

Der Einfluss der Qualität der Oberflächenfiltration auf den wirtschaftlichen Betrieb einer Filteranlage für die trockene Rauchgasreinigung

Lutz-Peter Nethe

LPN Consulting Potsdam

1. Einleitung
2. Oberflächenfiltration vs. Tiefenfiltration
 - 2.1 Tiefenfiltration
 - 2.2 Oberflächenfiltration
3. Partikelabscheidung in der Oberflächenfiltration
4. Oberflächenfiltrationsmedien
 - 4.1 Ausrüstungen von Filtermedien zur Oberflächenfiltration
 - 4.2 Unterschiedliche Anwendungen
5. Einflussfaktoren auf die Filtration
 - 5.1 Druckverlust
 - 5.2 Abreinigungsverhalten
6. Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit
 - 6.1 Kosten der Filtermedien
 - 6.2 Standzeit
 - 6.3 Filterschlauchwechselkosten
 - 6.4 Elektrische Leistung
 - 6.5 Druckluftkosten
7. Zusammenfassung
8. Literatur

1. Einleitung

Die Staubabscheidung mit Gewebe bzw. Schlauchfiltern ist insbesondere durch stetig steigende Anforderungen an die Reinheit von in die Umgebung abgegebener Abluft heute auf einem hohen Stand der Technik, der es ermöglicht niedrigste Grenzwerte einzuhalten.

Die Entwicklung hocheffektiver Entstaubungstechnologien ist vor allem den steigenden Anforderungen an niedrige Grenzwerte zur Reinhaltung der Luft, der Notwendigkeit der Abscheidung von bestimmten Partikelgrößen (PM₁₀, PM₅, PM_{2,5}) aber auch den immer feiner werdenden Stäuben durch neue Produktionstechnologien zu verdanken.

Dabei stehen zwar hohe Abscheideleistungen im Mittelpunkt. Aber die Fragen der Wirtschaftlichkeit und der Zuverlässigkeit der Entstaubungsanlagen kommen immer mehr in den Fokus der Betrachtung. Und nicht zuletzt der Einsatz von Filtrationsanlagen als Reaktoren zur Absorption saurer Abgasbestandteile (HF, HCl, SO₂) und zur Adsorption ökotoxischer Gasbestandteile (zum Beispiel Hg, Dioxine/Furane) stellt neue hohe Anforderungen an die Filtration

Dabei kommt der Oberflächenfiltration eine besondere Bedeutung zu. Oberflächenfilter werden in der Industrie beispielsweise zur Rauchgasreinigung eingesetzt, vor allem in Kraftwerken, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und der chemischen Industrie, wo neben den niedrigen Staubgrenzwerten auch sehr niedrigste Emissionen aller anderen ökotoxischen Schadstoffe verlangt werden.

Aber nicht nur eine hervorragende Abscheideleistung zeichnet eine gute Filteranlage aus, sondern auch der zuverlässige Betrieb bei gleich bleibendem Druckverlust unter Einhaltung der geforderten Reingaswerte. Damit spielen auch die Auswahl des Filtermediums und die Regenerierbarkeit der Filterelemente eine ganz entscheidende Rolle. So ist z.B. das Filtermedium entsprechend der Adhäsionskräfte des Filterstaubes so zu wählen, dass einerseits der Filterkuchen gut von der Filteroberfläche abgelöst werden kann, andererseits aber die Bildung eines hinreichend dicken Filterkuchens erlaubt wird, wo dies technisch erforderlich ist (Chemisorptionsfilter, Tiefenfiltermedien). [1]

2. Oberflächenfiltration vs. Tiefenfiltration

2.1 Tiefenfiltration

Bei der Tiefenfiltration werden Partikel durch Trägheit, Diffusion, Elektrostatik, Adsorption und Siebeffekt im Filtermedium positioniert (Verstopfungsphase). Dabei werden die Partikel im Inneren der Schicht zurückgehalten. Dies geschieht durch Adhäsion an Partikeln oder an den Fasern. Tiefenfiltration zeichnet sich durch hohe Aufnahmekapazitäten aus. Sie leisten in einem Filterprozess die Hauptarbeit. Tiefenfilterschichten verblocken erst sehr spät. Die volle Filter-

wirkung wird erst erzielt, wenn das Filtermaterial mit Staub durchdrungen ist und sich eine Filterhilfsschicht aufgebaut hat. [2]

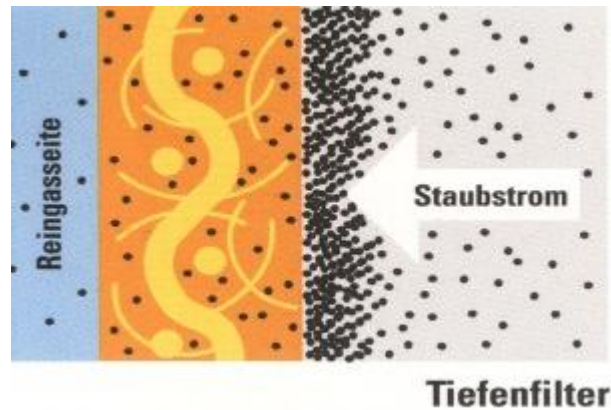


Abb. 1: Wirkungsweise der Tiefenfiltration

2.2 Oberflächenfiltration

Bei der Oberflächenfiltration erfolgt der Aufbau eines Filter- oder Oberflächenkuchens, der wesentlich zur Abscheidewirkung beiträgt. Die Partikel werden durch die Maschen des Filters zurückgehalten bzw. auf der Oberfläche abgelagert. Das wird in der Praxis mit der Ausrüstung von Filtermedien durch zum Beispiel Membranen über eine gleich bleibende 2-dimensionale Fläche realisiert. Bei der Oberflächenfiltration findet die Abscheidung auf der Oberfläche des Filtermediums statt. Aufgrund der mikroporösen Struktur der Oberflächenausrüstungen werden selbst feinste Staubpartikel nahezu vollständig abgeschieden. Im Gegensatz zu konventionellen Filtermedien können diese Staubpartikel nicht in das Filtermedium eindringen und es mit der Zeit zusetzen. [2]

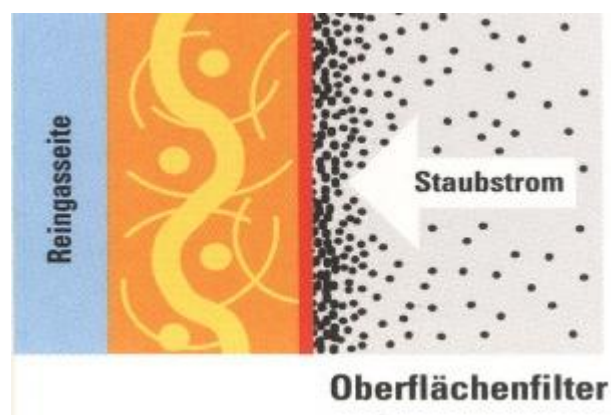


Abb. 2: Wirkungsweise der Oberflächenfiltration

Als Oberflächenfilter werden filternde Abscheider bezeichnet, bei denen das mit Staubpartikeln beladene Filter zur Regeneration periodisch abgereinigt wird. Oberflächenfilter dienen zur Abscheidung von Partikeln aus Gasen mit hohen Staubgehalten (Größenordnung einige g/m^3).

Im Gegensatz zu Tiefenfiltern erfolgt die Abscheidung der Partikel an der Oberfläche des Filtermediums. Der Staub dringt zwar auch in die dem Filterkuchen zugewandte Gewebeschicht ein, die Hauptmasse des anfiltrierten Staubes sammelt sich aber an der Oberfläche des Filtermediums (Filtermittels) an und bildet einen Staubkuchen (Filterkuchen).

Der Filterkuchen stellt die eigentliche, hochwirksame Filterschicht dar, wodurch sich Gesamtabseidegrade über 99,9 % realisieren lassen. Durch das Anfiltrieren des Staubes lagert sich in und auf dem Kuchen immer weiterer Feststoff an. Somit wächst der Filterkuchen mit der Zeit weiter an, wodurch der Druckverlust kontinuierlich zunimmt. Nach Erreichen einer festgelegten maximalen Druckdifferenz oder in bestimmten Zeitabständen nach Aufbau einer Staubschicht mit gewisser Kuchendicke erfolgt die Abreinigung. Oberflächenfilter werden daher auch als Abreinigungsfilter bezeichnet.

