

Selbstoptimierendes Abreinigungssystem für filternde Abscheider

AiF-FV-Nr.: 11127/B;

Forschungsstelle 1: Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA), Duisburg;

Forschungsstelle 2: Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH (ILK), Dresden

Dr.-Ing. Peter Frenzel; cand. ing. Sven Kurtze, Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden gGmbH,
Dipl.-Ing. P. Schluppkoth, Dr.-Ing. E. Erich, Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V.

IUTA und ILK haben in der Zeit von März 1997 bis August 1999 eine intelligente Steuerung für filternde Abscheider entwickelt. Zusätzlich wurde eine neue, schonende Methode zur Abreinigung von Schlauchfiltern getestet und vergleichend zur Jet-Impuls-Abreinigungsmethode bewertet.

1 Einleitung

Die Regenerierung von Filterschläuchen in filternden Abscheidern erfolgt hauptsächlich mit dem Druckluftimpulsverfahren /1/. Bei der Abreinigung des Staubes von den Filterschläuchen durch die energieintensiven Druckluftimpulse treten folgende unerwünschte Nebenwirkungen auf:

eine starke mechanische Beanspruchung des Filtermaterials durch das ruckartige Aus- und Zurückschlagen des Schlauches in und nach dem Regenerierungsprozeß,

ein erhöhter Staubdurchtritt durch das starke Abbremsen des Schlauches beim Zurückschlagen auf den Stützkorb,

ein schlechtes Sedimentieren des abgereinigten Staubes infolge der Zerstäubung des Staubkuchens in kleine Staubpartikel und deren große Beschleunigung in Richtung der anderen Filterschläuche.

Durch ein neu entwickeltes Regenerierungssystem /2,3/, Blähschlauchregenerierung genannt, sollen diese Nachteile beseitigt werden. Ziel des Einsatzes der Blähschlauchregenerierung ist dabei vor allem eine bessere Abscheideleistung am Filterschlauch im Vergleich zur konventionellen Druckluftimpulsregenerierung. Bei der Blähschlauchregenerierung befindet sich im Filterschlauch zusätzlich ein Schlauch aus elastischem Material (Blähschlauch), der den Druckluftimpuls aufnimmt, sich ausdehnt und durch das Aufblähen und Anschlagen an den umgebenden Filterschlauch eine schonende Abreinigung erreicht. Der Blähschlauch wirkt als Dämpfungsglied zwischen Druckluftimpuls und Filterschlauch.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurden Untersuchungen zur Blähschlauchregenerierung und zur konventionellen Druckluftimpulsregenerierung im Technikum und in einem Industriebetrieb durchgeführt. Dabei wurde vor allem der Einfluß der regenerierungstechnischen Parameter untersucht.

Für die Filtration und die Regenerierung wird am filternden Abscheider Energie benötigt, die durch einen Ventilator für den Staubluftstrom und einen Kompressor für die Druckluft bereitgestellt wird. Der Energieverbrauch pro Zeit kann für die Filtration als Filtrationsleistung und für die Regenerierung als Regenerierungsleistung dargestellt werden. Die filtertechnische Gesamtleistung des Abscheiders ist dann gleich der Summe aus Filtrations- und Regenerierungsleistung. Im Arbeitsbereich eines filternden Abscheiders ergibt sich ein Leistungsminimum, in dem der Abscheider die geringste Energie verbraucht. Das Aufsuchen, Einstellen und Überwachen des

Leistungsminimums sowie die Kontrolle der reingasseitigen Staubemission ist die Aufgabe der Regelung, die unter dem Begriff „Selbstoptimierendes Abreinigungssystem für filternde Abscheider“ entwickelt und erprobt wurde.

Ausgehend von einem erarbeiteten Systemmodell für den Steuer-/Regelungsprozeß wurde im Rahmen des Projekts ein Neuro-Fuzzy-Regler zur Regelung der selbstoptimierenden Abreinigung konzipiert und in den Industrieuntersuchungen im Vergleich zu den herkömmlichen Abreinigungssteuerungen getestet.

Die beiden Teilaufgaben zum Forschungsthema „Blähschlauchregenerierung und selbstoptimierendes Abreinigungssystem“ wurden in einer Gemeinschaftsarbeit zwischen dem Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V., Duisburg (IUTA) und dem Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH, Dresden (ILK) gelöst.

2 Technikumsuntersuchungen

Die Erprobung der Blähschlauchregenerierung wurde im Technikum des ILK Dresden an einem Versuchsstand durchgeführt. Zentrales Bauteil des Versuchsstandes war ein filternder Abscheider mit 9 Filterschläuchen. Die Untersuchungen erfolgten unter definierten und reproduzierbaren Bedingungen im Vergleich mit einer Druckluftimpulsregenerierung. Ziel der Untersuchungen war die Bestimmung der filter- und regenerierungstechnischen Einsatzmöglichkeiten und -grenzen der Blähschlauchregenerierung und damit die Schaffung von verfahrenstechnischen Grundlagen für einen späteren Praxiseinsatz.

Die Technikumsuntersuchungen erfolgten in einem Rundkammerabscheider. Der Versuchsstand ist in Bild 1 schematisch dargestellt. Der Luftvolumenstrom für den Abscheider und die Druckluft für die Regenerierung wurden durch die zentrale Luft- und Druckluftversorgung des Technikums bereitgestellt.

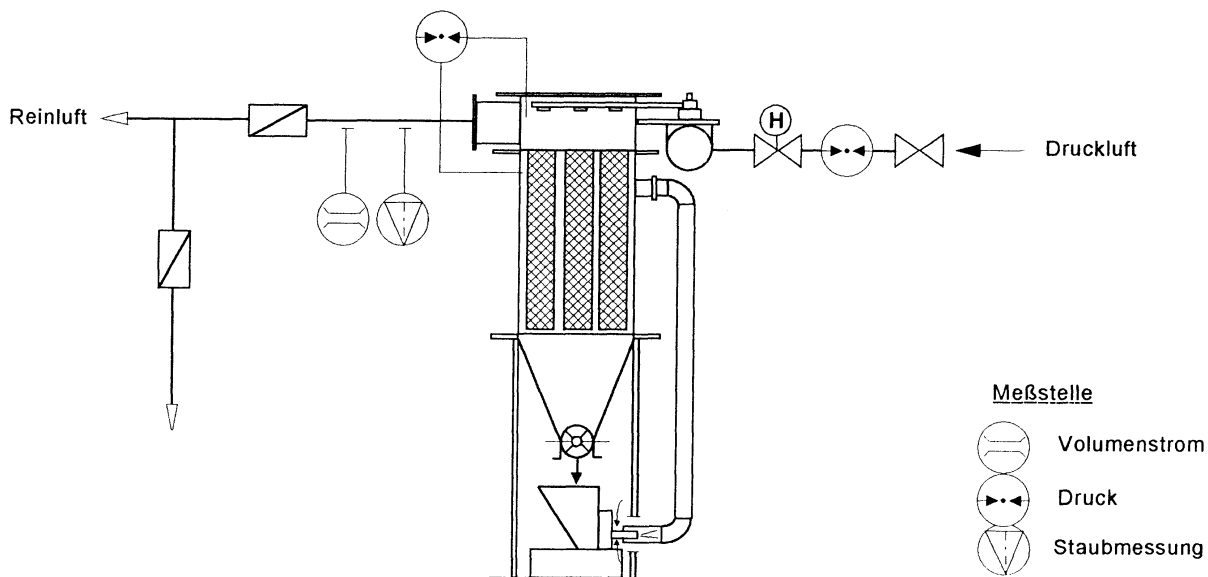


Bild 1: Anlagenschema des Versuchsstands

Die beiden Regenerierungssysteme arbeiten wie folgt:

Druckluftimpulsregenerierung

Über Druckluftventil, Düsenstock und Düsenbohrung wird in der Regenerierungsphase ein Druckluftimpuls als Freistrahle in den Filterschlauch eingeführt. Der Druckluftimpuls bewirkt eine kurzzeitige Unterbrechung der Filtrationsphase, eine Druckerhöhung im Filterschlauch, ein Aufblähen des Filterschlauches und eine Umkehr der Strömungsrichtung am Filtermaterial. Die bei diesem Vorgang auftretenden Druck-, Trägheits- und Strömungskräfte erzielen eine Abreinigung des abgeschiedenen Staubes vom Filterschlauch.

