfilter durchgeführt. Die Vorgehensweise zur Auslegung des Versuchsfilters sowie der grundsätzliche Aufbau wurden bereits in [1] beschrieben. Im Unterschied zu den damaligen Untersuchungen kam nunmehr ein Filter mit außen beaufschlagten Schläuchen zum Einsatz, bei dem 40 Filterschläuche ($L = 2250 \text{ mm}$, $D = 160 \text{ mm}$) mit ihrer Öffnung im Lochboden zwischen Rohgas- und Reingasraum fixiert waren. Die in den Rohgasraum hinein hängenden Filterschläuche waren mit Stützkörben stabilisiert, jede Filterschlauchöffnung war mit einer Einlaufdüse versehen. In Zuordnung zu den Filterschlauchreihen befanden sich oberhalb des Lochbodens im Reingasraum fünf Blaslanzen mit Austrittsöffnungen über jedem einzelnen Filterschlauch. Die Blaslanzen waren über Magnetventile mit einem Druckspeicher verbunden. Zur Abreinigung wurde durch die kurzzeitige Öffnung eines Magnetventils ein Druckimpuls in die Filterschläuche einer Reihe eingebracht.

Explosionstechnische Untersuchungen

Versuchsaufbau und -durchführung

Die Versuchsreihe unterschied sich hinsichtlich Versuchsaufbau, -durchführung, verwendeter Messtechnik und Messaufbau nur geringfügig von der Versuchsreihe im

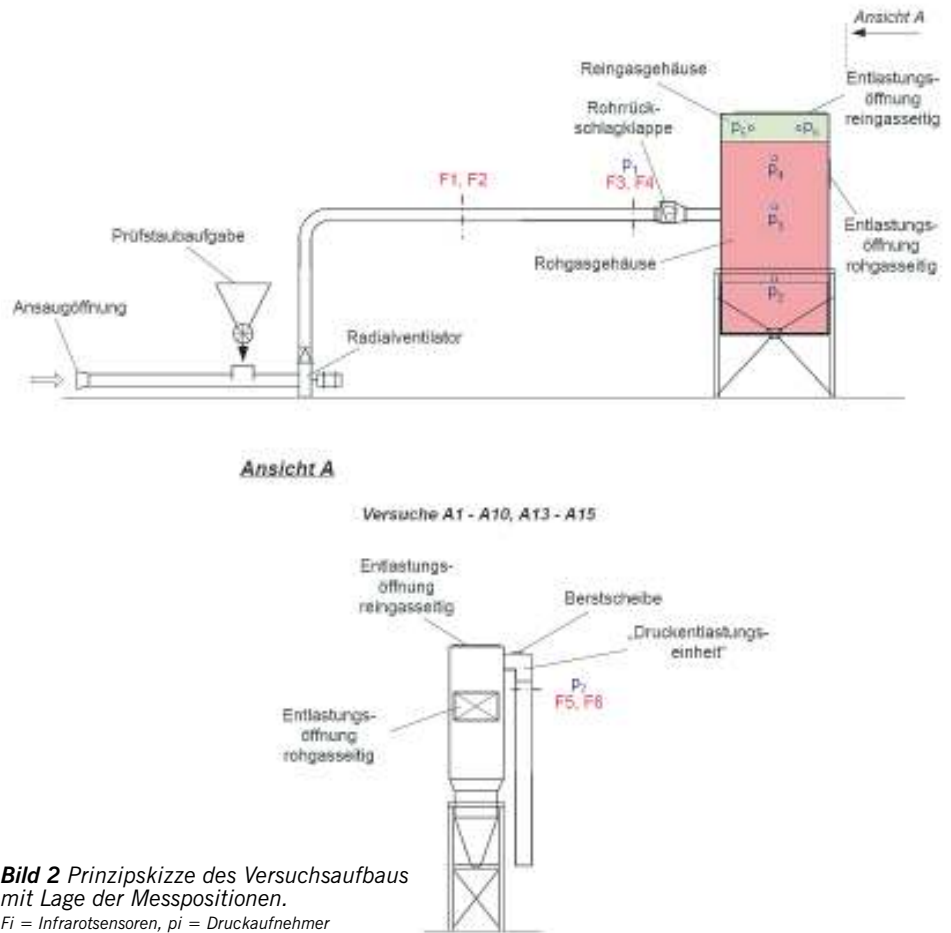


Bild 2 Prinzipskizze des Versuchsaufbaus mit Lage der Messpositionen.

F_i = Infrarotsensoren, p_i = Druckaufnehmer

Jahre 2005. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in [1], der prinzipielle Versuchsaufbau ist in **Bild 2** dargestellt.

Ausgewählte Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der 14 Explosionsversuche umfassenden Versuchsreihe stützen zum einen die Aussagen der ersten Versuchsreihe aus dem Jahre 2005 [1], liefern zum anderen aber auch neue Erkenntnisse.