Zur Abreinigung stehen mechanische (Rütteln, Klopfen oder Vibrieren) oder pneumatische Verfahren (Druckstoß oder Rückspülung) zur Verfügung. Der Filterkuchen wird dadurch vom Filtermittel abgeworfen und der Filtrationsvorgang beginnt von neuem.

Bei Filtermedien ohne Oberflächenbeschichtung lagert sich zu Beginn der Filtration feiner Staub im Inneren des Filtermittels ab. Das Filter kann dadurch nicht mehr vollständig abgereinigt werden.

Oberflächenfilter sind auf Grund ihrer hohen Abscheideleistung sowie des kontinuierlichen Betriebes in der Technik weit verbreitet (z.B. Zementindustrie, Metallgewinnung, Lebensmittelindustrie, Chemie, Kohletechnologie, Müllverbrennungsanlagen u. a. thermische Prozesse).

Trotz des hohen Standards, die Oberflächenfilter technisch erreicht haben, werden sie weitgehend auf Basis von Erfahrung und Empirie verbunden mit Technikumsversuchen ausgelegt. Ein allgemeingültiges Berechnungsmodell zur Dimensionierung existiert nicht. Schwierigkeiten bereiten hier die instationäre Betriebsweise sowie die große Zahl von Einflussgrößen. Für das Betriebsverhalten sind das funktionelle Zusammenwirken zwischen den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Staubes sowie des Trägergases, die Eigenschaften des Filtermediums sowie der apparative Aufbau des Filters und die Betriebsweise der Abreinigung von grundlegender Bedeutung. [3]

Folgende Vorteile haben Oberflächenfilter in der Entstaubungstechnik:

- hoher Abscheidegrad auch für Feinststaub,
- Unempfindlichkeit gegenüber Schwankungen in der Gaszufuhr,
- Unempfindlichkeit gegenüber der Staubbelastung im Rohgas,
- Unempfindlichkeit gegenüber der Staubfeinheit im Rohgas

Nachteilig sind die relativ großen Abmessungen, wenn eine große Filterfläche benötigt wird.

Als Richtwerte können für Oberflächenfilter angegeben werden:

- Rohgasstaubgehalt $c_{\text{Roh}} < 200 \text{ g/m}^3$
- Reingasstaubgehalt $c_{\text{Rein}} < 30 \text{ mg/m}^3$
- Druckverlust $\Delta p = 500$ bis 2000 Pa ,
- Filterflächenbelastung $w_F = 20$ bis 360 m/h ,
- Abscheidegrad $T_{\text{ges}} > 99 \%$.

Eine Übersicht der wesentlichen Unterschiede typischer Parameter zwischen Tiefen- und Oberflächenfiltration zeigt die folgende Tabelle [4]:

	Tiefenfiltration	Oberflächenfiltration
Anwendungsgebiete:	Raumluft- und Prozesslufttechnik	Prozessluft- und Entstaubungstechnik
Kennzeichnung:	Partikelabscheidung erfolgt im Inneren der Faserschicht. Nach Sättigung wird Filter ausgetauscht.	Abscheidung erfolgt nach einer Anfangsphase an der Oberfläche des Filtermediums bzw. im sich bildenden Staubkuchen, deshalb Abreinigung
Staubkonzentration:	$< 1 \text{ mg/m}^3$	$> 5 \text{ mg/m}^3$
Partikelgröße:	meist $< 1\text{-}5 \text{ }\mu\text{m}$	meist $> 5\text{-}10 \text{ }\mu\text{m}$
Temperatur:	-20°C bis $+60^\circ\text{C}$, teils $+350^\circ\text{C}$	$+20^\circ\text{C}$ bis $> 800^\circ\text{C}$
Faserstoffe:	Glasfasern, Standard-Synthesefasern (PP, PP), Mikrofasern, Meltblown, Naturfasern	Standard-Synthesefasern, Hochleistungsfaserstoffe, Mikrofasern, Keramikfasern, Metallfasern
Vliesstoffkonstruktion:	Voluminöse Vliesstoffe	Gewebe, Nadelvliesstoffe, thermisch gebundene Vliesstoffe
Porenvolumenanteil:	> 90 bis $> 99\%$	45 bis 80%
Faservolumenanteil:	niedrig	hoch
Flächenmasse:	50 bis 800 g/m^2	80 bis $> 700 \text{ g/m}^2$
Filterbauformen:	Taschenfilter, Zellenfilter, Kassettenfilter, Filterpatronen	Schlauchfilter, Patronenfilter, Filterkerzen
Typische Kenngrößen:	nicht abreinigbar	abreinigbar
Anströmgeschwindigkeit:	0,1-3m/s	0,5-3 m/min

3. Partikelabscheidung in der Oberflächenfiltration

Grundsätzlich sind zwei Filtrationsphasen zu unterscheiden:

- Die Verstopfungsphase, bei der Partikel im Inneren des Filtermediums eingelagert werden.
- Die Phase des Staubkuchenaufbaus, bei der die Abscheidung der Partikel in einer an der Oberfläche des Filtermediums aufgebauten Staubschicht erfolgt.

Zu Beginn des Filtrationsprozesses gelangen die Staubteilchen in das Innere des Filtermediums (Verstopfungsphase) und werden hier in einem der Tiefenfiltration ähnlichen Vorgang abgeschieden. Mit zunehmender Filtrationszeit wächst die Oberfläche immer weiter zu, was schließlich zu einer vollständigen Bedeckung der Oberfläche des Filtermediums führt. Der Druckverlust nimmt zu, gleichzeitig erfolgt eine Verbesserung des Abscheidegrades durch die Einlagerung der Staubpartikel. Bei weiterer Staubzugabe bildet sich an der Oberfläche des Filtermediums ein Staubkuchen aus. Die Partikelabscheidung erfolgt nun durch die Sperrwirkung des Staubkuchens (Siebeffekt). Für die weitere Partikelabscheidung ist nun der Staubkuchen verantwortlich. Nach Bildung einer ersten Staubschicht ist ausschließlich diese für die weitere Partikelabscheidung verantwortlich.

Das Abscheideverhalten von Oberflächenfiltern wird hauptsächlich durch folgende Parameter beeinflusst [3]:

- Filtrationsgeschwindigkeit
- Partikeleigenschaften
- Korngrößenverteilung des Staubes
- Staubkonzentration im Rohgas
- elektrostatische Wechselwirkungen
- Eigenschaften des Trägergases
- Filtermedium
- Art der Abreinigung

In der Praxis wird versucht, die Filtrationsgeschwindigkeit so hoch wie möglich zu wählen, da dann bei vorgegebenem Abgasstrom die Filterfläche minimiert werden kann. Es ist jedoch zu beachten, dass mit zunehmender Filtrationsgeschwindigkeit die Staubkonzentration im Reingas erhöht wird. Es kommt zu einem Durchtritt von Staubpartikeln. Der direkte Staubdurchtritt ist zu Beginn des Filtrationsprozesses besonders groß, wenn das Filtermedium noch nicht mit Staub beaufschlagt wurde und sich Fehlstellen im Filtermedium durch Fehlen des Staubkuchens besonders bemerkbar machen. Das Durchsickern von bereits abgeschiedenen Partikeln tritt besonders während der Druckstoßabreinigung auf und hängt von dem im Filtermedium abgelagerten Staubanteil ab. Dieser Vorgang wird von der Filtrationsgeschwindigkeit beeinflusst. Der Staubdurchgang durch kleine Löcher im Staubkuchen tritt lediglich bei höheren Filtrationsgeschwindigkeiten auf. Er ist von den Partikeleigenschaften sowie dem Filtermedium abhängig und ab Filtrationsgeschwindigkeiten von 110 m/h zu beobachten.