Bei beiden Regenerierungssystemen wirken die Druckluftimpulse nur kurzzeitig mit Impulszeiten kleiner 0,3 s. Eine Unterbrechung der Filtration erfolgt nur durch den Druckluftimpuls am jeweiligen Filterschlauch, der gerade regeneriert wird. Die anderen Filterschläuche verbleiben in der Filtrationsphase.

Blähschlauchregenerierung

Über Druckluftventil, Düsenstock, Düsenrohr und Schlauchkupplung wird in der Regenerierungsphase ein Druckluftimpuls als geführter Luftstrahl in den Blähschlauch eingeleitet. Der Druckluftimpuls führt zum Aufblähen, zum Anlegen des Blähschlauchs an den Filterschlauch und danach zum Aufblähen des Filterschlauches durch den Blähschlauch.

Die Filtration wird dabei kurzzeitig unterbrochen. Auftretende Trägheitskräfte und im geringen Maße Strömungs- und Druckkräfte durch die verdrängte Luft zwischen Bläh- und Filterschlauch erzielen eine Abreinigung des abgeschiedenen Staubes vom Filterschlauch. Nach Schließen des Druckluftventils wird der Blähschlauch über das Entspannungsventil am Düsenstock entlastet und in seine ursprüngliche, lose hängende Form zurückgedrängt.

Versuchsablauf

Die Untersuchungen zum Vergleich der beiden Regenerierungssysteme beinhalteten Messungen zum Druckverlust- und Abscheideverhalten der Filterschläuche in Abhängigkeit verschiedener filter- und regenerierungstechnischer Parameter. Ein wichtiger regenerierungstechnischer Parameter ist die Umlaufzeit der Druckluftimpulse. Die Umlaufzeit bestimmt die Häufigkeit der Regenerierung der Filterschläuche und damit die Regenerierungsfrequenz, den Druckluftverbrauch und den Energieverbrauch für die Regenerierung. Die Darstellung der Messergebnisse erfolgte in Abhängigkeit von der Umlaufzeit der Druckluftimpulse. In beiden Messreihen zum Vergleich der beiden Regenerierungssysteme wurde der Parameter Umlaufzeit variiert und die anderen Parameter auf einem gewählten Standardwert konstant gehalten.

Versuchsparameter

Umlaufzeit der Druckluftimpulse: $t_U = (60 - 1200) \text{ s}$

Standardgrößen

Filterflächenbelastung: $q = 105 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$

Rohluftstaubkonzentration: $k_{Roh} = 10 \text{ g m}^{-3}$

Impulszeit: $t_I = 160 \text{ ms}$

Regenerierungsdruck: $p_R = 4,5 \text{ bar Blähschlauchreg.}$

$p_R = 5 \text{ bar Druckluftimpulsreg.}$

Druckluftverbrauch pro Impuls

$V_{D,I} = 60 \text{ l}_N \text{ Blähschlauchreg.}$

im technischen Normzustand:

$V_{D,I} = 35 \text{ l}_N \text{ Druckluftimpulsreg.}$

Wegen der geringen Haltbarkeit der Blähschläuche bei hohen Regenerierungsdrücken wurde die Blähschlauchregenerierung mit einem etwas kleineren Regenerierungsdruck durchgeführt. Die Blähschlauchregenerierung benötigte für eine wirksame Regenerierung einen größeren Druckluftverbrauch pro Impuls im Vergleich zur Druckluftimpulsregenerierung. Der größere Druckluftverbrauch wurde über einen größeren Zuströmquerschnitt realisiert.

Der Ablauf der Versuche in den beiden Messreihen erfolgte jeweils von der geringeren zur größeren Umlaufzeit und damit von einer größeren zu einer geringeren Regenerierungsintensität. Die Messgrößen Druckverlust der Filterschläuche und Reinluftstaubkonzentration charakterisieren im Messprozess das Druckverlust- und Abscheideverhalten der Filterschläuche.

Die experimentellen Untersuchungen erfolgten mit dem Prüfstaub Mikro-Calcilin. Mikro-Calcilin ist ein Kalkstaub und wird zur Prüfung von textilen Filtermedien für filternde Abscheider eingesetzt /4/. Der Prüfstaub besitzt eine Dichte von $2,8 \text{ g cm}^{-3}$ und eine mittlere Partikelgröße von $3,5 \mu\text{m}$. Mikro-Calcilin wird der Staubklasse extra fein zugeordnet. Sehr feine Stäube bilden in der Regel einen dichten Staubkuchen auf der Filtermaterialoberfläche der Filterschläuche und lassen sich schwer abreinigen. Die Staubabscheidung von Mikro-Calcilin kann unter dem filtertechnischen Aspekt als schwieriger Einsatzfall eingeordnet werden und ist damit für die Erprobung der Blähschlauchregenerierung gut geeignet.

Ergebnisse der Untersuchungen

Als ausgewählte Ergebnisse sollen die Regenerierungsleistung der beiden Abreinigungssysteme gemäß Bild 2 und die mittlere Reinluftstaubkonzentration entsprechend Bild 3 dargestellt werden.

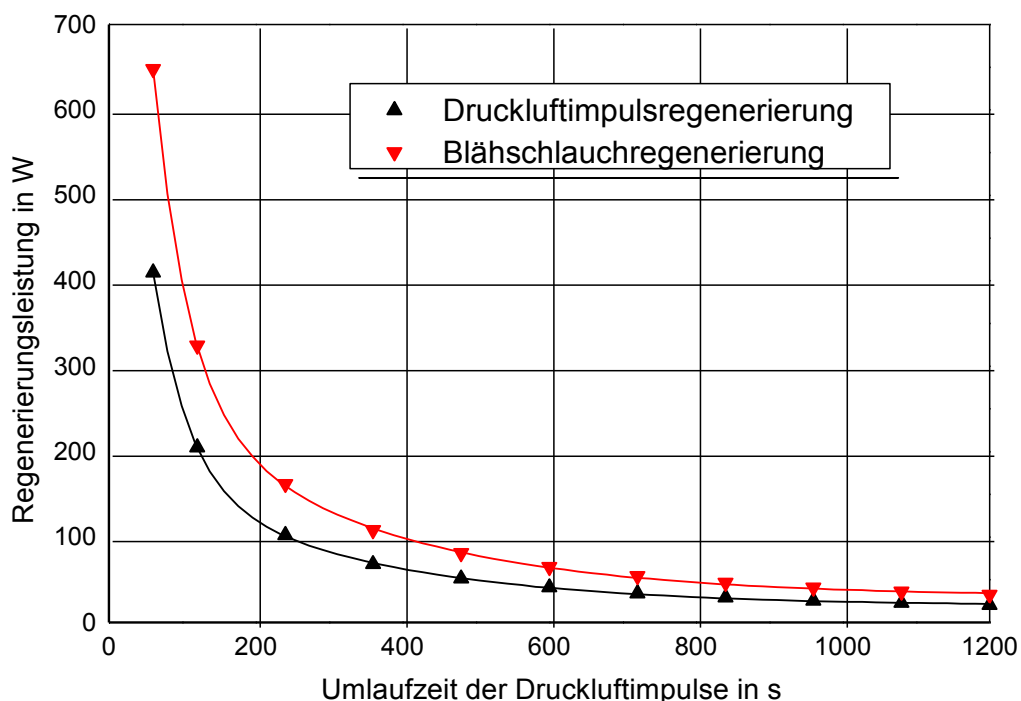


Bild 2:

Regenerierungsleistung des Abscheiders in Abhängigkeit von der Umlaufzeit der Druckluftimpulse

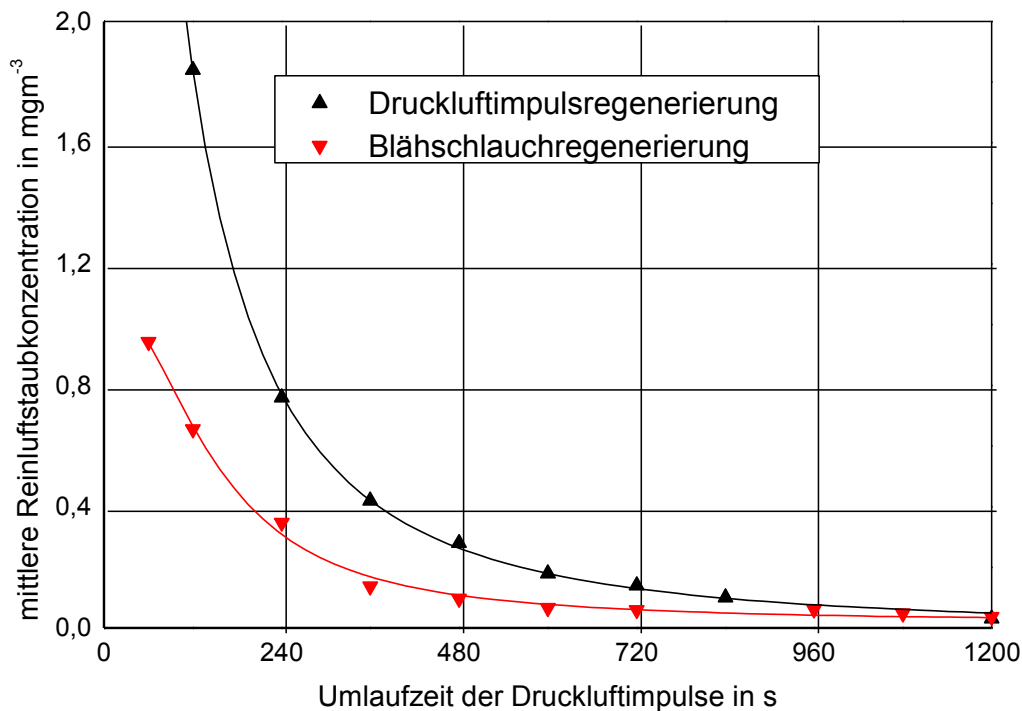


Bild 3: Mittlere Reinluftstaubkonzentration in Abhängigkeit von der Umlaufzeit

Zum Einsatz der beiden Regenerierungssysteme unter gleichen Einsatzbedingungen im Technikum lässt sich feststellen:

Die Regenerierung von Filterschläuchen mit dem Blähschlauchverfahren ist prinzipiell und mit guten filter- und regenerierungstechnischen Ergebnissen möglich. Die Blähschlauchregenerierung bewirkte beim „schwierigen“ Einsatzfall Mikro Calcilin eine erfolgreiche Abreinigung des Staubes mit einem guten Druckverlust- und einem sehr guten Abscheideverhalten.

Die Filterschläuche erzielten mit der Blähschlauchregenerierung ein besseres Abscheideverhalten mit geringeren Reinluftstaubkonzentrationen im Vergleich mit der Druckluftimpulsregenerierung. Eine wesentliche Verbesserung des Abscheideverhaltens zeigte sich vor allem bei einer häufigen Regenerierung mit kleinen Umlaufzeiten der Druckluftimpulse. Die angestrebte Verbesserung des Abscheideverhaltens der Filterschläuche bei Einsatz der Blähschlauchregenerierung wurde in den Untersuchungen bestätigt.

Im Vergleich zur Druckluftimpulsregenerierung zeigte die Blähschlauchregenerierung ein schlechteres Energieverhalten mit einer höheren Gesamtleistung des Abscheiders. Die dämpfende Wirkung des Blähschlauches auf den Druckluftimpuls führt zu einem größeren Energieverbrauch für eine wirksame Regenerierung. Die Druckluftimpulsregenerierung erzielte das bessere Energieverhalten mit einem geringeren Druckluftverbrauch und einem geringeren Druckverlust der Filterschläuche.

3 Industrieuntersuchungen

Die Industrieuntersuchungen wurden mit einem Schlauchfiltermodul von IUTA in einem metallerzeugenden Betrieb durchgeführt. Bild 4 zeigt den Aufbau des Schlauchfiltermoduls.

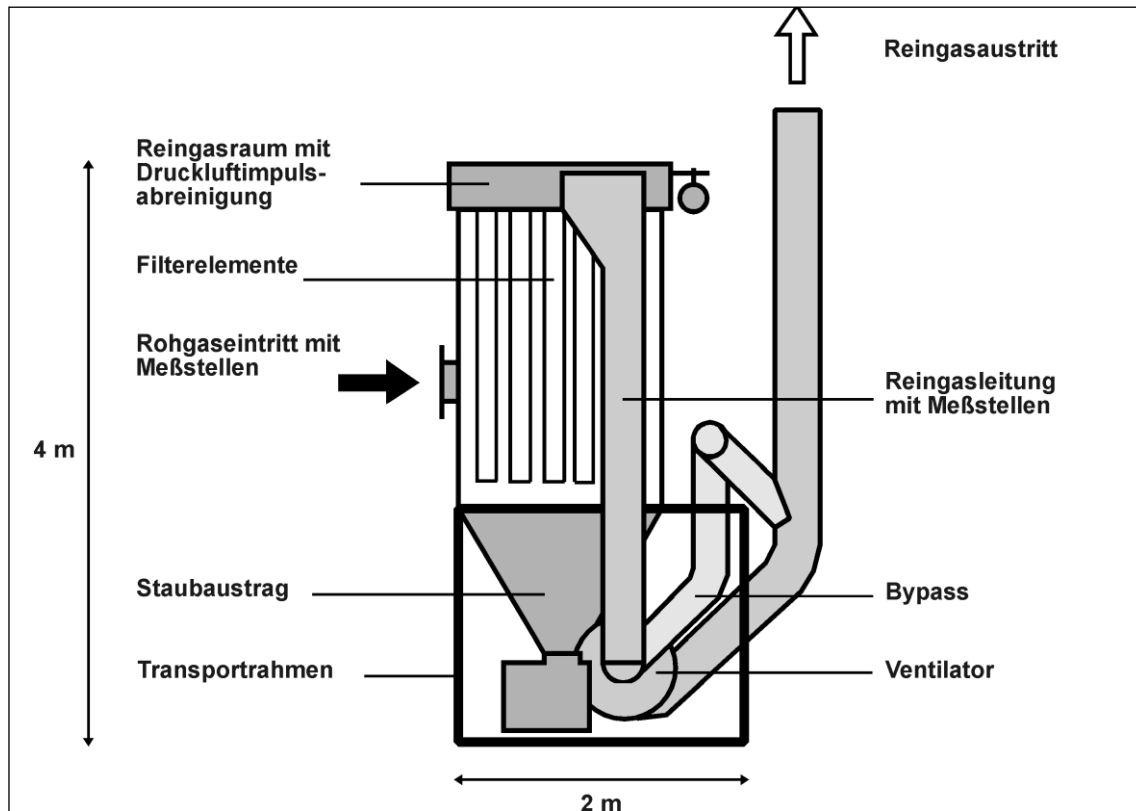


Bild 4: Aufbau des IUTA-Filtermoduls

Die Industrieuntersuchungen im Sinterbetrieb einer Industrieanlage wurden analog zu den Technikumsversuchen in zwei Schritten mit Variation des Abreinigungsverfahrens und der Steuerung der Abreinigung durchgeführt.

