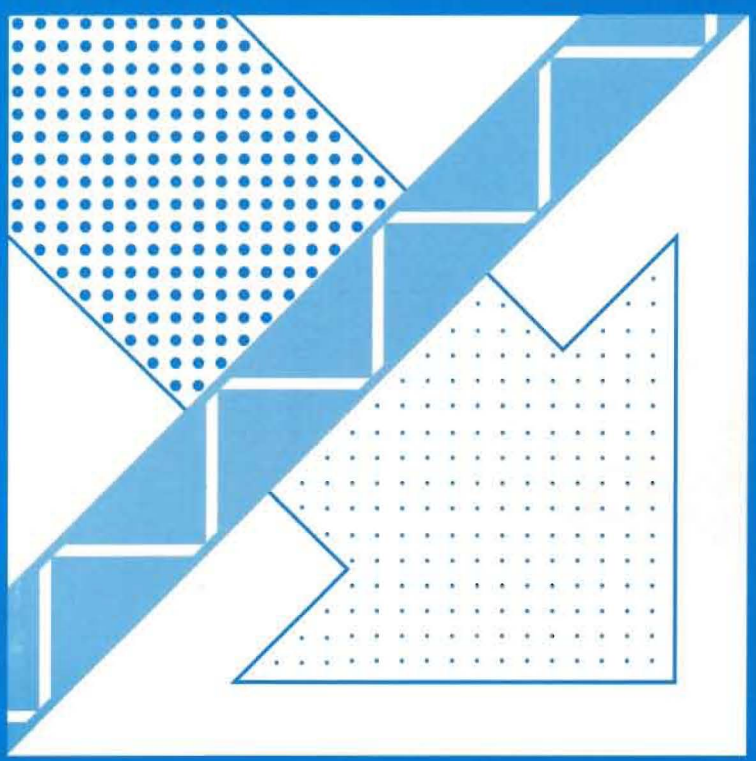
ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR
SPARSAMEN UND
UMWELTFREUNDLICHEN
ENERGIEVERBRAUCH E. V.

Zuluftfiltration



Gasturbinen in der Praxis

Inhalt

Einleitung	1
Einflüsse von verschmutzter Luft auf den Betrieb von Gasturbinen	2
Aufgaben der Zuluftfiltration	4
Stäube und Staubeigenschaften	5
Physikalische Grundlagen	8
Filtrationsprinzipien	10
Medien	11
Bauformen	12
Standard-Prüfverfahren	15
Auslegung	17
Ausschreibung	18
Ausführung	19
Checkliste/Fragebogen	21

Herausgeber:

Arbeitsgemeinschaft für
sparsamen und umweltfreundlichen
Energieverbrauch e.V. (ASUE)
Heidenkampsweg 101
Postfach 10 03 04
2000 Hamburg 1
Telefon (0 40) 23 45 09

Vertrieb:

Redaktion
Rationeller Erdgaseinsatz
Postfach 80 06 50
7000 Stuttgart
Telefon (07 11) 61 31 92
Telefax (07 11) 62 89 55

Zuluftfiltration
Best.-Nr. 11 11 91
Schutzgebühr 3,– DM

Einleitung

Unsere Luft enthält Staubpartikel unterschiedlicher Größen, die aus natürlichen und anthropogenen, d. h. vom Menschen verursachten, Quellen stammen.

Wird diese Außenluft als Verbrennungsluft für Gasturbinen genutzt, muß sie zunächst gereinigt werden. Dadurch werden einerseits Beeinträchtigungen der Aerodynamik der Beschaufelung vermindert, die zu Wirkungsgradverlusten führen. Andererseits wird möglichen Schäden vorgebeugt. Die Zuluftfiltration reduziert also die Betriebskosten von Gasturbinen.

Ausgehend von einer Beschreibung der Einflüsse verschmutzter Verbrennungsluft auf den Betrieb von Gasturbinen, werden in der vorliegenden Broschüre die Grundlagen der Luftfilterung und Ausführungsformen von Luftfiltern dargestellt sowie praktische Hinweise zu Auslegung, Ausführung und Betrieb gegeben.

Im Anhong ist zur Planung der Zuluftfiltration von Gasturbinen eine Checkliste beigefügt. Diese ist zur Fortschreibung der Betriebserfahrungen in Form eines Fragebogens aufgebaut. Es wird gebeten, den ausgefüllten Fragebogen an ASUE zurückzusenden.

Einflüsse von verschmutzter Luft auf den Betrieb von Gasturbinen

Höhere Gasturbinenwartungskosten wegen mangelnder Luftfiltration lassen sich generell in zwei Bereiche aufteilen:

- Kosten für eine verteuerte Reparatur während des normalen Revisionsintervalls verursacht durch Korrosion und Abrasion,
- Kosten durch einen Kompressorschaden, wenn durch Überschreitung der maximalen Schaufelbelastung eine Schaufel und folgende beschädigt werden.