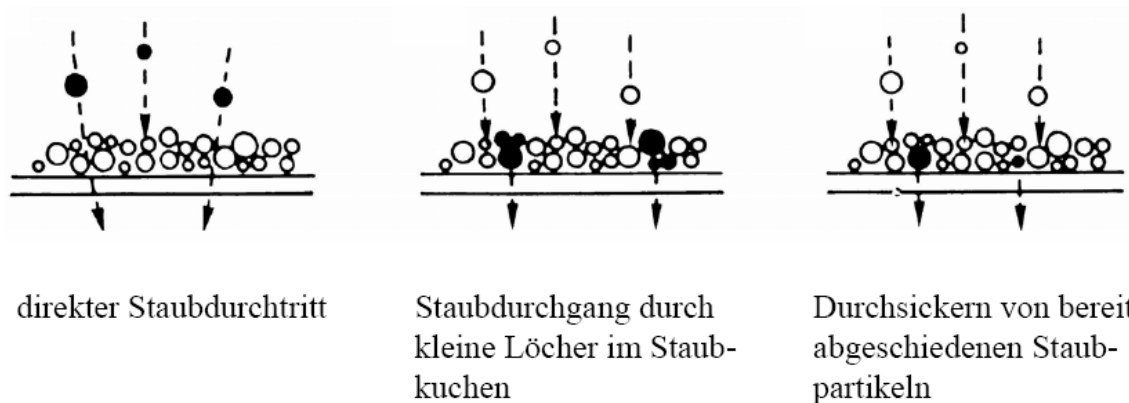


Abb. 3: Schematische Darstellung des Staubdurchtritts [3]

Mit abnehmender Korngrößenverteilung des Staubes nimmt der Staubdurchtritt durch das Filter zu, da kleine Partikel weniger stark zurückgehalten werden. Die Partikeleigenschaften spielen für die Abscheidung allgemein eine große Rolle. Als wichtig hat sich das Agglomerationsverhalten erwiesen. Nicht zur Agglomeration neigende Partikel bilden nur schwer einen Filterkuchen. Die Staubkonzentration im Rohgas hat keinen Einfluss auf den Abscheidegrad, lediglich die Abreinigung muss bei hohen Konzentrationen häufiger erfolgen. Elektrostatische Wechselwirkungen haben dagegen einen großen Einfluss auf das Abscheideverhalten.

Die Eigenschaften des Trägergases sind von untergeordneter Bedeutung. Der Abscheidegrad sinkt allerdings mit steigender Gastemperatur. Der Grund ist die Zunahme der Viskosität des Gases und damit eine Verschlechterung der Abscheidung infolge von Trägheitskräften. Eine hohe relative Feuchte führt zu höherer Neigung zur Agglomeration und damit zu einem verbesserten Abscheideverhalten

4. Oberflächenfiltrationsmedien

Das Betriebsverhalten eines Oberflächenfilters (Abreinigungsfilters) wird entscheidend von den Eigenschaften der verschiedenen Filtermedien beeinflusst. Der prinzipielle Aufbau und die Wirkungsweise von Filtermedien sind aus der folgenden Skizze ersichtlich

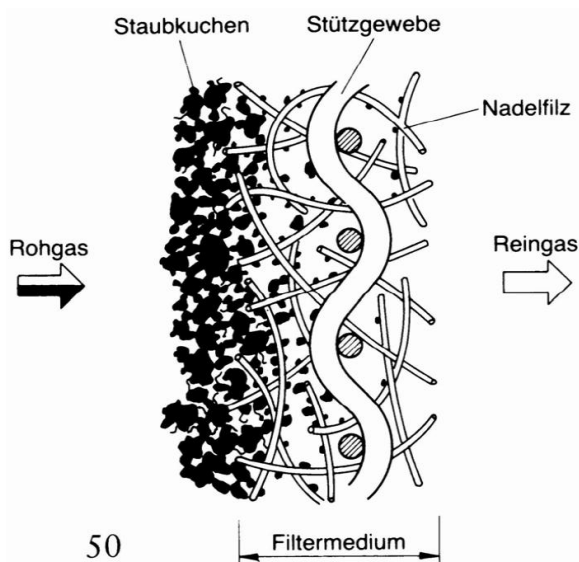


Abb.4: Wirkungsweise von Filtermedien

In das Filtermedium lagern sich zu Beginn des Filtrationsvorgangs einige Staubpartikel ein. Die eigentliche Filtration findet im Staubkuchen statt, der sich auf dem Filtermedium bildet.

Folgende Eigenschaften für Filtermedien sind von besonderer Bedeutung:

- große Durchlässigkeit für das Gas
- hohe Abscheidewirkung für feinste Partikel
- möglichst glatte Oberfläche zur Vereinfachung der Abreinigung,
- große Widerstandsfähigkeit gegenüber physikalischen und chemischen Einflüssen
- hohe Beständigkeit gegen die im Prozess vorherrschende Feuchte und Temperatur

Als Filtermedium werden flexible Flächengebilde in Form von Geweben oder verfestigten Vliesen (Filze, Vliesstoffe) bzw. als Sonderform gesinterte Körper für hohe Temperaturen eingesetzt.

Filtermedien in Form von mechanisch verfestigten Vliesen werden in Abreinigungsfiltern am häufigsten eingesetzt. Ihr Vorteil liegt in der gleichmäßigeren Verteilung der Fasern. Dies verursacht eine Tiefenspeicherwirkung, so dass auch feinste Teilchen zurückgehalten werden. Die größte Bedeutung besitzen Nadelfilze, die durch Vernadeln von Stapelfasern hergestellt werden. Zur Verbesserung der Festigkeit sowie der Stabilität besitzen Nadelfilze i.d.R. ein Stützgewebe, das beidseitig mit Fasern vernadelt ist. Nach Einlagerung einer Mindeststaubmenge bildet sich ein Filterkuchen, der zunehmend die Aufgabe des Filtermittels übernimmt und periodisch abgereinigt wird. Wegen des eingelagerten Staubes ist eine intensivere Abreinigung erforderlich als bei gewebten Stoffen, so dass Nadelfilze in der Regel durch das heute übliche Verfahren der Druckstoßabreinigung abgereinigt werden.

Die Oberfläche von Nadelfilzen wird daher teilweise geglättet bzw. mit Membranen beschichtet.

Das als Filtermedium eingesetzte Material ist abhängig von den Anforderungen des Filtrationsprozesses hinsichtlich Temperatur sowie chemischer und physikalischer Einflüsse.

4.1 Ausrüstung von Filtermedien zur Oberflächenfiltration

Ein besonderer Effekt bei der Staubfiltration ist die Abscheidung und Ablagerung von Partikeln in der Tiefe des Materials. Dieser innere, so genannte primäre Filterkuchen trägt wesentlich zur Erhöhung der Effizienz bei (große Poren werden verschlossen, Strömungsturbulenz in den Medien wird erhöht); allerdings führt dies zu einer ständigen Erhöhung des Druckverlustes im Betrieb. Außerdem bildet sich dieser primäre Filterkuchen erst im Laufe der Zeit, so dass es anfänglich zu erhöhten Emissionen kommt. Auch wird der Staub bei der Abreinigung teilweise aus dem Filtermedium herausgeschleudert, wobei es nicht nur zu Emissionen, sondern auch zu innerem abrasiven Verschleiß des Filtermaterials kommt.

Wünschenswert ist daher die Bildung eines dichten Staubbelages auf der Oberfläche des Filtermediums.

Dies wird versucht zu erreichen, indem die Oberflächen von Filterfilzen heutzutage praktisch immer geglättet und speziell "ausgerüstet" werden. Glätten erfolgt meist durch Kalandrieren, also ein dem Bügeln vergleichbarer Prozess. Oberflächenausrüstungen sind meist Beschichtungen mit Emulsionen, Aufbringen von dünnen Schäumen oder ähnliches, unter Verwendung antiadhäsiver Substanzen, meistens PTFE. Moderne konventionelle Filtermedien, die eine oberflächen-orientierte Staubabscheidung ermöglichen sollen, sind also kalandrierte, beschichtete oder besonders feinfaserige Filze. Die ideale Realisierung des Prinzips der Oberflächenfiltration stellen Membranfiltermedien dar.

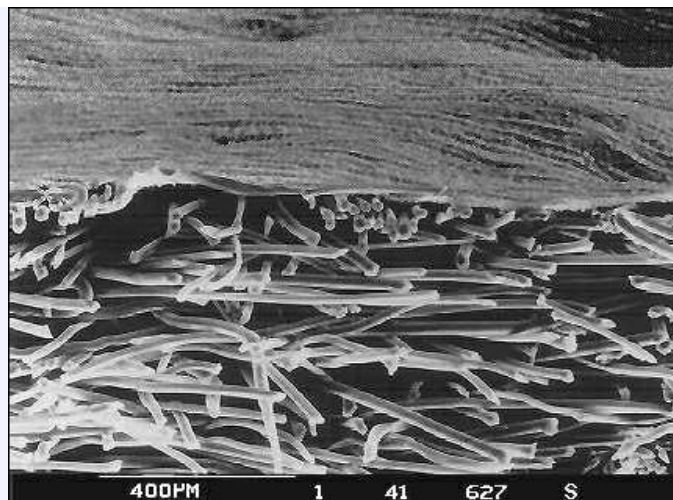


Abb. 5: Schnitt durch ein Membranfiltermaterial (Gore-Tex®) [1]

Membranfilter sind oft zweilagig aufgebaut. Die Anströmseite besteht aus einer mikroporösen ePTFE-Membran. Die zweite Lage, ein typischer Nadelfilz oder, z.B. für Rückspülfilteranlagen, ein Gewebe, dient der mechanischen Stabilisierung des Filtermaterials. Bei Membranfiltern wird die Aufgabe der Filtration praktisch alleine der Membran übertragen. Diese ist optimiert auf möglichst hohe Effizienz und Luftdurchlässigkeit. Die mechanische Integrität wird durch ein stabiles Stützmaterial gewährleistet, das selbst keine Filtrationsaufgabe hat.