Auslegung von Entlastungsflächen für die rohgasseitige Druckentlastung von Schlauchfiltern

Die Berechnung des maximal zu erwartenden reduzierten Explosionsüberdrucks im Filtergehäuse erfolgte auf Grundlage der gleichermaßen in der Richtlinie VDI 3673 Blatt 1 [3] als auch in der DIN EN 14491[4] angegebenen empirischen Zahlenwertgleichungen. Zugrunde gelegt wurden

- die Explosionskenngrößen für den bei den Versuchen verwendeten Holzstaub ($p_{\max} = 7,4 \text{ bar}$, $K_{ST} = 144 \text{ bar m s}^{-1}$; im Anlieferungszustand, ermittelt mit dem 1-m³-Explosionsbehälter),
- ein statischer Ansprechdruck der Entlastungseinrichtung von 100 mbar,
- eine Entlastungsfläche von 0,54 m².

Das Rohgasvolumen des Filters setzte sich zusammen aus dem Volumen des Schlauchraums (6,21 m³) und dem Volumen des trichterförmigen Staubsammlers (2,67 m³) und betrug 8,88 m³. Zieht man von diesem Volumen das Volumen der Filterschläuche (1,81 m³) ab, die zum Reingasvolumen zählen (im Rohgasraum hängende, von außen nach innen durchströmte Schläuche), verbleibt ein Netto-rohgasvolumen von 7,07 m³, das im Betrieb mit Staub beladener Luft gefüllt ist. Bei Schlauchfiltern vom Typ B, deren Filter-

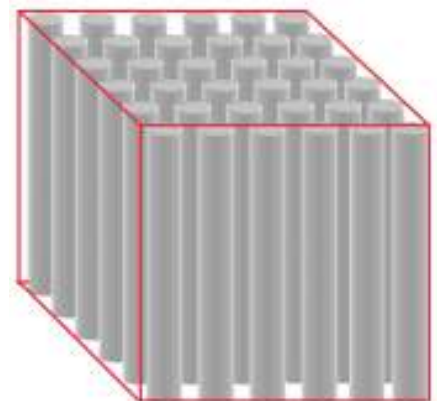


Bild 3 Hüllvolumen der Filterschläuche.

schläuche in einer engen Teilung angeordnet sind, ist es jedoch zulässig, für die Ermittlung des wirksamen Volumens nicht nur das Filterschlauchvolumen, sondern das sog. Hüllvolumen der Filterschläuche vom Rohgasvolumen abzuziehen (**Bild 3**).

Siwek nennt in [5] folgendes Kriterium für die Anwendbarkeit dieser Vorgehensweise: Das Hüllvolumen der Filterschläuche darf dann vom gesamten Rohgasvolumen abgezogen werden, wenn der kleinste Abstand zwischen den einzelnen Filterschläuchen bzw. zwischen den Filterschläuchen und der Gehäusewand kleiner oder gleich dem halben Filterschlauchdurchmesser ist (**Bild 4**). In leicht abgewandelter Form wurde dieses Kriterium auch in den Entwurf der neuen Richtlinie VDI 2263 Blatt 6.1 [6] aufgenommen. Dort entfällt die Forderung, dass auch der Wandabstand kleiner als der Filterschlauchradius sein muss.

Diese Voraussetzungen waren für das Versuchsfilter eindeutig erfüllt. Damit er-

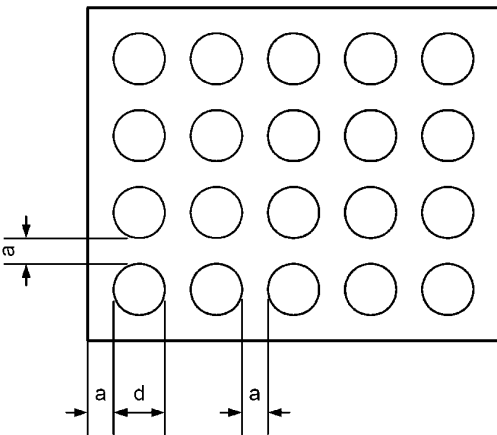


Bild 4 Filter-Lochboden des Versuchsfilters; Teilungskriterium.

gab sich ein wirksames Rohgasvolumen von lediglich 5,21 m³.

Mit diesen Parametern berechnete sich für die gewählte Auslegung (Entlastungsfläche $A_{EF} = 0,54 \text{ m}^2$, statischer Ansprechdruck $p_{stat} = 100 \pm 10 \text{ mbar}$) ein maximaler reduzierter Explosionsüberdruck von 145 mbar für ein wirksames Rohgasvolumen von 5,21 m³ (Hüllvolumen der Schläuche abgezogen) bzw. von 200 mbar für ein Rohgasvolumen von 7,07 m³ (nur Schlauchvolumen abgezogen).

Bei den Versuchen zur rohgasseitigen Entlastung des Filters mit Berstscheibe betrug der maximale gemessene reduzierte Explosionsüberdruck 122 mbar (**Bild 5**). Damit bestätigten sich die Erfahrungen aus den früheren Versuchen: Auch wenn die Rohgasstaubkonzentration während des