Eine normale Reparatur von Kompressorschaufeln umfaßt gewöhnlich das Reinigen, das Al_2O_3-Strahlen und das Oxidieren bei der dem Material entsprechenden Temperatur sowie die Rißprüfung und das anschließende Beschichten.

Ist dazu aber eine Wiederherstellung der Kontur und ein Ausbessern von Korrosions- und Abrasionsschäden erforderlich, ist sehr teures manuelles Bearbeiten notwendig.

Im zweiten Fall sind die Schaufeln meistens nicht mehr reparabel. Im günstigsten Fall können die Festschaufeln durch Beschleifen wieder verwendet werden.

Nachfolgend sind die wichtigsten Einflüsse verschmutzter Verbrennungsluft auf den Gasturbinenbetrieb zusammengefaßt:

Erosion

Unter Erosion versteht man den Materialabtrag am Lauf- und Leitzeug, hervorgerufen durch die abrasive Wirkung von luftgetragenen Partikeln. Dabei verschwinden die Erosionswirkungen bei Partikelgrößen unterhalb ca. 5 µm. Um die Erosionswirkung zu eliminieren, reichen im allgemeinen Feinfilter aus.

Die Erosionswirkung wurde früher gezielt genutzt, um den Verdichter zu reinigen. Dabei wurden Feststoffe, wie Reis oder Nußschalen, in den Verdichter gegeben. Mit der Verbreitung der Schaufelbeschichtungen, die ebenfalls erodiert werden, wird dieses Verfahren zugunsten der Naßwäschen nicht mehr angewendet.

Fouling

Unter Fouling versteht man die Belagbildung auf der Beschaufelung. Sie wird durch feine und feinste Partikel hervorgerufen (2 – 5 µm), die der Luftströmung um die Schaufel folgen können, aber auch durch die Grenzschicht diffundieren und dort zu Schmutzbelägen aufwachsen.

Durch Kompressorfouling wird die Geometrie der Schaufeln geändert, dadurch steigt der Leistungsbedarf für die Kompression der Luft, der durch die erhöhte Austrittstemperatur des Kompressors berechenbar wird. Da die Turbinen in der Regel temperaturbegrenzt bei der maximalen Auslegungsleistung laufen, reduziert sich die verfügbare Generatorleistung.

Vereinfacht gerechnet erhöht sich die Kompressoraustrittstemperatur um ca. 6 °C pro Prozentpunkt Kompressor-Wirkungsgradverschlechterung (Bild 1), entsprechend einer etwa gleich großen Reduzierung der maximalen Feuerungskapazität. Ebenso reduziert sich das Kompressordruckverhältnis um ca. 2,6 Prozentpunkte.

Zum anderen besteht bei Verdichtern, die nahe an der Pumpgrenze betrieben werden, die Gefahr des Strömungsabrisses (Rotating Stall) unter normalen Betriebsbedingungen. Außerdem kann Korrosion auf dem Schaufelwerkstoff auftreten.

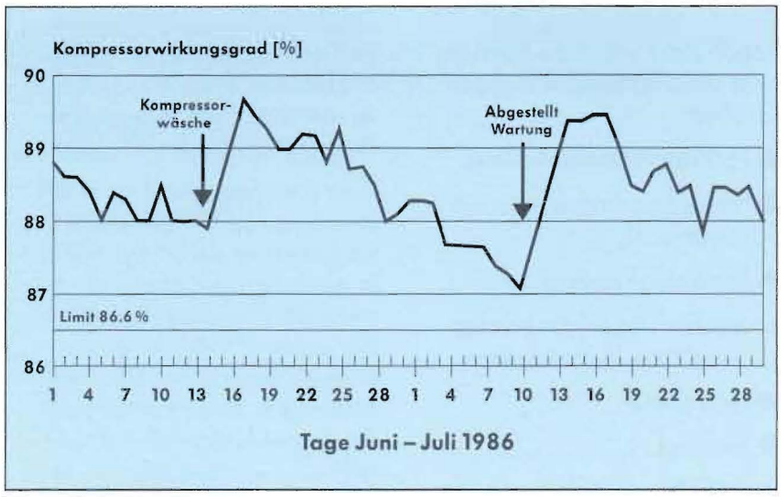


Bild 1: Kompressorwirkungsgrad

Durch den Einsatz von Filtern kann die Foulingwirkung an sich nie auf Null reduziert werden, da auch Partikeln im Submikronbereich Foulingerscheinungen auslösen. Der Einsatz von Feinstfiltern kann jedoch die Geschwindigkeit der Belagbildung soweit reduzieren, daß über die Betriebszeit die Verluste minimiert werden, zumal wenn in gewissen Abständen der Verdichter gewaschen wird.