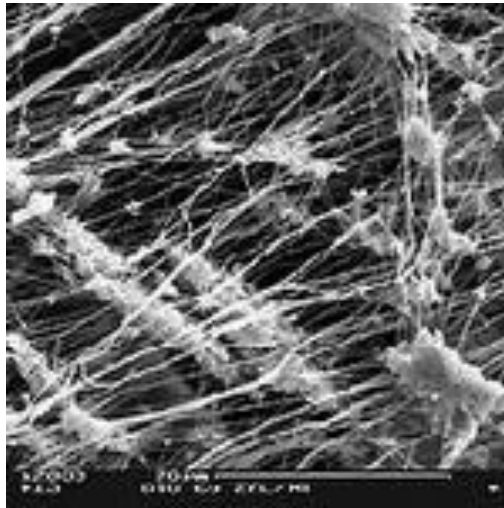


Abb. 6: Auflamierte PTFE-Membran [5]

Durch diese Trennung der Aufgaben können beide Bestandteile eines Laminates unabhängig voneinander auf ihre jeweilige Aufgabe hin optimiert werden. Insofern besteht hier ein wesentlicher Unterschied zu einfachen Beschichtungen. Bei Membranfiltern wird der Staub vollständig auf der Oberfläche der Membran zurückgehalten. Es kommt nicht zu einem kontinuierlichen Druckverlustanstieg durch Einlagerungen von Staub in den Filz. Auch lässt sich ein Staubkuchen wesentlich einfacher und vollständig abreinigen, wenn er sich auf der antiadhäsiven PTFE-Oberfläche gebildet hat, ohne dass es zu innerer Abrasion des Trägermaterials kommt, was letztlich die Lebensdauer der Filterschläuche erhöht. Auch feuchte und klebrige Stäube werden gut abgereinigt.

Filtermedien, die mit Membranen ausgerüstet sind, bieten folgende Vorteile [1]:

- Extrem geringe Staubemissionen von Anfang an, auch während der Abreinigungsimpulse
- Dauerhaft konstanten, niedrigen Druckverlust
- Lange Lebensdauer der Filterschläuche durch verschleißarmen Betrieb

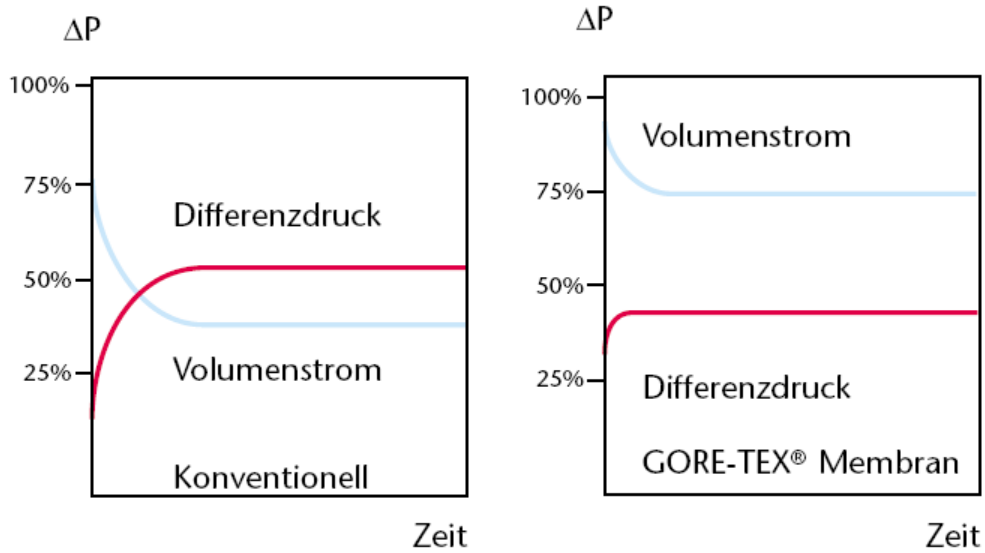
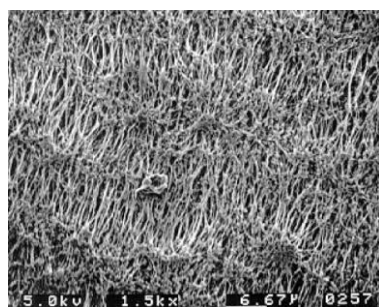
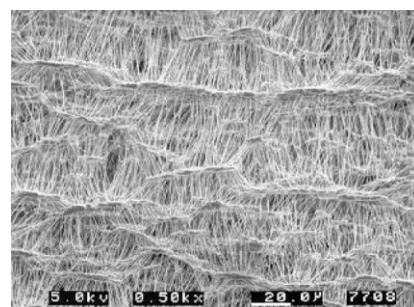


Abb. 6: Differenzdruckverhalten Filterfilz und beispielhaft Gore-Tex® Membran

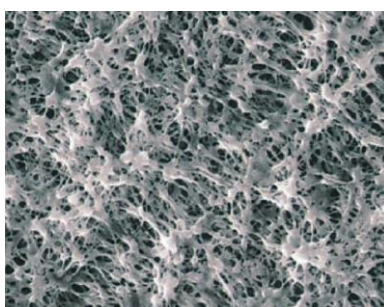
Eine Auswahl von Filtrations-Membranen unterschiedlicher Hersteller zeigen die folgenden Fotos:



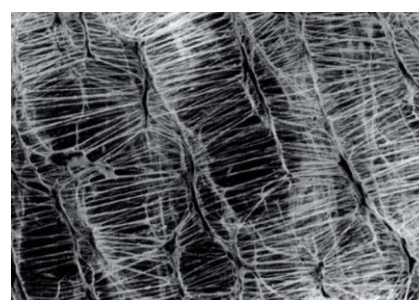
Donaldson



Tetratex



Menardi



Nitto-Denko

Abb. 7: Filtrationsmembranen unterschiedlicher Hersteller

Ein mit Mikrofasern ausgerüstetes Filtermedium besteht in der Anströmseite aus Mikrofaserlagen von extremer Feinheit, < 1 dtex. Dies ergibt eine mikroporöse Struktur, die, je nach Betriebsbedingungen, auch kleinste Feststoffpartikel an den Oberflächen der Mikrofaser sicher abscheidet. Die geringere Anzahl von Abreinigungszyklen schont das Filtermedium und verlängert die Lebensdauer. Der Einsatz hochwertiger Mikrofasern und eine spezielle Vernadelungstechnik gewährleisten optimale Oberflächenfiltration und geringen Restdruckverlust. Außerdem wird der Druckanstieg innerhalb eines Filtrationszyklus deutlich gesenkt.



Abb.8: Mikrofaser / Feinstfasernadelfilz [5]

Weitere Methoden zur Ausrüstung von Filtermedien sind

- Beschichtungen mit Emulsionen
- Aufbringen dünner Schäume
- Aufbringen antiadhäsive Substanzen
- PTFE Coating.

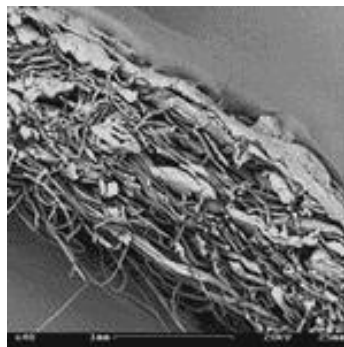


Abb. 9: PTFE-Coating [5]

4.2 Unterschiedliche Anwendungen

Der Einsatz der Oberflächenfilter erfolgt immer dann, wenn höchste Ansprüche an die Reinheit des zu reinigenden Gases gestellt werden. Dabei steht neben der Staubabscheidung auch die Möglichkeit der Nutzung des Filters als Absorption- und Adsorptionsaggregat im Mittelpunkt.