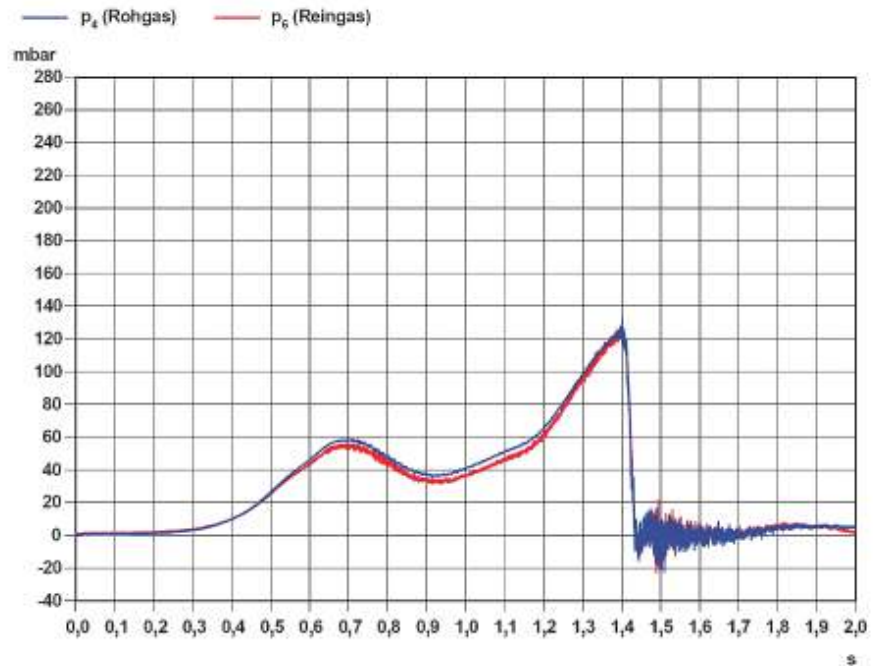


Bild 5 Beispielhafter zeitlicher Verlauf der maximalen reduzierten Explosionsdrücke im Rohgas- und im Reingasgehäuse des Filters (rohgasseitige Entlastung mit $p_{stat} = 100 \pm 10 \text{ mbar}$, $c_{Staub} = 150 \text{ g/m}^3$, ohne Druckstoßreinigung).

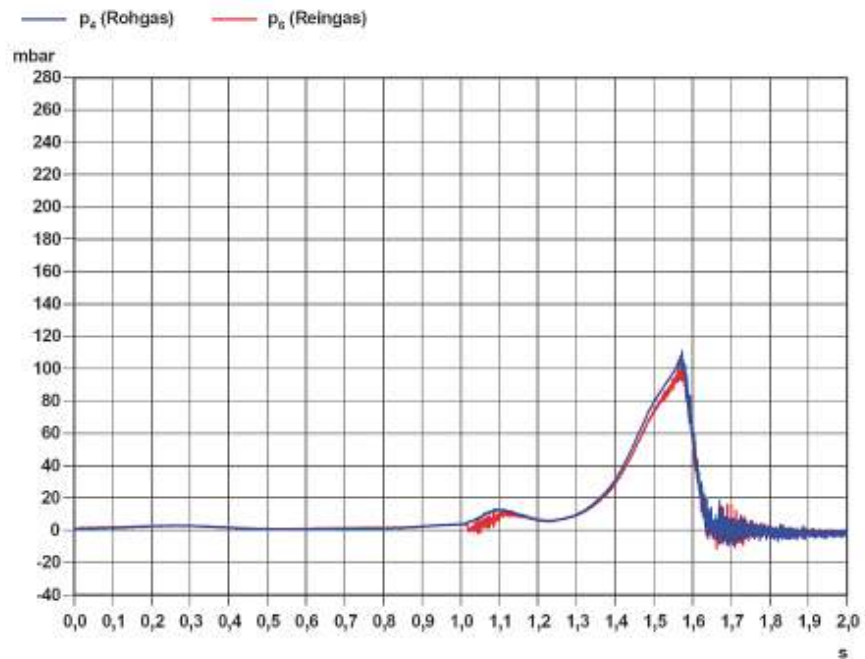


Bild 6 Beispielhafter zeitlicher Verlauf der maximalen reduzierten Explosionsdrücke im Rohgas- und im Reingasgehäuse des Filters (rohgasseitige Entlastung mit $p_{stat} = 100 \pm 10 \text{ mbar}$, $c_{Staub} = 30 \text{ g/m}^3$, während Druckstoßreinigung).

Betriebs mit ca. 150 g/m³ deutlich unterhalb der für eine Staubexplosion maximaler Heftigkeit optimalen Konzentration liegt, erhöht sich die Staubkonzentration im Falle einer Explosion um die durch die Druckwelle von den Filterschläuchen abgeschüttelte Staubmenge und nimmt somit kurzzeitig Werte in der Größenord-

nung der optimalen Konzentration an. Trotz der geringeren Startkonzentration kann der maximale reduzierte Explosionsüberdruck deshalb Werte in der gleichen Größenordnung erreichen, wie sie sich für die gegebenen Randbedingungen (Rohgasvolumen, Entlastungsfläche, Ansprechdruck der Berstscheibe, K_{ST} und p_{max} des