- 1) Versuche mit Pulse-Jet-Abreinigung und druckverlustgetakteter Steuerung
- 2) Versuche mit Blähschlauch-Abreinigung und zeitgetakteter Steuerung

Das Modul wurde dabei ausgehend von folgenden Standardeinstellungen für das Blähschlauchverfahren bzw. für das Pulse-Jet-Verfahren betrieben:

einem Volumenstrom von ca. 2000 Bm³/h,

einer mittleren Rohgasstaubkonzentration von ca. 10 g/Bm³,

20 eingebauten Textilschlauchfiltern in 5 Reihen (4 Schläuche pro Druckventil),

Impulszeiten von 160 ms,

Umlaufzeiten von 150 s bis 7000 s,

einem Speicherdruck bzw. Regenerierungsdruck im Druckbehälter von 6,5 bar abs. beim Blähschlauchverfahren, bzw. 6,3 bar abs. beim Pulse-Jet-Verfahren.

Versuche zur Pulse-Jet-Abreinigung

Um auf die wechselnden Betriebsbedingungen im Industriebetrieb flexibel in der Meßwerterfassung reagieren zu

können, wurde das Filtermodul in Versuchsreihe a) bei der Abreinigung mit Pulse-Jet zunächst druckverlustgetaktet betrieben. Beim Erreichen des oberen Druckverlustschaltpunktes wurde ein Abreinigungszyklus eingeleitet. Falls die Abreinigung mehrerer Filterreihen zum Erreichen des unteren Druckverlustschaltpunktes in einem Abreinigungszyklus notwendig waren, wurde mit einer voreingestellten Taktzeit t_T von 30 Sekunden zwischen den Druckluftimpulsen gereinigt. Aus den Meßwerten der sich einstellenden Pausenzeiten zwischen den Abreinigungszyklen und der Anzahl der benötigten Druckluftimpulse für einen Abreinigungszyklus wurde die Taktzeit $\overline{t_T}$ und der mittlere Filterdruckverlust $\overline{\Delta_{FE}}$ ermittelt. Über Multiplikation der mittleren Taktzeit mit dem Faktor 5 (5 Filterreihen á 4 Filterelemente) konnte die mittlere Umlaufzeit $\overline{t_U}$ der Abreinigung ermittelt werden.

Die Versuche wurden bei mittleren Rohgaskonzentrationen k_{Roh} von 7,5 bis 13,7 g/Bm³ und Filterflächenbelastungen q von 104 bis 129 m³/m²/h durchgeführt. Der Verlauf des mittleren Filterdruckverlustes $\overline{\Delta_{FE}}$ wie auch der Reingasstaubkonzentration $\overline{k_{Re}}$ wurde über die Meßdatenerfassung ermittelt und daraus die mittlere Taktzeit $\overline{t_T}$ bzw. mittlere Umlaufzeit $\overline{t_U}$ der Abreinigung sowie der mittlere zeitliche Filterdruckverlustgradient $\delta \overline{\Delta_{FE}} / \delta t$ und der Gesamtabscheidegrad R_G des Abscheiders (ausgehend von quasi konstanter Staubbichte) des Moduls bestimmt. Der Gesamtabscheidegrad R_G ergibt sich durch:

$$R_G = (k_{Roh} - \overline{k_{Re}}) / k_{Roh} .$$

Im weiteren wurden die für den Abscheiderbetrieb benötigte Regenerierungsleistung P_R , die Filtrationsleistung P_F und die Gesamtleistung P_G sowie der Druckluftverbrauch/1000 Bm³ Abluft ermittelt. Für die drei Leistungen gelten die folgenden Zusammenhänge /5,6/:

Filtertechnische Gesamtleistung

$$P_G = P_F + P_R$$

P_G - filtertechnische Gesamtleistung

P_F - Filtrationsleistung

P_R - Regenerierungsleistung

Filtrationsleistung

$$P_F = \overline{\Delta_{FE}} \cdot V_A$$

$\overline{\Delta_{FE}}$ - arithmetisches Mittel aller gemessenen Druckverlustwerte im stabilen Meßbereich.

V_A - Abscheidervolumenstrom

mit dem mittleren Druckverlust für eine einzelne Abreinigung

$$\overline{\Delta_{FE}} = \frac{\Delta_{FE,1} + \Delta_{FE,2}}{2}$$

Regenerierungsleistung

$m_{D,A}$ - mittlerer Druckluftverbrauch des filternden Abscheiders

$P_R = m_{D,A} \cdot e$ e = spezifische Arbeitsübertragung bei der Bereitstellung der Druckluft

- spezifische Arbeitsübertragung

$$e = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot R \cdot T_{R1} \left[\left(\frac{p_{R1}}{p_b} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 1 \right]$$

- Druckluftmenge pro Impuls und Druckluftventil

$$m_I = \frac{V_K \cdot p_{R1}}{R \cdot T_{R1}} \left[1 - \left(\frac{p_{R2}}{p_{R1}} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \right]$$

aus einer Massenbilanz am Druckluftspeicher

Annahme: isentrope Zustandsänderung, geschlossene Zuleitung,

- mittlerer Druckluftverbrauch des filternden Abscheiders

$$m_{D,A} = N_V \cdot \frac{m_I}{t_U}$$

mit

$$t_U = N_V \cdot t_T$$

- Regenerierungsleistung

$$P_R = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot N_V \cdot V_K \cdot p_{R1} \left[\left(\frac{p_{R1}}{p_b} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 1 \right] \left[1 - \left(\frac{p_{R2}}{p_{R1}} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \right] \cdot \frac{1}{t_U}$$

κ - Isentropenexponent, $\kappa = 1,4$ für Luft

N_V - Anzahl der Druckluftventile (Filterelementreihen) am filternden Abscheider

V_K - Volumen des Druckluftspeichers (Druckkessel)

p_{R1} - Ruhedruck im Druckluftspeicher vor dem Impuls

= Abreinigungsdruck p_R (Speicherruhedruck)

p_{R2} - Ruhedruck im Druckluftspeicher nach dem Impuls

p_{R1} und p_{R2} - gemessen bei geschlossener Druckluftleitung zum Druckluftspeicher

p_b - Umgebungsdruck

t_U - Umlaufzeit der Druckluftimpulse, bei druckverlustgetakteter Abreinigung $\overline{t_U}$

t_T - Taktzeit der Druckluftimpulse, bei druckverlustgetakteter Abreinigung $\overline{t_T}$

R - Gaskonstante, $R_G = 287 \text{ m}^2\text{s}^{-2}\text{k}^{-1}$ für Luft

T_{R1} - Ruhetemperatur im Druckluftspeicher vor dem Impuls

Versuche zur Blähschlauch-Abreinigung

In den Voruntersuchungen zeigte sich, daß die Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR)-Schläuche mit einer Nennweite von 110 mm grundsätzlich für den Einsatz als Blähschlauchmaterial im Industriefiltermodul geeignet sind. Ab einem Speicherdruck von 6,0 bar abs. preßten sich die Schläuche durch die Gitterstruktur des Metall-Stützkorb und übertrugen auf den Textilfilter einen mechanischen Impuls, wodurch der anhaftende Staub abgelöst wurde. Allerdings waren die Ausdehnungsgeschwindigkeit und damit die Impulsstärke sowie die Abreinigungsleistung, zu erkennen anhand des sich einstellenden Filterdruckverlustes, beim Aufblähen unbefriedigend. Dies führte, wie auch aus den Technikumsversuchen bekannt, zu einer mangelhaften Abreinigung der Textilfilter und der Filterdruckverlust stieg trotz der Abreinigung mit einer relativ niedrigen Taktzeit in den instabilen Bereich an.