Naßkorrosion

Luftverunreinigungen sind in Verbindung mit der Luftfeuchtigkeit chemisch nicht inert. Da luftgetragene Partikeln auch Salze, wie z. B. Ammoniumverbindungen, enthalten, kommt es in den Belägen zu Elektrolytbildungen, die an den Korngrenzen des Schaufelmateriales zu interkristalliner und Spannungsrißkorrosion führen. Diese Effekte können zu Schaufelbrüchen führen.

Heißkorrosion

Bei ölgefeuerten Maschinen ist die Primärquelle korrosiver Bestandteile meist der Brennstoff. Aber auch durch Luftverunreinigungen, die z. B. Natrium oder Schwermetalle enthalten können, kann Heißkorrosion auftreten. Bei den inzwischen üblichen Turbineneingangstemperaturen von 900 bis 1.000 °C können sich mit den Nickel-Titan-Legierungen der Schaufeln leichtflüchtige Verbindungen bilden, die zu Materialabtrag und Rißbildung führen.

Überhitzung

Ein Teil der verdichteten Luft wird zur Kühlung der Heißgasteile dem Verdichter entnommen. Obwohl die Kühlluftkanäle im Rotor bzw. Gehäuse der Gasturbine meist einen großen Querschnitt aufweisen, können feinste Partikel mit hoher spezifischer Oberfläche die Bohrungen und Schlitze in den Schaufeln mit der Zeit zusetzen. Dies führt zu Überhitzungserscheinungen und damit zu vorzeitiger Materialermüdung.

Kühlluft für Gasturbine, Generator, Maschinenhalle

Neben der Filtration der Verbrennungsluft wird auch die Kühlluft für das Gasturbinen-Package bzw. die Maschinenhalle gefiltert. Bei kleineren Anlagen wird auch der Generator mit der Luft des Packages bzw. der Maschinenhalle gekühlt. Größere Anlagen verfügen meist über eine separate Kühlluftfiltration des Generators.

Für die reine Package-/Maschinenhallen-Belüftung soll die Luftfiltration die Verschmutzung der Anlage und das Ansaugen größerer Fremdkörper ausschließen. Die Anforderungen an die Kühlluft für Generatoren sind jedoch höher. Verschmutzungen, die zu Betriebsstörungen führen können, sind außerordentlich schwierig zu beseitigen und oft nur durch Demontage des Generators möglich. Deshalb werden oft die gleichen Anforderungen an die Kühlluft gestellt wie an die Zuluft.

Aufgaben der Zuluftfiltration

Ziel der Zuluftfiltration ist es, die in der Luft dispergierten Partikel abzuscheiden. Die Partikel können sowohl in fester als auch in flüssiger Form vorliegen. Bei genauer Betrachtung dieser Aufgabe hat man es mit komplexen Einflußgrößen zu tun.

Diese Einflußgrößen, die im Einzelfall stark variieren können, sind die partikelabhängigen Größen

- Partikelgrößenverteilung,
- Partikelzusammensetzung (chemisch),
- Partikelkonzentration

sowie die trägerluftabhängigen Größen, insbesondere

- Temperatur,
- Feuchte.

Für die Charakterisierung des Einsatzfalles wichtig sind weiterhin der Ansaugvolumenstrom und die zulässigen Differenzdrücke.

Anhand dieser Daten wird aufgrund der Anforderungen, die an die Zuluftqualität der Filter gestellt werden, festgelegt, welcher Filter bzw. welche Filterkombination in einem definierten Fall einzusetzen ist.

Die Anforderungen beziehen sich auf die Abscheidung, den hierfür notwendigen Druckverlust durch die Filter sowie die geforderten Standzeiten.

Dies sind gegenläufige Anforderungen. Jede Filterentwicklung stellt einen Kompromiß dar. Je nach Anwendung kann der optimale Filter der Filter sein, der einen möglichst hohen Abscheidegrad erreicht, wobei hinsichtlich Druckverlust und Staubspeicherfähigkeit Abstriche gemacht werden müssen. Es kann aber auch ein Filter sein, der bei definierter Abscheidung eine möglichst lange Standzeit erreicht.