Zum Einsatz kommen dabei Filteranlagen, wie sie in vielen Industriezweigen zu finden sind. Schlauchfilter sind in zahlreichen industriellen Prozessen die wichtigste Filtergattung zur Abscheidung von Partikeln aus Gasströmen. Aktuelle und künftige Anwendungsgebiete umfassen alle Produktionsanlagen in denen Partikel beladene Abgase entstehen. Insbesondere trifft dies auf die Bereiche Zement, Kalk, Gips, Steine-/Erden, Bergbau, Schuttguttransport, Stahl, Eisen, NE-Metalle, Kraftwerks-, Chemie-, Pharma- und Lebensmitteltechnik. Ein grundsätzlicher Vorteil von Schlauchfiltern ist die problemlose Einhaltung aktueller Emissionsgrenzwerte in einem einstufigen Prozess bei höchsten Volumenströmen und Staubbeladungen. Diese Vorteile haben in den letzten Jahren zur Substitution von Zentrifugalabscheidern und elektrostatischen Abscheidern durch filternde Abscheider im Allgemeinen und Schlauchfilter im Besonderen geführt.

Grundsätzlich teilt sich ein Filter in zwei Kammern auf, die Reingask- und die Rohgaskammer. Beide Kammern werden durch die Kopfplatte staubdicht getrennt, auf der die gesamte Filterfläche in Form von Filterschläuchen untergebracht ist. Unterhalb der Rohgaskammer ist der so genannte Staubtrichter angebracht, in dem sich der von den Filterelementen abgeworfene Staub sammelt und von hier ausgetragen werden kann. Abbildung 9 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen Filters.

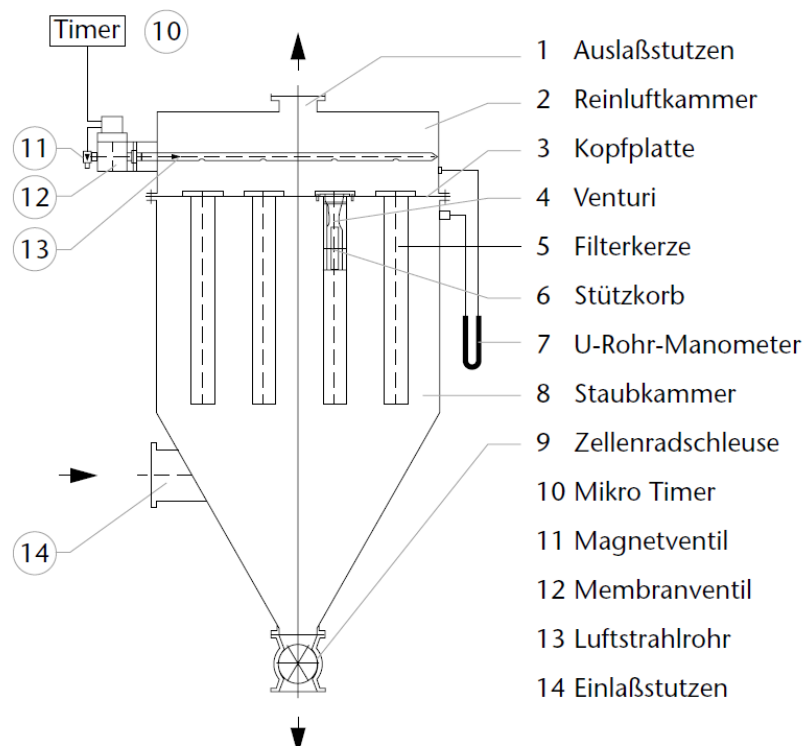


Abb. 10: Prinzipieller Aufbau einer Schlauchfilteranlage [1]

Bei der Betrachtung der Möglichkeiten des Einsatzes unterschiedlicher Oberflächenfilter in der Abgasreinigung sind einerseits das eingesetzte Abgasreinigungsaggregat und andererseits die dem Aggregat zugeordnete Funktion zu berücksichtigen. So kann eine Filteranlage einmal als reiner Entstauber eingesetzt werden, aber in einem anderen System, an der gleichen Stelle angeordnet, ein Entstauber mit zusätzlicher Sorptionsfunktion sein.

Es können aber auch unterschiedliche Aggregate für die gleiche Aufgabe eingesetzt werden. So kann die Funktion eines so genannten Polizeifilters sowohl von einem Schlauchfilter als auch von einem Festbettadsorber erfüllt werden.

Grundsätzlich sind folgende Verfahren im Einsatz:

- Trockensorption
- konditionierte Trockensorption
- Sprühsorption
- Nasswäscher
- Rauchgasentstickung
- Polizeifilter

Jedes dieser Verfahren besteht aus einer Reihe von Einzelkomponenten, die in entsprechender Kombination eingesetzt, die gesetzlichen Anforderungen erfüllen.
[7]

5. Einflussfaktoren auf die Filtration

5.1 Druckverlust

Zu Beginn des Filtrationsprozesses gelangen die Staubteilchen in das Innere des Filtermediums (Verstopfungsphase) und werden hier in einem der Tiefenfiltration ähnlichen Vorgang abgeschieden. Mit zunehmender Filtrationszeit wächst die Oberfläche immer weiter zu, was schließlich zu einer vollständigen Bedeckung der Oberfläche des Filtermediums führt. Der Druckverlust nimmt zu, gleichzeitig erfolgt eine Verbesserung des Abscheidegrades durch die Einlagerung der Staubpartikel.

Bei weiterer Staubzugabe bildet sich an der Oberfläche des Filtermediums ein Staubkuchen aus. Die Partikelabscheidung erfolgt nun durch die Sperrwirkung des Staubkuchens (Siebeffekt). Für die weitere Partikelabscheidung ist nun der Staubkuchen verantwortlich. Nach Bildung einer ersten Staubschicht ist ausschließlich diese für die weitere Partikelabscheidung verantwortlich.

Unterschiedliche Mechanismen und Einflussgrößen wirken sich hierbei auf die Abscheideleistung eines Staubfilters aus und hängen mehr oder weniger stark von Betriebsparametern wie Temperatur und Druck ab. Ziel bei kontinuierlich arbeitenden Schlauchfiltern ist es, eine möglichst gute Oberflächenabscheidung zu erreichen, um den sich aufbauenden Filterkuchen leicht wieder abwerfen zu können.

Der Druckverlust in einem Filter wird, neben den aerodynamischen Verlusten des Filterapparates selbst, hauptsächlich durch das Filtermedium und den während des Betriebes aufgebauten Staubkuchen erzeugt. Der Druckverlust über das bestaubte Filtermedium setzt sich aus dem Druckverlust des Filtermediums und dem sich aufbauenden Filterkuchen zusammen. Beide Widerstände sind über die Betriebsdauer des Filters nicht konstant und hängen von der Struktur des Filtermediums und der Menge an Staub ab, welche sich während des Betriebs im Filtermedium ansammelt. Sehr feine Partikel und hohe Filtrationsgeschwindigkeiten können dazu beitragen, dass das Filtermedium verstopft wird. Der Widerstand des Staubkuchens hängt sehr stark von der Partikelgrößenverteilung des Staubes ab, aber auch von der sich bildenden Filterkuchenstruktur. Diese wiederum wird bestimmt durch die Betriebsbedingungen wie Temperatur und Filtrationsgeschwindigkeit.

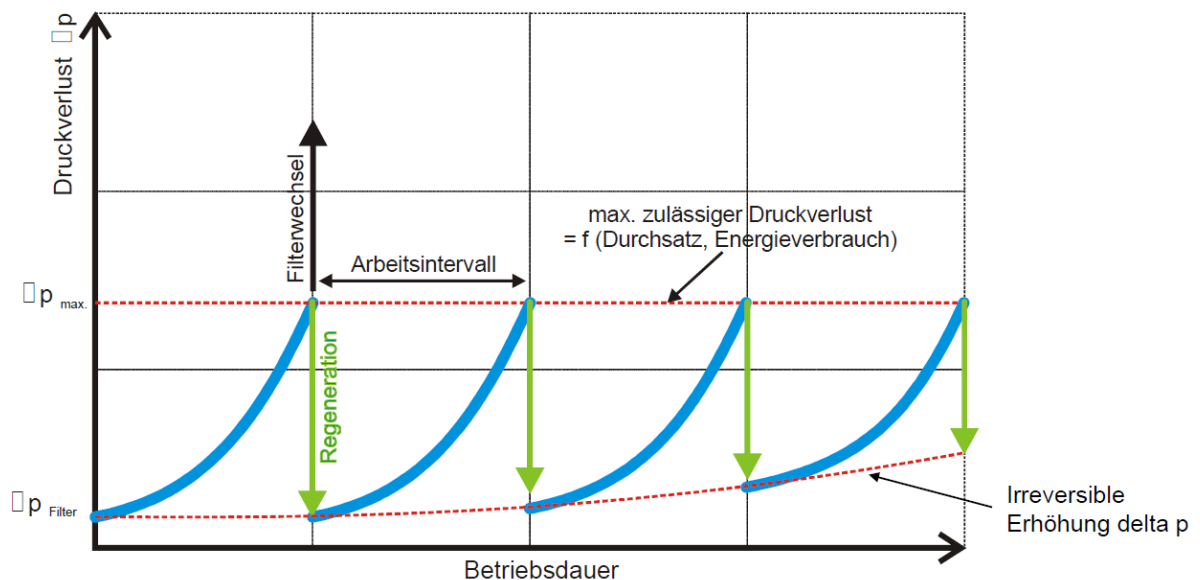


Abb.11: Druckverlustverlauf eines Schlauchfilters

Bei der Auswahl von Staubfiltern ist ein Aspekt zu berücksichtigen, der für die Wirtschaftlichkeit des gesamten Filtersystems entscheidend ist.