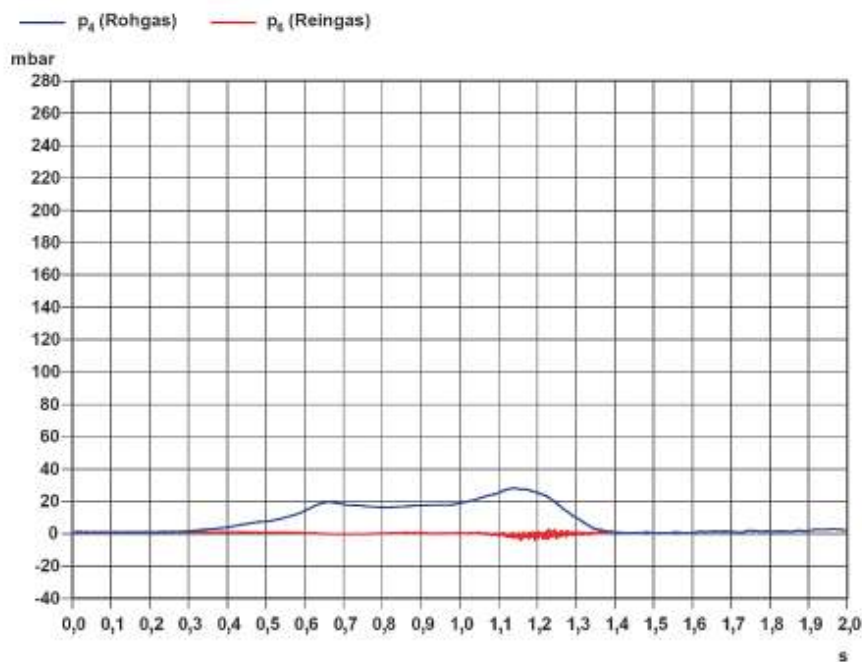


Bild 7 Beispielhafter zeitlicher Verlauf der maximalen reduzierten Explosionsdrücke im Rohgas- und im Reingasgehäuse des Filters (reingasseitige Entlastung über geöffneten Wartungsdeckel, $c_{\text{Staub}} = 150 \text{ g/m}^3$, ohne Druckstoßreinigung).

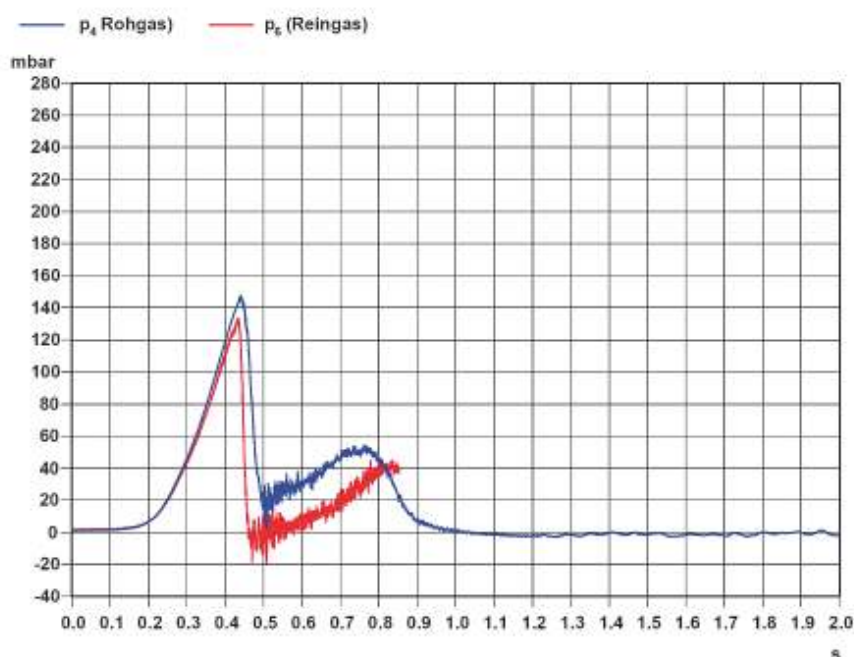


Bild 8 Beispielhafter zeitlicher Verlauf der maximalen reduzierten Explosionsdrücke im Rohgas- und im Reingasgehäuse des Filters (reingasseitige Entlastung mit $p_{\text{stat}} = 100 \pm 10 \text{ mbar}$, $c_{\text{Staub}} = 150 \text{ g/m}^3$, ohne Druckstoßreinigung).

Holzstaubs) aus einer Auslegungsrechnung gemäß VDI 3673 Blatt 1 bzw. DIN EN 14491 ergeben würde.

Es konnte auch nachgewiesen werden, dass dieser Effekt gleichermaßen für die Abreinigungsphase zu berücksichtigen ist: Bei Versuchen mit einer Rohgasstaubbelastung von $c_{\text{St}} \approx 30 \text{ g/m}^3$ gelang es im regulären Abscheidebetrieb erwartungsgemäß nicht, das Holzstaub/Luft-Gemisch im

Rohgasgehäuse des Filters zu entzünden. Bei gleicher Staubkonzentration, jedoch Zündung während des Betriebs der Druckstoßabreinigung traten hingegen maximale reduzierte Explosionsüberdrücke auf, die in der gleichen Größenordnung lagen, wie diejenigen Explosionsdrücke, die zuvor bei einer Rohgasstaubbelastung von $c_{\text{St}} \approx 150 \text{ g/m}^3$ – mit oder ohne Druckstoßreinigung gleichermaßen – bestimmt worden

waren (**Bild 6**). Der von den Filterschläuchen durch den Impuls der Druckstoßreinigung abgeschüttelte Staub wird im Rohgasraum dispergiert und erhöht bis zu seiner Sedimentation bzw. erneuten Abscheidung auf den Filterschläuchen das Staubangebot im Rohgasraum erheblich. Auch bei geringer Staubkonzentration in der Rohluft können somit während der Abreinigungsphase Staubkonzentrationen in Höhe der optimalen Staubkonzentration im Rohgasraum auftreten.