Die Industrieuntersuchungen mit dem IUTA-Filterprüfstand zeigen, daß sich sowohl bei der Pulse-Jet- wie bei der Blähschlauch-Abreinigung ein Leistungsminimum des Gesamtenergieverbrauchs bei Umlaufzeiten im Bereich von ca. 400 bis 500 Sekunden einstellt. Ein günstiger Betrieb des Abscheiders liegt bei der Pulse-Jet-Abreinigung im Bereich von Umlaufzeiten von 400 bis 1000 Sekunden mit mittleren Filterdruckverlusten von 3,5 bis 4,5 mbar und bei der Blähschlauch-Abreinigung im Bereich von Umlaufzeiten von 400 bis 600 Sekunden mit mittleren Filterdruckverlusten von 6 bis 7 mbar (Bild 5 und 6).

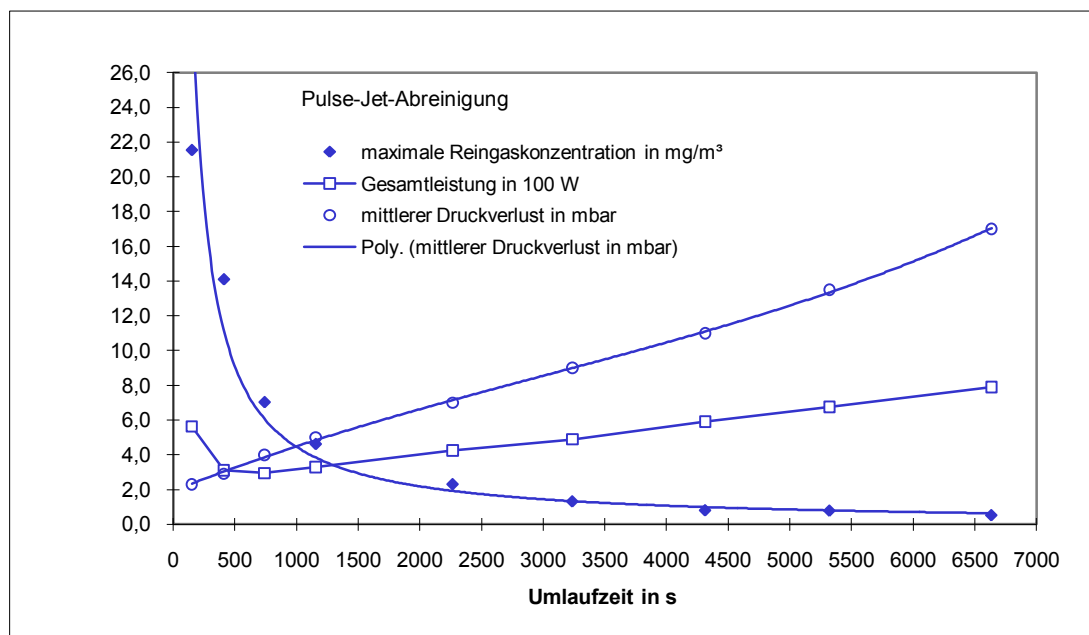


Bild 5: Maximale Reingasstaubkonzentration, filtertechnische Gesamtleistung und mittlerer Filterdruckverlust in Abhängigkeit von der Umlaufzeit, Pulse-Jet-Abreinigung

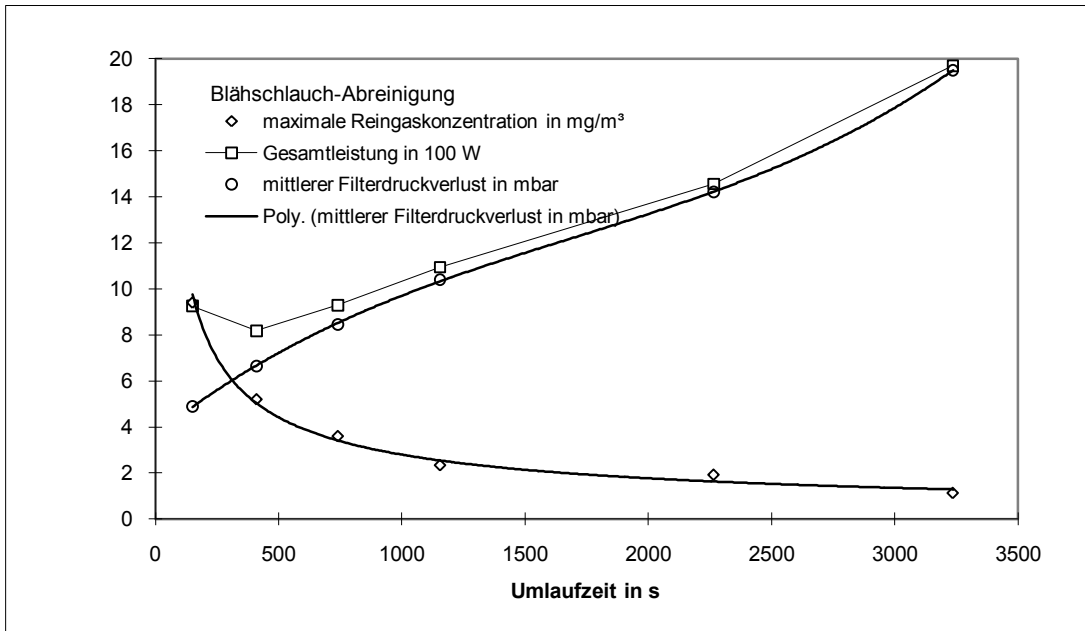


Bild 6: Maximale Reingasstaubkonzentration, filtertechnische Gesamtleistung und mittlerer Filterdruckverlust in Abhängigkeit von der Umlaufzeit, Blähschlauch-Abreinigung

Die im Technikum und am IUTA-Filterprüfstand durchgeführten Untersuchungen liefern folgende Kernaussagen zum Blähschlauchverfahren im Vergleich zum Pulse-Jet-Verfahren:

Der mittlere Filterdruckverlust nach der Abreinigung liegt in Abhängigkeit von der Umlaufzeit um 100 bis 130 % höher als bei der konventionellen Druckstoß- bzw. Pulse-Jet-Abreinigung, da eine Filterhilfsschicht aus Staub auf dem Textilschlauchfilter weitgehend erhalten bleibt. Dadurch bleibt das Textilmaterial vor Staubeinlagerungen, Porenrisen und Durchtritten von Staubpartikeln weitgehend geschützt.

Bei der Blähschlauchabreinigung ergibt sich ein kleinerer zeitlicher Druckgradient am Filter aufgrund des günstigeren Wiederanlagerungs- und Einlagerungsverhaltens des Staubes an und in das Filtertuch durch Erhalt der Filterhilfsschicht während der Abreinigung.