Je größer der Anteil der Oberflächenfiltration im Vergleich zur Tiefenfiltration, desto wirtschaftlicher ist der Filtrationsprozess.

Denn die Partikel, die sich in der Tiefe des Mediums festsetzen, können nicht durch die regelmäßige Abreinigung entfernt werden und erhöhen somit allmählich den Differenzdruck des Filters. Das hat zur Folge, dass die nach geschalteten Ventilatoren mit höherer Leistung fahren müssen, weil sie gegen den steigenden Druck arbeiten müssen und damit auch mehr Energie benötigen.

5.2 Abreinigungsverhalten

Charakteristisch für Abreinigungsfilter ist die Entfernung der abgeschiedenen Staubpartikel vom Filtermedium durch periodisches Abreinigen. Grundsätzlich kann in online-Verfahren und offline-Verfahren unterschieden werden. Bei den offline-Verfahren wird die zu reinigende Filterkammer von der Rohgaszufuhr abgetrennt, während bei den online-Verfahren die Abreinigung während der laufenden Filtration stattfindet.

Gewebefilteranlagen werden üblicherweise nach der Art ihrer Abreinigung klassifiziert. Als Abreinigungsmechanismen kommen grundsätzlich in Frage

- Umkehrung der Gasströmung
- mechanische Bewegung des Filtermediums,
- Impulsübertragung auf den Filterkuchen
- Kombinationen aus diesen Mechanismen

Die modernste Form der Abreinigung ist das Pulse-Jet-Verfahren, das sich inzwischen weitgehend als Standard durchgesetzt hat. Die Filterschläuche werden hierbei von außen nach innen durchströmt; ein Stützkorb gibt dem Schlauch die entsprechende Stabilität.

Die Abreinigung erfolgt bei Pulse-Jet-Anlagen durch einen intensiven Druckluftstoss, der die Filterschläuche kurz aufbläht, den Filterkuchen durch Impulsübertragung ablöst und kurzzeitig die Strömungsrichtung umkehrt. Die Abreinigungsenergie ist relativ groß, so dass große Sorgfalt auf maßgenaue Konfektionierung der Filterschläuche sowie eine gute Unterstützung durch hochwertige Stützkörbe gelegt werden muss, um lange Standzeiten (bis zu 10 Jahre) der Filterschläuche zu erreichen. Die Abreinigung kann in den meisten Fällen auch on-line, also bei weiterlaufendem Filtrationsbetrieb, durchgeführt werden. Deswegen und weil die zulässige Filterflächenbelastung bei Pulse-Jet-Filteranlagen wesentlich größer ist als bei Rüttel oder Rückspülfiltern, bauen Pulse-Jet-Filteranlagen relativ kompakt und erfordern geringere Investitionen [1].

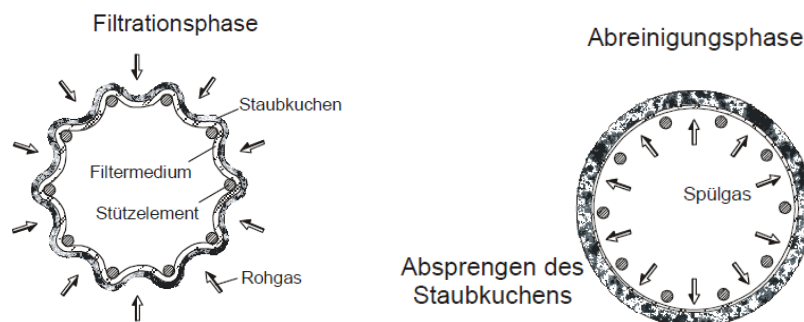


Abb. 12: Abreinigung eines Filterschlauches mit Druckluft

6. Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit

Für den wirtschaftlichen Betrieb einer Filteranlage sind mehrere Faktoren zu berücksichtigen.

Neben den Erstausrüstungskosten für die Filterschläuche fallen insbesondere Ersatzbestückungskosten für die Filterschläuche an. Je länger die Standzeit der eingesetzten Filterschläuche ist, umso geringer sind die Kosten für Ersatzteile. Das betrifft neben den Filterschläuchen auch die Nachbeschaffung von zum Beispiel Stützkörben und Ventilen. Bei entsprechender Wartung und Instandhaltung ist mit niedrigen Stillstandszeiten zu rechnen. Je weniger die Filterschläuche belastet werden, umso mehr können Stillstandszeiten vermieden werden und somit bei zum Beispiel Produktionsfiltern auch Produktionsausfälle reduziert werden.

Der für die Abreinigung benötigte Druckluftverbrauch ist ein weiterer wichtiger Kostenfaktor. Im Zuge von Betrachtungen zur Energieeffizienz einer Filteranlage spielt der Filterwiderstand eine entscheidende Rolle, da er einen direkten Einfluss auf den Energieverbrauch des Ventilators hat.

6.1 Kosten der Filtermedien

Neben den Investitionskosten spielen die Betriebskosten einer Filteranlage eine wesentliche Rolle bei der Wirtschaftlichkeit des Prozesses. Insbesondere, wenn eine Entscheidung z.B. für einen bestimmten Filteranlagentyp oder ein Filtermaterial ansteht, und die technische Auswahl mehrere Möglichkeiten offen lässt, sollten die zu erwartenden Betriebskosten einer genauen Analyse unterzogen werden. Es ist offensichtlich, dass die Investition in hochwertige Anlagen und Komponenten sich schnell über verminderte Betriebskosten rechnen kann. Beispielsweise können die Kosten für einen einzigen ungeplanten ein tätigen Stillstand (Produktionsausfall) zum Filterschlauchwechsel die Kosten für die Filterschläuche bei weitem übersteigen.

Es ist klar, dass Filtermedien mit einer speziellen zur Oberflächenfiltration geeigneten Ausrüstung (siehe Punkt 4.1) in den Beschaffungskosten deutlich höher sind. Entsprechend ausgerüstete Filtermedien können jedoch die reversiblen und irreversiblen Staubablagerungen deutlich verringern und damit zu einer Verringerung des Druckverlustes führen. Das führt in gleichem Schritt zu einer Verringerung des Energiebedarfs des Ventilators. Verbunden mit einer schonenderen Abreinigung der Filterschläuche lassen sich so sehr viel längere Standzeiten für die Filtermedien realisieren, was trotz teurerem Einsatzmaterial zu geringeren Betriebskosten der Gesamtanlage führt.

Der höhere Anschaffungspreis der speziell für die Oberflächenfiltration ausgerüsteten Filtermedien muss sich durch ein Plus an Standzeit über die Lebensdauer des Filters rechnen. Denn die Anschaffungskosten das wichtigste Entscheidungskriterium beim Einkauf von Filtersystemen.