Reingasseitige Druckentlastung des Filters

In ersten Versuchen wurde das Versuchsfilters reingasseitig über den geöffneten Wartungsdeckel in der Filterdecke druckentlastet. Die Entlastungsfläche betrug dabei mit $1,85 \text{ m}^2$ ca. 73% der Querschnittsfläche des Filtergehäuses (zum Vergleich: Entlastungsfläche gemäß Auslegung: $0,54 \text{ m}^2$), die Öffnung blieb gänzlich unverschlossen („Anspruchdruck“: 0 mbar). Erwartungsgemäß wurde kein Druckanstieg im Reingasgehäuse des Filters beobachtet, im Rohgasgehäuse hingegen trat ein maximaler reduzierter Explosionsüberdruck von ca. 20 bis 30 mbar auf (**Bild 7**).

Die Druckwelle der rohgasseitig ausgelösten Explosion kann sich trotz der großen Fläche des geöffneten Wartungsdeckels nicht ungehindert in den Außenraum ausbreiten, sondern muss zunächst den Druckverlust der Filterschläuche und des Lochbodens überwinden. Es stand zu vermuten, dass unter den gegebenen Randbedingungen (Filtergeometrie, -typ, -schlauchqualität, Produkteigenschaften, Staubkonzentration, ...) wegen der additiven Überlagerung dieses „Grunddruckverlusts“ der maximale reduzierte Explosionsüberdruck bei reingasseitiger Druckentlastung dieses Filters um etwa diese 20 bis 30 mbar höher sein würde als das $p_{\text{red, max}}$ bei rohgasseitiger Entlastung mit gleicher Entlastungsfläche und gleichem Anspruchdruck. Versuche mit reingasseitig angeordneten Druckentlastungseinrichtungen mit unterschiedlichen Ansprechdrücken bestätigten diese Annahme (**Bild 8**).

Schnittstellen

Rohgasseitige Rückschlagklappe

Bei keinem Versuch der Versuchsreihe mit rohgasseitiger Druckentlastung des Filters wurde eine Flammenübertragung aus dem Filtergehäuse über die Rückschlagklappe hinweg in die Staub führende Rohgasleitung detektiert. Lediglich bei einem

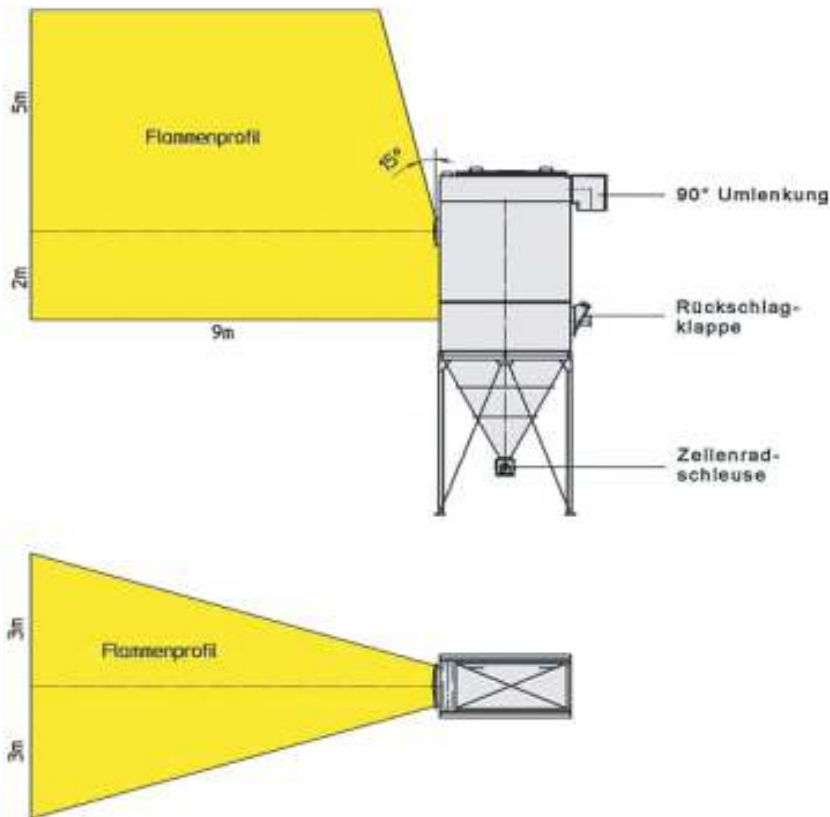


Bild 9 Geometrisch vereinfachtes maximales räumliches Flammenaustrittsprofil bei rohgasseitiger Entlastung des untersuchten Versuchsfilters (Auslegung der Druckentlastung auf $p_{\text{red, max}} = 130 \text{ mbar}$, Ansprechdruck der Druckentlastungseinrichtung $p_{\text{stat}} = 100 \pm 10 \text{ mbar}$, gültig für das Versuchsfilter unter den Versuchsrandbedingungen).