Durch die schnelle Staubabführung und günstige Sedimentation der abgereinigten Staub-Agglomerate des Filterkuchens wird die Wiederanlagerung von dispergierten Staub an benachbarte Filterelemente und damit der "Teppichklopfeffekt" der Pulse-Jet-Abreinigung vermieden.

Es ergeben sich beim Blähschlauchverfahren ähnlich lange Filtrationszeiten wie bei der konventionellen Druckstoßabreinigung.

Der Energieverbrauch bei der Blähschlauchabreinigung liegt in Abhängigkeit von der Umlaufzeit entsprechend dem sich einstellenden höheren Filterdruckverlustniveau und der entsprechend höheren Filtrationsleistung um 60 bis 300 % höher als bei der Pulse-Jet-Abreinigung.

Die Reingasstaubgehalte sowohl als Maximal- wie auch als Mittelwerte liegen mit abnehmender Umlauf- bzw. Taktzeit bei Blähschlauch-Abreinigung um bis zu 50% niedriger als beim Pulse-Jet-Verfahren.

Es wurden innerhalb einer dreimonatigen Betriebsdauer keine Risse an den Textilfiltern festgestellt. Die Staubeinlagerung im Filtertuch im Vergleich zur Druckstoßregenerierung war deutlich geringer. Die gewebeschonende Abreinigung läßt anhand der überprüften Staubeinlagerung erheblich längere Filtertuchstandzeiten beim Blähschlauchverfahren im Vergleich zum Pulse-Jet-Verfahren erwarten.

Das Blähschlauchverfahren zeigt im Vergleich zur Druckstoßregenerierung ein empfindlicheres Verhalten des Abreinigungssystems. Die Abreinigungsparameter Speicherruhedruck, Impulszeit und Umlaufzeit der

Druckluftimpulse sowie die Schlauchgeometrie und Druckluftversorgung müssen sorgfältig auf Rohgasstaubgehalte und betriebliche Randbedingungen abgestimmt werden, um eine Schädigung der Blähschläuche auszuschließen.

Das Blähschlauchmaterial erreichte Standzeiten von ca. 1000 Betriebsstunden bis zur Reißbildung aufgrund von fertigungsbedingten Material-Inhomogenitäten. Eine weitere Optimierung des Materials ist diesbezüglich notwendig, um konkurrenzfähige Standzeiten von ca. 3-5 Jahren bei Standardbetrieb zu erreichen.

Die Reingasstaubgehalte sowohl als Maximal- wie auch als Mittelwerte liegen bei der Blähschlauchabreinigung um bis zu 50% niedriger als beim Pulse-Jet-Verfahren (Bild 7). Diese Differenz wird bei steigenden Umlaufzeiten kleiner und bei einer Umlaufzeit von ca. 1000 s für die Mittelwerte bzw. 3000 s für die Maximalwerte zu null, da bei größeren Umlaufzeiten auch beim Pulse-Jet-Verfahren die schützende Filterhilfsschicht bei der Abreinigung erhalten bleibt.

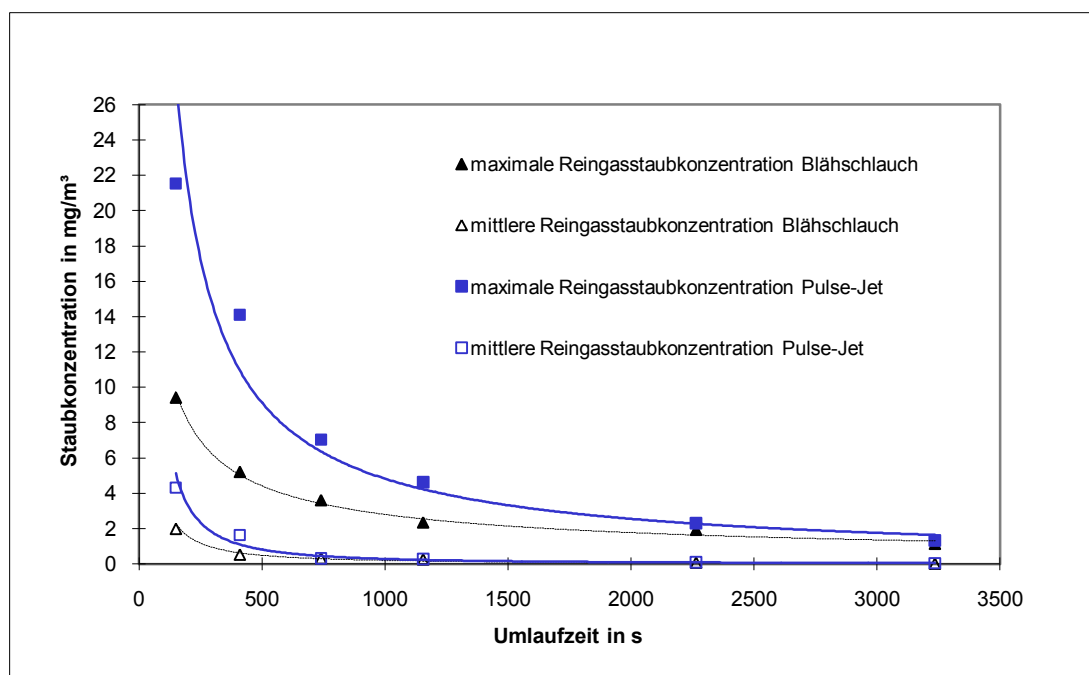


Bild 7: Maximale und mittlere Reingasstaubkonzentration in Abhängigkeit von der Umlaufzeit bei Blähschlauch- und Pulse-Jet-Abreinigung

Der Energieverbrauch bei der Blähschlauchabreinigung liegt in Abhängigkeit von der Umlaufzeit, entsprechend dem sich einstellenden höheren Filterdruckverlustniveau bei geringerem Druckverlustgradienten und der entsprechend höheren Filtrationsleistung, um 60 bis 300 % höher als bei der Pulse-Jet-Abreinigung.

4 Erstellung einer speicherprogrammierbaren Mikroprozessorsteuerung

Im Rahmen des Projektes war ein Systemmodell für einen Steuer- und Regelungsprozeß zur selbstoptimierenden Filterabreinigung zu entwerfen und in das Filtermodul zu integrieren. Diese Neuro-Fuzzy-Regeleinheit wurde im Industrieinsatz getestet und weiterentwickelt.

Um für die speicherprogrammierbare Mikroprozessorsteuerung in Verbindung mit einer zuschaltbaren Neuro-Fuzzy-Regelung Industriestandard für die selbstoptimierende Abreinigung der Filtermodule des IUTA und des ILK

zu realisieren, wurden für die Steuerung/Meßwerterfassung von Siemens die Simatic S7 314 FM und für die Regelung der S7-Standard-Baustein DB 30, FB 30 ausgewählt.

Das Gesamtkonzept der selbstoptimierenden Abreinigungssteuerung ist in Bild 8 dargestellt.