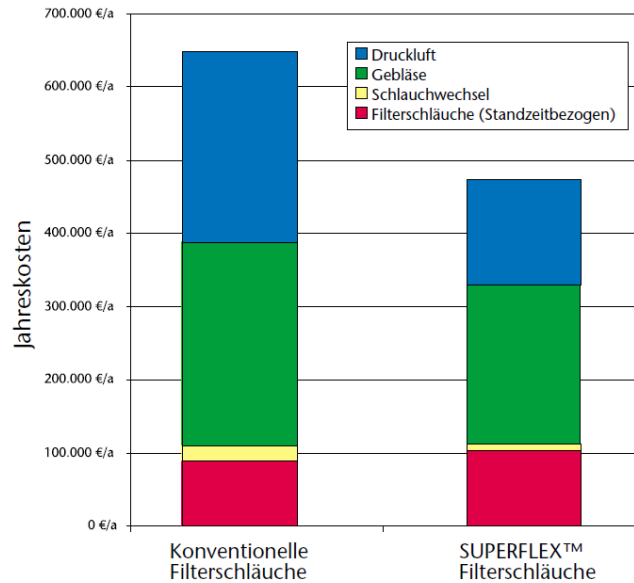


Abb. 13: Gegenüberstellung von Betriebskosten für konventionelle Filterschläuche mit Membranfiltermaterial (Gore-Tex®) [1]

6.2 Standzeiten

Die Standzeit von Filterschläuchen ist von folgenden Faktoren abhängig:

- optimale Filtrationseigenschaften
- leicht abzureinigenden Oberflächen
- geringe Druckverluste
- dem Prozess angepasste Beständigkeiten
- korrekte Passform

Im Gegensatz zu Tiefenfiltern, die sich nach und nach zusetzen, bleibt der Differenzdruck der Oberflächenfilter über viele Abreinigungszyklen hinweg konstant. Gerade bei der Filtration abrasiver Partikel haben Oberflächenfilter viel längere Standzeiten. Grund dafür ist, dass Tiefenfilter beim Herausschleudern der abrasiven Teilchen nach einem Druckluftstoß mit der Zeit durch innere Erosion zerstört werden. Filteranlagen sollten Differenzdruck gesteuert und nicht zeitgesteuert abgereinigt werden. Besonders dann, wenn im Filterkuchen chemische Reaktionen ablaufen, wie z.B. in der Rauchgas-Filtration, hängt der Reinigungseffekt wesentlich davon ab, dass der Filterkuchen so lange wie möglich bestehen bleibt. Damit hat die Reinigung einen wesentlichen Einfluss auf die Standzeit.

Hohe Drücke bei der pneumatischen Abreinigung, eine hohe Puls-Frequenz der Abreinigung sowie das Waschen der Filterschläuche gehören zu den häufigsten Anwendungsfehlern. Effektiver sind sanfte Abreinigungsverfahren, bei denen auch keine großen Staubwolken entstehen, durch die sich andere Filterschläuche oder -elemente schneller zusetzen. [8]

6.3 Filterschlauchwechselkosten

Jeder Wechsel der Filterschläuche führt zu Stillständen der jeweiligen Anlage. Der Betreiber von Filteranlagen ist deshalb bestrebt, die Filterwechselhäufigkeit zu minimieren. Insbesondere bei Produktionsfiltern ist der Ausfall der Filteranlage durch Stillstand direkt mit Ertragseinbußen für das jeweilige abzuscheidende Produkt verbunden. Der Einsatz von Oberflächenfiltern führt zu deutlich längeren Standzeiten der Filterschläuche und damit zu weniger Filterwechselhäufigkeiten.

Damit verbunden sind zwei wesentliche wirtschaftliche Aspekte:

- Die Umstellung von Tiefenfiltration auf Oberflächenfiltration kann trotz höherer Investitionskosten für die zur Oberflächenfiltration geeigneten Filterschläuche die Betriebskosten deutlich senken, da sich die Standzeiten erheblich verlängern
- Vielfach werden Neuanlagen durch den Anlagenbauer mit sehr preisgünstigen, aber den Anforderungen nicht gerecht werdenden Filterschläuchen ausgerüstet. Die sofortige Ausrüstung neuer Filteranlagen mit Filterschläuchen, die zur Oberflächenfiltration geeignet sind, führt von Beginn an zu deutlicher Senkung des Wartungs- und Inspektionsbedarfs und senkt somit die Betriebskosten.

Beispielhaft gilt für eine mittelgroße Müllverbrennungsanlage folgender Ansatz:

- Durchsatz 125.000 t/a
- Verbrennungspreis von 130,00 €/t
- Umsatz von ca. 15-16 Mio €/a
- Verfügbarkeit der Anlage von 90 %
- 22.000 Betriebsstunden/a für 3 Linien

Damit bedeutet jeder Tag Stillstand durch Ausfall der Filteranlage, sei es durch ungeplanten Stillstand durch defekte Schläuche oder geplanter Stillstand durch Schlauchwechsel,

einen Verbrennungsausfallverlust von 20.000 €/d.

Aber auch der ökonomische Aspekt ist nicht zu vernachlässigen. Die Umstellung auf die Oberflächenfiltration kann die erreichbaren Emissionswerte deutlich senken. So hat beispielsweise die Thermische Ersatzbrennstoff-Verwertungsanlage (TEV) der Stadt Neumünster nach dem Filterschlauchwechsel im August 2006 wesentlich verringerte Emissionswerte, die im Bereich der mit einer Bürgerinitiative vereinbarten Werte liegen, erreicht. [9]

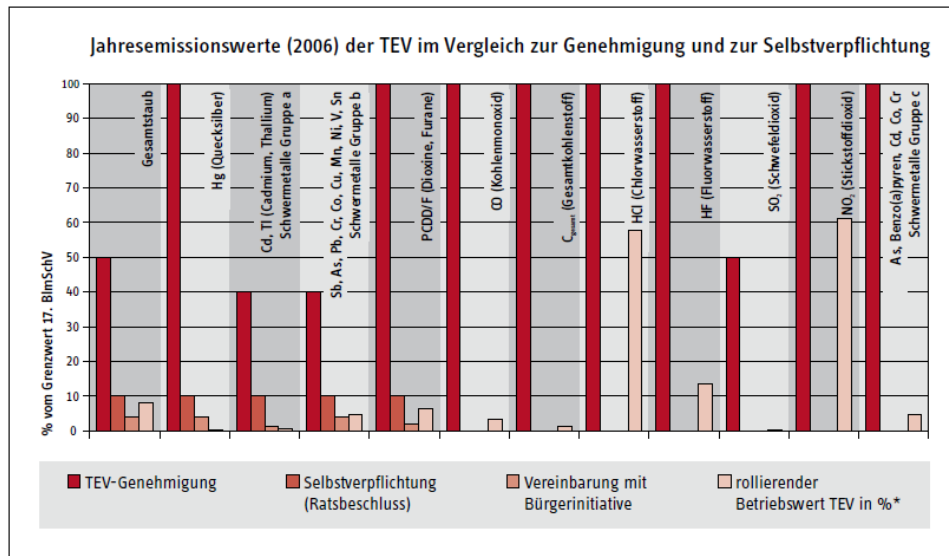


Abb. 14: Jahresemissionswerte der TEV Neumünster

6.4 Elektrische Leistung

Der Verbrauch an Energie zum Betrieb einer Filteranlage wird zum großen Teil über die elektrische Leistung des Ventilators mitbestimmt. Der Ventilator muss die benötigte Luftmenge fördern und dabei die auftretenden Widerstände (Filter, Kanalstrecken, etc.) überwinden. Der Wirkungsgrad des Ventilators entscheidet, wieviel der aufgenommenen elektrischen Energie in Strömungsleistung umgesetzt wird.

Im Zuge der Diskussion um die Energieeffizienz von Anlagen spielt also auch die elektrische Leistung eines Ventilators eine entscheidende Rolle.

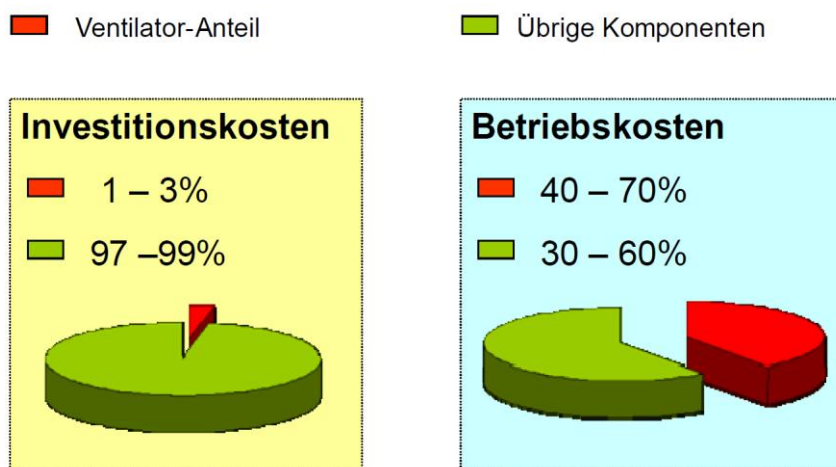


Abb. 15: Energieeffizienz von Ventilatoren [10]

Betrachtet man den Einfluss der Betriebskosten des Ventilators auf die Gesamtkosten wird klar, dass eine Reduktion der elektrischen Leistungsaufnahme des Ventilators einen großen Einfluss auf die Energieeffizienz und damit die Wirtschaftlichkeit einer Filteranlage hat.