Versuch mit reingasseitiger Druckentlastung wurde ein Signal der Infrarotdetektoren an der Position unmittelbar stromauf der Rückschlagklappe aufgezeichnet. An der Messposition 5,5 m stromauf der Rückschlagklappe wurde kein Flammensignal beobachtet.

Reingasseitige 90°-Umlenkung mit Druckentlastung

In der reingasseitigen 90°-Umlenkung, die der explosionstechnischen Entkopplung des Reingaskanals dienen soll, befand sich eine Berstscheibe (statischer Ansprechdruck $p_{\text{stat}} = 100 \pm 10 \text{ mbar}$). Der Ansprechdruck der Berstscheibe wurde bei keinem Versuch mit ausreichend dimensionierter Druckentlastung des Filters erreicht – unabhängig davon, ob die Entlastungsöffnung im Rohgas- oder im Reingasgehäuse installiert war.

Eindeutige Flammensignale unmittelbar stromab der 90°-Umlenkung konnten bei keinem Versuch detektiert werden. Die bei zwei Versuchen mit reingasseitiger Druckentlastung des Filters festgestellten schwachen Signale an dieser Position sind vermutlich auf ein Hineinflackern der Explosionsflamme in den Reingaskanal zurückzuführen, eine weitere Flammenfortpflanzung in den Rückluftkanal fand wegen des

geringen lokalen Angebots an brennbarem Staub nicht statt.

Dies bedeutet allerdings auch, dass bei Vorhandensein von Staubablagerungen in der 90°-Umlenkung bzw. im anschließenden Rückluftkanal insbesondere bei reingasseitiger Druckentlastung des Filters ein gewisses Risiko der Flammenübertragung in den Rückluftkanal besteht. Da die Flammenbeschleunigung und der damit verbundene Druckanstieg in diesem Falle erst deutlich stromab der Berstscheibe auftreten wird, muss davon ausgegangen werden, dass die 90°-Umlenkung mit Berstscheibe keinerlei Entkopplung gegen Flammenübertragung darstellen wird. Es ist deshalb unabdingbar, durch Überwachung von Filterschlauchbrüchen bzw. Messung der Reingasstaubkonzentration sowie durch entsprechende organisatorische Maßnahmen (Reinigung) für weitestgehende Staubfreiheit des Rückluftkanals zu sorgen.

Flammenaustritt/Flammenreichweite

Nach DIN EN 14491 berechnet sich für das wirksame Rohgasvolumen von $5,21 \text{ m}^3$ die Flammenreichweite bei horizontaler rohgasseitiger Entlastung zu $L_F \approx 17 \text{ m}$, die Flammenbreite zu $W_F \approx 5 \text{ m}$. Bei rohgasseitiger Entlastung mit Berstscheibe ($p_{\text{stat}} = 100 \pm 10 \text{ mbar}$) betragen unter den bei der

Versuchsreihe gegebenen Randbedingungen die maximalen horizontalen Flammenreichweiten ca. 9 m, die maximale Flammenbreite in horizontaler Richtung ca. 6 m, in vertikaler Richtung ca. 6,5 m (**Bild 9**). Bei allen übrigen Versuchen (rohgasseitige Entlastungseinrichtungen auf 45°-Umlenkanal, vertikale reingasseitige Entlastung) fielen die beobachteten Flammenreichweiten in horizontaler Richtung noch geringer aus.

Einfluss des Filterdesigns auf den maximalen reduzierten Explosionsdruck und die Reichweite austretender Flammen

Bereits in [1] wurde die Hypothese aufgestellt, dass sich die beiden Schlauchfiltertypen

- Typ A: Filter mit innen beaufschlagten Filterschläuchen,
 - Typ B: Filter mit außen beaufschlagten Filterschläuchen in enger Teilung,
- im Falle einer Explosion im Rohgasgehäuse grundsätzlich unterschiedlich verhalten würden. Durch die hier beschriebenen Untersuchungen konnte diese Vermutung erhärtet werden.

Auslegung der Druckentlastungsfläche

Wie in [1] bzw. oben gezeigt muss die Auslegung der benötigten Entlastungsfläche für die rohgasseitige Druckentlastung eines Schlauchfilters nach den in [3] bzw. [4] angegebenen empirischen Zahlenwertgleichungen erfolgen, wobei das Filterdesign erheblichen Einfluss auf die korrekte Bestimmung des wirksamen Rohgasvolumens nimmt: Während sich das wirksame Rohgasvolumen bei Schlauchfiltern vom Typ A immer als Summenvolumen aus dem Volumen des Rohgasgehäuses und dem Filterschlauchvolumen zusammensetzt, wird bei Schlauchfiltern vom Typ B maximal das Volumen des Rohgasgehäuses abzüglich des Filterschlauchvolumens wirksam, bei entsprechend enger Teilung der Filterschläuche kann sogar das Hüllvolumen der Filterschläuche vom Volumen des Rohgasgehäuses abgezogen werden.