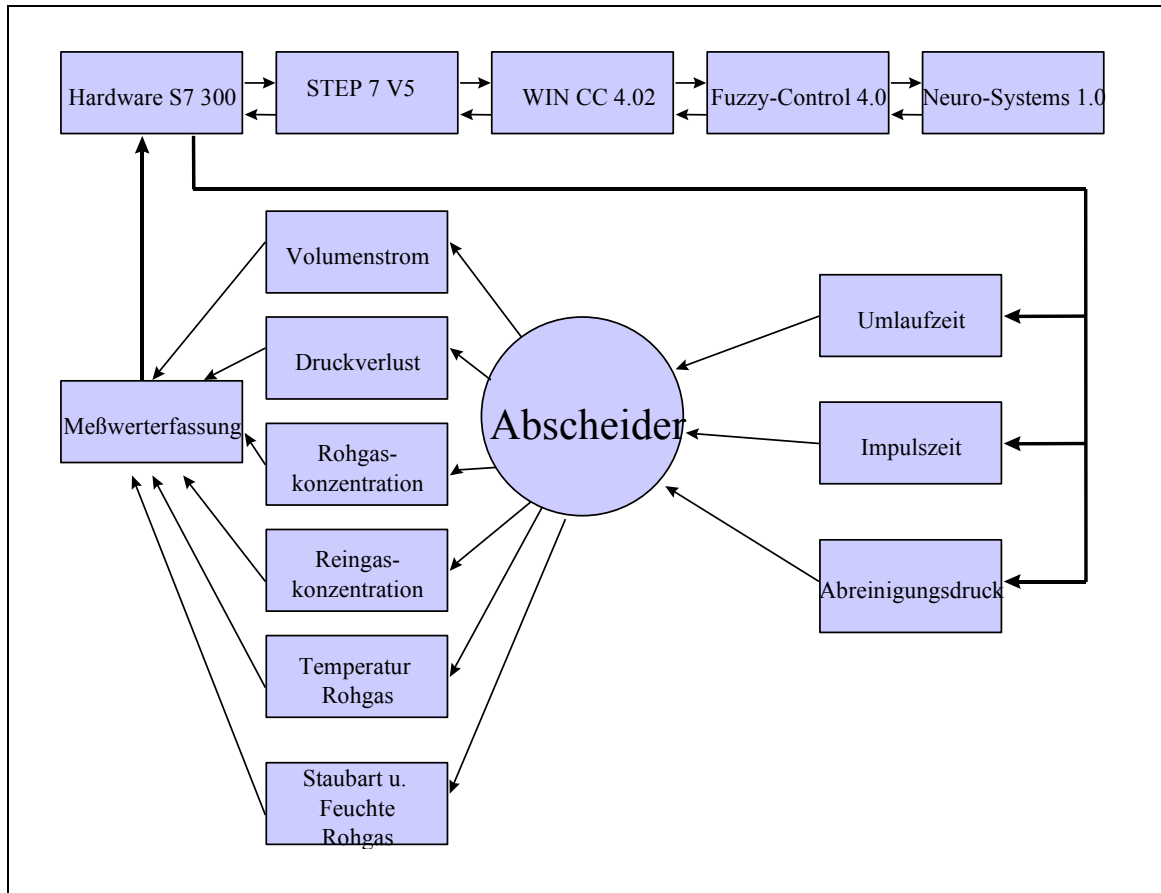


Bild 8: Gesamtkonzept der selbstoptimierenden Abreinigungssteuerung

Für den Versuchsbetrieb wurde neben der Zeitsteuerung mit einstellbarer Takt- und Pausenzeit, eine Druckverluststeuerung mit Einstellung der Abreinigungsschaltpunkte über den Filterdruckverlust realisiert.

Darüber hinaus wurde eine zuschaltbare Fuzzy-Regelung mittels Standardsoftware (Fa. Siemens) implementiert. Sie paßt die Taktzeit als Stellgröße über die eingestellten Parameterbeziehungen laufend hinsichtlich des Optimums bezüglich Energieverbrauch und Reingasemission als Regelgrößen in Abhängigkeit von Rohgaskonzentration, Filterdruckverlust sowie Filterdruckverlustgradient als Folgegrößen an. Die Meßwerterfassung über die WinCC-Software der Firma Siemens und die Programmabarbeitung der SPS Simatic S7 der Firma Siemens erfolgt mit Scan- bzw. Zykluszeiten von 30 ms und erreicht somit eine extrem hohe Auflösung. Dies ist bei den sehr kurzzeitigen Peaks der Staubkonzentration im Reingas erforderlich. Die SPS kann damit sehr frühzeitig ein sich veränderndes Systemverhalten und Parameter Trends in den vorgegebenen Grenzen erkennen und die Stellgröße diesbezüglich anpassen /7, 8, 9/.

Die Neuro-Fuzzy-Regelung der selbstoptimierenden Abreinigung

Unter Berücksichtigung der Kompatibilität zur gängigen Meß-/Steuer- und Regelsoftware wurden die Neuro-

Fuzzy-Tools der Fa. Siemens als Softwarekomponenten modifiziert und für die Industrie- bzw. Technikumsuntersuchungen in die S7-Hardware zur Regelung des Filtersystems in Form von S7-Standardsoftwarebausteinen DB 30, FB30, DB 100, FB 100 aus der S7-Fuzzy- bzw. Neuro-Bibliothek /7, 8/ implementiert.

Mit Hilfe dieses Fuzzy-Modells konnte eine parameterbezogene Verstellstrategie realisiert und die Fuzzy-Regelung an das Filtersystem adaptiert werden. Die Verstellstrategie wurde auf Basis der Erfahrungen über das Systemverhalten des Filtersystems aus den Industrie- und Technikumsuntersuchungen erstellt und laufend verfeinert.

Testbetrieb des selbstoptimierenden Abreinigungssystems

Vom Neuro-Fuzzy-Regler des selbstoptimierenden Abreinigungssystems war zunächst ein Steuervorgang einzuleiten, in dem er ausgehend von Erfahrungswerten, den Betriebspunkt der minimalen filtertechnischen Gesamtleistung des Filtersystems in einem gewählten Arbeitsbereich schrittweise über die Variation der Taktzeit als der Stellgröße einstellte. Dabei ist das Filtersystem eines filternden Abscheiders durch eine innere Trägheit gekennzeichnet. Wird das Gleichgewicht zwischen Filtration und Regenerierung durch die Veränderung der Stellgröße gestört, so wird ein gewisser Zeitraum für die Einstellung des neuen Gleichgewichts benötigt /6/. Diese Trägheit ist eine Eigenschaft, die von den speziellen filter- und regenerierungstechnischen Einflußgrößen des Abscheiders bestimmt wird und für die Neuro-Fuzzy-Regelung zur Abreinigung in Randbedingungen formuliert werden muß. Im Steuervorgang (Veränderung der Stellgröße) zeigt sich die Trägheit des Filtersystems in einem kontinuierlichen, nicht sofortigen Anstieg des Filterdruckverlustes bis zum neuen konstanten Filterdruckverlustwert. Dieser konstante Wert stellt sich erst nach einer Reihe von Abreinigungszyklen ein.

Eine Aufgabe des Neuro-Fuzzy-Reglers ist es, in einem Kontrollvorgang /6/ diese Systemträgheit zu berücksichtigen, als weitere Randbedingungen zu berechnen und die Taktzeit zwischen den Abreinigungsimpulsen einzustellen. Das Ergebnis ist mit den Erfahrungswerten (Gütekriterien) der vorangegangenen Abreinigungen zu vergleichen und es ist zu entscheiden, ob die Abreinigung für eine Filterreihe bzw. für das Gesamtfiltersystem den vorgegebenen Gütekriterien der Relationsmatrix entspricht. Dann ist zu entscheiden, ob der Abreinigungsvorgang beendet ist oder fortgesetzt werden muß. Im weiteren entscheidet der Fuzzy-Regler, ob die neue Randbedingungen des Filtersystems, z. B. Änderung der Staubkonzentration im Rohgasstrom, zu berücksichtigen und neu zu berechnen sind. Durch Änderung der Stellgröße wird der Betriebspunkt der minimalen filtertechnischen Gesamtleistung im stabilen Arbeitsbereich jeweils neu eingestellt.