Beeinflussbar ist der Filterwiderstand der Anlage. Der Filterwiderstand setzt sich aus einer Reihe von Einzelwiderständen zusammen:

- der aerodynamischen Widerstand der Filteranlage
- der Widerstand des Filtermediums,
- der Widerstand des Staubkuchens auf dem Filterschlauch
- Staubeinlagerungen in der Tiefe des Filtermediums

Durch den Einsatz von Oberflächenfiltern lässt sich der Einfluss der Staubeinlagerungen in der Tiefe des Filtermediums beeinflussen. Eine verbesserte Abreinigbarkeit der Filterschläuche führt direkt zu einer Verringerung des Filterwiderstandes.

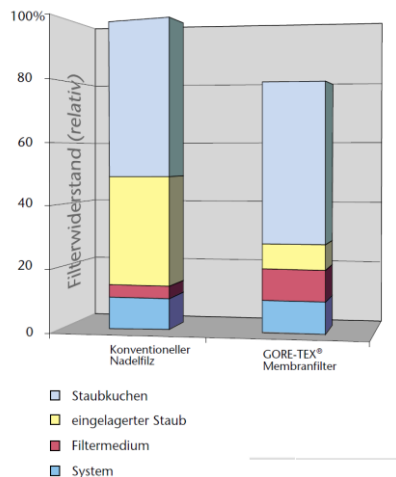


Abb. 16: Zusammensetzung des Filterwiderstandes [1]

6.5 Druckluftkosten

Druckluft bietet zahlreiche Vorteile im industriellen Einsatz, aber ihre Erzeugung erfordert viel Energie. Gegenwärtig werden in Europa jährlich über 80 Mrd. kWh elektrische Energie für die Erzeugung von Druckluft verbraucht, mit steigender Tendenz. Allein in Deutschland sind es etwa 14 Mrd. kWh, was CO₂-Emissionen von etwa 8 Mio. t entspricht. Diese gewaltige Energiemenge birgt ein erhebliches Effizienzpotenzial. [11]

Die Abreinigung von Schlauchfiltern wird bei den meisten industriellen Anwendungen heute mit dem so genannten "Pulse-Jet"-System unter Einsatz von Druckluft realisiert. Eine optimale Abreinigung hängt von mehreren geometrischen wie auch physikalischen Parametern des Abreinigungssystems ab. Optimal bedeutet, mit möglichst geringem Druckluftverbrauch eine ausreichende Abreinigung der Filterelemente zu erreichen.

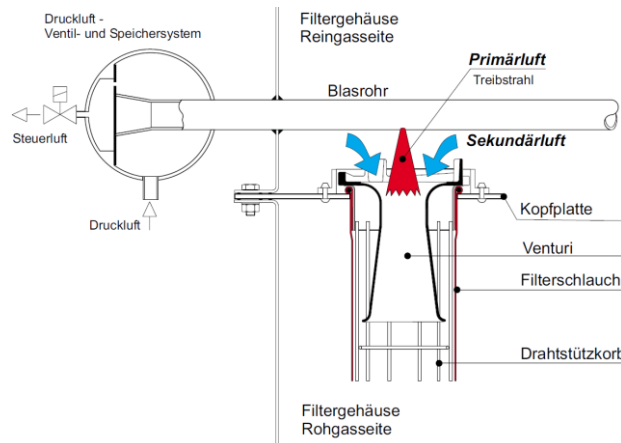


Abb. 17: Aufbau Pulse-Jet-System [1]

Die Kosten zur Erzeugung der benötigten Druckluft haben einen großen Einfluss auf die Betriebskosten der Filteranlage.

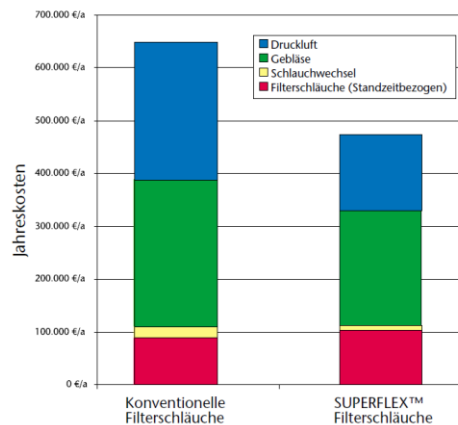


Abb.18: Gegenüberstellung von Betriebskosten für konventionelle Filterschläuche mit Membranfiltermaterial (Gore-Tex®) [1]

Eine Kostenreduktion für die Druckluft kann durch ein optimales Abreinigungsverhalten insbesondere mit der Oberflächenfiltration erreicht werden. Mit dem Einsatz von zur Oberflächenfiltration ausgerüsteten Filtermedien können gegenüber herkömmlichen Anlagen ohne Oberflächenfiltration die Betriebskosten um bis zu 40 % gesenkt werden.

Aber auch eine geringe Abreinigungshäufigkeit, ein hoher Sekundärluftanteil und ein niedriger Abreinigungsdruck tragen zur Einsparung von Druckluft bei.

7. Zusammenfassung

Der Weg zu höherer Wirtschaftlichkeit von Filtern gelingt, sofern Filtermedien eingesetzt werden, die einen hohen Anteil an Oberflächenfiltration ermöglichen. So profitiert der Betreiber von längeren Zyklen für den Elementeaustausch und zugleich von geringeren Energiekosten.

Basis für die Kostenoptimierung ist zum einen ein leistungsfähiges Filter, welches eine möglichst homogene Gas- und Partikelverteilung aufweist und über ein effizientes Abreinigungssystem verfügt. Zum anderen bestimmt das optimale Verhältnis der in Wechselwirkung stehenden Auslegungsparameter Filterflächenbelastung zu Druckverlust wesentlich das Gesamtkostengefüge. Geringe Investitionskosten durch kompakte Bauweise und hohe Filterflächenbelastung basierend auf effizienter Abreinigung und optimaler Gas- und Partikelverteilung im Filter führen zu einer bestmöglichen Ausnutzung der gesamten Filterfläche.

Geringe Ventilatorenergiekosten durch niedrigen Druckverlust aufgrund eines geringeren Anlagenwiderstandes durch Strömungsoptimierung und der Wahl des richtigen Filtermediums setzen eine effiziente Abreinigung über die gesamte Schlauchlänge voraus. Hohe Schlauchstandzeiten werden durch die Wahl des geeigneten Mediums und eine schlauchschonende Abreinigung garantiert.

Neuentwickelte Filtermedien bieten auch für Schlauchfilter eine Betriebsweise mit hohen Einsparpotentialen des zur Entstaubung benötigten spezifischen Energiebedarfs, der CO₂-Emissionen und der Betriebskosten.

8. Literatur

- [1] Moderne Enstäubungstechnik mit Oberflächenfiltern
Firmenschrift Mikropul GmbH und W. L. Gore 2003
- [2] Firmenbroschüre GEA Lufttechnik 2009
- [3] B. Lohrengel, Abgasreinigung/Immissionsschutz Stand 01/2004
- [4] S. Brenner
Industriefilter – Fasereinsatz und Anwendungsgebiete
- [5] Firmenprospekt Fa. Junker Filter 2008
- [6] G. M. Klein, T. Neuhaus, P. Bai, Th. Schrooten, T. Daniel
Verminderung der durch die Partikelablagerung verursachten Druckverluste in industriellen Schlauchfiltern
F & S Filtrieren und Separieren Jahrgang 23 (2009) Nr. 3
- [7] L.-P. Nethe
Der Einsatz von Sorbentien im gesamten System von Abgasreinigungsanlagen
Fachtagung Abgasreinigung in der thermischen Abfallbehandlung
Perspektiven und Möglichkeiten, 4.- 5.3.2004, Potsdam
- [8] O. Petzoldt
Standzeit im Fokus, Trends bei Staubfiltern aus PTFE-Laminat
CHEMIE TECHNIK, 31. Jahrgang, Nr. 7
- [9] Pressemitteilung der Stadt Neumünster vom 19.4.2007
- [10] J. Anschütz
Energieeffizienz von Ventilatoren
Klima Forum Messe Frankfurt 2008
- [11] B. Kuttkat
Druckluftkosten deutlich senken
MM Das Industrieportal 6.10.2006