Maximaler reduzierter Explosionsüberdruck bei roh- und reingasseitiger Druckentlastung

Grundsätzlich führt die reingasseitige Druckentlastung eines Schlauchfilters bei gleicher Entlastungsfläche und gleichem statischem Ansprechdruck zu höheren maximalen reduzierten Explosionsdrücken als die rohgasseitige Entlastung, wobei auch hier das Filterdesign den Explosions-

verlauf im Filtergehäuse erheblich beeinflusst. Während bei dem VersuchsfILTER vom Typ A der maximale reduzierte Explosionsdruck bei reingasseitiger Druckentlastung etwa das zweifache des bei rohgasseitiger Druckentlastung auftretenden $p_{\text{red,max}}$ betrug [1], unterschieden sich die maximalen reduzierten Explosionsdrücke beim VersuchsfILTER vom Typ B nur um ca. 20 bis 50 mbar.

Flammenreichweite

Die empirischen Berechnungsgleichungen in [4] für die Abschätzung der maximalen Flammenreichweite und -breite beruhen auf einer Vielzahl von Versuchen mit entlasteten Behältern, in denen i. d. R. stöchiometrische oder überstöchiometrische Staub/Luftgemische zur Explosion gebracht wurden. Sie bilden die Einhüllende aller belastbaren Versuchsergebnisse ab und beschreiben somit den Worst-Case unter den Versuchsrandbedingungen. Spezielle Geometrien sowie die Auswirkung von Einbauten auf den Explosionsverlauf wurden bei diesen Untersuchungen nicht berücksichtigt. Insbesondere bei Filtern können diese Faktoren den Ablauf der Explosion jedoch wesentlich beeinflussen.

So wurden bei den Untersuchungen im Jahre 2005 mit dem VersuchsfILTER vom Typ A bei rohgasseitiger Druckentlastung Flammenaustritte beobachtet, die durchaus mit den berechneten korrelierten [1]. Gänzlich anders stellte sich die Situation bei den Versuchen mit dem zweiten Filtertyp (Typ B) dar: Während die Breite der austretenden Flamme in etwa mit der berechneten übereinstimmte, erreichte die horizontale Ausdehnung der Explosionsflamme nur ca. 50 % der berechneten Flammenlänge.

Zusammenfassung

Bereits im Jahre 2005 waren praxisnahe explosionstechnische Untersuchungen mit einem Versuchsholzstaubfilter vom Typ A durchgeführt worden. Aufgrund der Versuchsergebnisse wurde damals u. a. auch die Hypothese aufgestellt, dass das prinzipielle Filterdesign erheblichen Einfluss auf das Verhalten von Schlauchfiltern im Falle einer Explosion im Rohgasgehäuse nehmen würde. Diese Vermutung konnte in einer zweiten Versuchsreihe mit einem Versuchsholzstaubfilter vom Typ B bestätigt werden.

Zusammenfassend lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

– Es wurde nachgewiesen, dass auch bei Staubkonzentrationen in der Rohluft unterhalb der UEG (hier: $c_{\text{Staub}} \approx 30 \text{ g/m}^3 < \text{UEG} = 60 \text{ g/m}^3$) während der Abreinigungs-

phase Staubkonzentrationen in Höhe der für eine Staubexplosion maximaler Heftigkeit optimalen Staubkonzentration im Rohgasraum auftreten können. Die Auslegung der rohgasseitigen Druckentlastung eines Schlauchfilters muss somit grundsätzlich immer mithilfe der Berechnungsgleichungen aus [3; 4] erfolgen, und zwar unabhängig von der Bauart und auch dann, wenn nur geringe Staubkonzentrationen in zu entstaubenden Gasstrom vorliegen.

– Wird aufgrund der Risikobetrachtung ein autonomes Schutzsystem zur sicheren Explosionsentkopplung zwischen Filter und Rohgasleitung gefordert, ist zu beachten, dass eine Rückschlagklappe, wie sie üblicherweise am Eintritt derartiger Schlauchfilter eingesetzt wird, prinzipiell nur in seltenen, genau spezifizierten Anwendungsfällen die Anforderungen an ein

Schutzsystem im Sinne der Richtlinie 94/9/EG [7] erfüllen kann. Die Versuche mit einem Schlauchfilter vom Typ A hatten gezeigt, dass die verwendeten Rückschlagklappen in Staub führenden Leitungen keinesfalls eine sichere explosionstechnische Entkopplung darstellten [1]. Allerdings können derartige Rückschlagklappen die Wahrscheinlichkeit einer Explosionsübertragung in die Rohrleitung vermindern. Die Wirksamkeit als Maßnahme zur Verringerung der Übertragungswahrscheinlichkeit muss jedoch für das System nachgewiesen werden.

– Eine Wirksamkeit der 90°-Umlenkung mit Berstscheibe im Reingasaustritt als Schutzmaßnahme konnte bei dieser Versuchsreihe nicht festgestellt werden. Die 90°-Umlenkung mit Druckentlastung ist in ihrer Gesamtheit kein autonomes Schutzsystem im Sinne der Richtlinie 94/9/EG (allerdings jedoch die Berstscheibe). Für den Fall, dass die Reingaskanäle eine wesentlich geringere Druckstoßfestigkeit als das Filtergehäuse aufweisen, könnte die Berstscheibe in der 90°-Umlenkung des Reingaskanals als Schutzmaßnahme gegen eine Beschädigung des Reingaskanals durch den Explosionsüberdruck im Filtergehäuse wirken.