Für die weiteren Industrieuntersuchungen waren der Gesamtfilerdruckverlust, die Anzahl der Abreinigungsimpulse für jede Schlauchreihe pro Zeiteinheit bzw. die Umlaufzeit, der zeitliche Filterdruckverlustgradient, die Staubkonzentration im Reingas, als Folge der Abreinigung einer Filterreihe bzw. des Gesamtsystems, die Rohgasstaubkonzentration und der Gesamtvolumenstrom durch den Abscheider die Eingangsparameter des Fuzzy-Reglers. Dabei wurden die Größen Dauer und Druck des Abreinigungsimpulses als Konstanten vorgegeben. Als Stellgröße des Reglers wurde die Taktzeit bzw. die Anzahl der Impulse pro Textilfilterschlauch und Zeiteinheit als die das Systemverhalten am stärksten beeinflussende Stellgröße für die Abreinigung einer Filterreihe gewählt /6/. Die Verringerung des Filterdruckverlustes pro Impuls und der zeitliche Gradient des Filterdruckverlustes nach der Abreinigung des Gesamtsystems sowie der Gesamtenergieverbrauch pro Massenanteil Staub (für den Filterbetrieb und die Regenerierung des Filters) werden vom Fuzzy-Regler berechnet. Diese Werte werden mit vorgegebenen Gütekriterien der Relationsmatrix verglichen und gegebenenfalls die Stellgröße verändert, um das Optimum von minimaler filtertechnischer Gesamtleistung bei gleichzeitiger minimaler Reingasstaubemission wieder zu erreichen.

Bild 9: Abreinigungsparameter der Neuro-Fuzzy-gesteuerten Blähschlauch Abreinigung im Testbetrieb des IUTA-Filtermoduls

In Bild 9 sind einige Ergebnisse des Testbetriebs des selbstoptimierenden Abreinigungssystems mit Neuro-Fuzzy-geregelter Blähschlauch-Abreinigung aus den Industrieuntersuchungen dargestellt. Die Abreinigungsrandparameter (t_i , P_{R1} , P_{R2} , T_{R1}) haben die gleichen Einstellungen wie in den Industrieuntersuchungen zur Blähschlauchabreinigung. In Bild 9 sieht man deutlich wie die Neuro-Fuzzy-Regelung auf die schwankende Rohgaskonzentration durch die schnelle Einstellung der Taktzeit reagiert, was bei den herkömmlichen Abreinigungsverfahren nur bedingt, mit einer großen Trägheit und erhöhtem Reingasstaubkonzentrationen realisiert wird. Die Neuro-Fuzzy-Regelung hält dabei den mittleren Filterdruckverlust bei etwa 7,5 mbar, die maximale Reingasstaubkonzentration unter 3 mg/Bm³ und den Volumenstrom quasi konstant bei 2000 m³/h.

Somit wurden mit diesen Einstellungen für die Blähschlauch-Abreinigung die geforderten Gütekriterien der Neuro-Fuzzy-Regelung der Abreinigung weitgehend erfüllt.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen eines von der AiF geförderten Forschungsvorhabens wurden Untersuchungen zur Blähschlauchregenerierung und zur konventionellen Druckluftimpulsregenerierung im Technikum und in einem Industriebetrieb durchgeführt. Zusätzlich wurde eine Mikroprozessorsteuerung, mit deren Hilfe der Energieverbrauch und die Reingasemissionen des filternden Abscheiders gesenkt werden kann, entwickelt und erprobt.

Es ergaben sich folgende Ergebnisse des Projekts zur Blähschlauchabreinigung:

Die Reingasstaubgehalte sowohl als Maximal- wie auch als Mittelwerte lagen mit abnehmender Umlauf- bzw. Taktzeit beim Blähschlauch-Verfahren um bis zu 50% deutlich niedriger als beim Pulse-Jet-Verfahren.

Der Energieverbrauch bei der Blähschlauchabreinigung liegt bei dem sich einstellenden höheren Filterdruckverlustniveau bei geringerem Druckverlustgradienten und der entsprechend höheren Filtrationsleistung um 60 bis 300 % höher als bei der Pulse-Jet-Abreinigung.

Das eingesetzte Blähschlauchmaterial erreichte nur Standzeiten von 1000 Betriebsstunden bis zur Rißbildung. Für den großtechnischen Einsatz muß ein robusteres Material integriert werden.

Für die Mikroprozessor gestützte Steuerung des Filtermoduls wurde ein Rechenprogramm zur Bestimmung der filtertechnischen Gesamtleistung entwickelt und ein Meßprogramm zur Ermittlung der Hauptmeßgröße Filterdruckverlust integriert. Zur intelligenten Steuerung des Staubabscheiders wurde ein Fuzzyprogramm zur Überwachung des optimalen Betriebspunktes bei minimalem Energieverbrauch bei gleichzeitig reduzierten Emissionswerten in Reingas aufgerüstet und installiert.

Die Meßwerterfassung und die Programmabarbeitung der speicherprogrammierbaren Steuerung erreicht durch hohe Meß- und Rechengeschwindigkeiten eine extrem feine Auflösung und erfaßt sehr kurzzeitige Staubkonzentrationsspitzen im Reingas. Die SPS kann nach Auffinden und Einstellung des Betriebsbereichs des minimalen Energieverbrauchs bei sehr geringen Reingasstaubemissionen des Abscheiders sehr frühzeitig ein sich veränderndes Systemverhalten und Parametertrends in den vorgegebenen Grenzen erkennen und die Stellgröße Umlaufzeit nach den programmierten Neuro-Fuzzy-Algorithmen anpassen.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des AIF-Forschungsvorhabens Nr. 11127/B durchgeführt und wurden aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft

industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ gefördert. Dem BMWi und der AIF wird für die Förderung gedankt.

Literatur

- /1/ Löffler, F.; Dietrich, H.; Flatt, W.: Staubabscheidung mit Schlauchfiltern und Taschenfiltern. Braunschweig: Verlag Vieweg 1991
- /2/ Pilz, T.; Löffler, F.; van Ackeren, P.: Filterschlauchabreinigung mittels eines membranumschlossenen Gasdruckstoß- Abreinigungssystems.
Staub-Reinhaltung der Luft 54(1994), 175 – 181
- /3/ van Ackeren
Vorrichtung zum Abreinigen eines Schlauchfilters
Patentschrift DE 41 14 626 C 2, 30. 4. 91
- /4/ VDI 3926/ Blatt 1: Prüfung von Filtermedien für Abreinigungsfilter.
Dezember 1994
- /5/ Frenzel
Untersuchungen zum Energie- und Abscheideverhalten von Großraum- und Normalfilterpatronen bei unterschiedlichen staub-, filter- und regenerierungs- technischen Bedingungen
ILK Dresden, Forschungsbericht ILK-AB-7/95-516, 30. 06. 1995
- /6/ Frenzel, Both
Zwischenbericht 1997 zum AiF-Projektes:
Selbstoptimierendes Abreinigungssystem für filternde Abscheider
IUTA, ILK Dresden, Forschungsbericht 1997
- /7/ Siemens AG
Simatic S7 und Simatic WinCC: Fuzzy Control ++
Benutzerhandbuch
Siemens AG Automation & Drives, Erlangen 1999
- /8/ Siemens AG
Simatic S7 und Simatic WinCC: Neuro Systems 1.0
Benutzerhandbuch
Siemens AG Automation & Drives, Erlangen 1999
- /9/ Siemens AG
Simatic S7 Step 7 V5.0
Benutzerhandbuch
Siemens AG Automation & Drives, Erlangen 1999