– Filterbrände ebenso wie Folgebrände nach einem Explosionsereignis sind i. d. R. mit einer starken Rauchentwicklung verbunden. Rückluftfilter, bei denen die Filterabluft in Arbeitsräume zurückgeführt wird, sollten deshalb unbedingt mit einer Klappe im Rückluftkanal ausgerüstet sein, die im Falle eines Filterbrands oder einer Explosion im Filter den Rückluftkanal verschließt, sodass die Brandgase ohne Gefährdung für Personen und Anlagenteile abgeleitet werden. Hierzu ist eine schnelle Erkennung des Explosionsereignisses notwendig. Thermomelder im Reingasaustritt, deren Wirksamkeit als Signalgeber zur Ansteuerung weiterer sicherheitstechnischer Maßnahmen (Rückluftklappe, Stillsetzen des Ventilators, ...) in dieser Versuchsreihe mit untersucht wurde, waren aufgrund der langen Ansprechzeiten für diese Aufgabe ungeeignet.

– Die beiden prinzipiell unterschiedlichen Schlauchfiltertypen Typ A und Typ B unterscheiden sich grundsätzlich in ihrem Verhalten im Falle einer Explosion im Rohgasgehäuse:

- Während zur Auslegung der benötigten Druckentlastungsfläche nach [3] bzw. [4] beim Filter des Typs A das gesamte Rohgasvolumen einschließlich des Filterschlauchvolumens als wirksames Volumen herangezogen werden muss, muss beim

Literaturverzeichnis

- [1] Schepp, P.; Radandt, S.: Explosionstechnische Untersuchungen an Schlauchfilteranlagen unter praxisnahen Bedingungen. VDI-Berichte Nr. 2024, S. 227-248. Düsseldorf: VDI-Verlag 2008.
- [2] Berufsgenossenschaftliche Information für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BGI) 739: Holzstaub – Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz beim Erfassen, Absaugen und Lagern. Hrsg.: Holz-Berufsgenossenschaft. Ausg.: 8/2002.
- [3] VDI 3673 Blatt 1: Druckentlastung von Staubexplosionen. Berlin: Beuth-Verlag 2002.
- [4] DIN EN 14491: Schutzsysteme zur Druckentlastung von Staubexplosionen. Berlin: Beuth-Verlag 2006.
- [5] Siwek, R.: Vorbeugen ist besser – Explosionsschutz in Filteranlagen. Chemie Technik (1999) Nr. 7, S. 28-30.
- [6] VDI 2263 Blatt 6.1 (Entwurf): Staubbrände und Staubexplosionen; Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen; Brand- und Explosionsschutz an Entstaubungsanlagen. Berlin: Beuth-Verlag 2008.
- [7] Richtlinie 94/9/EG des Europäischen Parlaments und Rats vom 23. März 1994 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (Atex 95). ABl. EG Nr. L 100 vom 19. April 1994.

Filter des Typs B nur das Netto-Rohgasvolumen (Volumen des Rohgasgehäuses abzüglich Filterschlauchvolumen bzw. abzüglich Hüllvolumen der Filterschläuche bei genügend enger Teilung) berücksichtigt werden.

● Die bereits in [1] ausgesprochene Vermutung, dass sich Filter vom Typ B grundsätzlich besser zur reingasseitigen Entlastung eignen als Filter vom Typ A ließ sich erhärten. Der Grund für das unterschiedliche Verhalten der beiden unterschiedlichen Filtertypen dürfte darin zu suchen sein, dass im Falle des reingasseitig entlasteten Filters mit außen beaufschlagten Filterschläuchen die im Rohgasraum auftretende Explosion zunächst über die große Oberfläche der Filterschläuche „entlastet“ wird (das von den Filterschläuchen umschlossene Volumen zählt ja bei diesem Design zum Reingasvolumen) und der Druckausgleich in den eigentlichen Reingasraum jenseits des Lochbodens bereits auf einem niedrigeren Druckniveau stattfindet. Im Gegensatz dazu breitet sich bei Filtern mit innen beaufschlagten Filterschläuchen die Explosion über den Lochboden und das zum Rohgasvolumen gehörende Filterschlauchvolumen aus, bevor sie über das Filterschlauchtuch in den Reingasraum entlastet wird. In der Praxis durch mangelnde Wartung oder Überfahren der Filterschläuche häufig auftretende „Betriebszustände“, die beispielsweise Brücken- und Nestbildung zwischen den Filterschläuchen zur Folge haben können, wurden bei dieser Versuchsreihe allerdings nicht untersucht.

● Bei ansonsten gleicher Auslegung der Druckentlastung können die Flammenreichweiten bei Schlauchfiltern vom Typ B deutlich geringer ausfallen als bei Filtern vom Typ A. Grundsätzlich kann also für ein spezielles Filterdesign oder ein Gesamtsystem bestehend aus Filter mit Druckentlastung und Peripherie (Rückschlagklappen, Austragsorgane, ...) und exakt definierte Betriebsbedingungen bei geeigneter Versuchsdurchführung durch experimentellen Nachweis ein günstigeres Flammenaustrittsprofil ausgewiesen werden, als es sich nach der Berechnung gemäß [4] ergeben würde.

TÜ 759



Dipl.-Ing. **Peter Schepp**, FSA – Forschungsgesellschaft für angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin mbH, Kappelrodeck.