Stäube und Staubeigenschaften

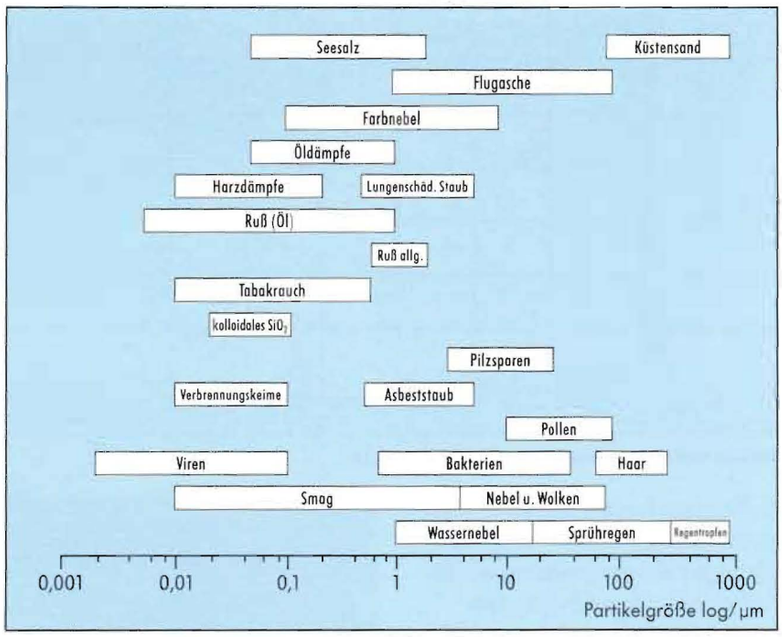


Bild 2: Umgebungsaerosole

In Bild 2 sind Beispiele für wichtige Umgebungsaerosole wiedergegeben. Auf der Abszisse sind die Größenordnungsbereiche der Aerosole in ym angegeben. Aus dem Bild ist die Unterschiedlichkeit von Umgebungsaerosolen in Bezug auf Zusammensetzung und Partikelgröße gut zu erkennen. Die Partikelgrößenverteilungen der Aerosole erstrecken sich über einen Bereich von 6 bis 7 Zehnerpotenzen, und es ist ersichtlich, daß daraus unterschiedliche Aufgabenstellungen erwachsen und unterschiedlich aufgebaute Filtermedien zur Bewältigung der Aufgabenstellung benötigt werden.

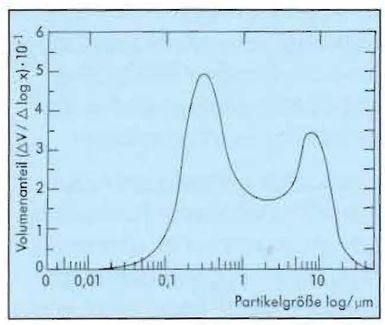


Bild 3: Partikelgrößenverteilung von Stadtluft

Bild 3 zeigt eine typische Partikelgrößenverteilung normal verschmutzter Stadtluft. Es handelt sich dabei um eine Volumenverteilung, bei der sich zwei Korngrößenbereiche deutlich unterscheiden lassen:

a) Der Bereich < 2 – 5 µm

Die in diesem Bereich vorliegenden Stäube stammen vor allem aus Verbrennungs- und anderen industriellen Prozessen, sind also anthropogenen Ursprungs. In ihnen sind insbesondere die Elemente Kohlenstoff und Schwefel enthalten. Außerdem finden sich Stoffe aus spezifischen Prozessen, wie Emissionen aus Rauchgasentschwefelungsanlagen oder hochsiedende Kohlenwasserstoffe aus Produkten unvollständiger Verbrennung.

Bild 4 zeigt den Extraktionsrückstand einer Staubprobe, die am Leitzeug einer Gasturbine ohne Zuluftfilter entnommen wurde.

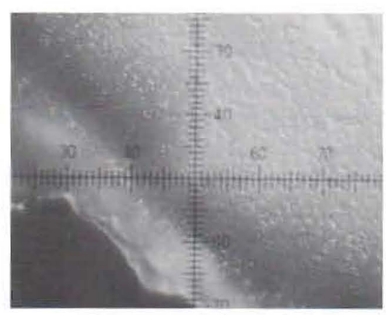


Bild 4: Extraktionsrückstand einer Staubprobe

Die amorphe Struktur des Rückstandes läßt auf langkettige Kohlenwasserstoffe schließen.

b) Der Bereich > 2 – 5 µm

Der Staub in diesem Korngrößenbereich stammt überwiegen aus natürlichen Quellen. Diese Quellen sind primär die Lithosphäre; je nach Vegetationsperiode finden sich auch Partikel aus der Fauna, wie Pflanzensamen und Pollen. Außerdem gibt es jahreszeitliche Partikelquellen wie Insektenschwärme. Chemisch bestehen diese Stäube vor allem aus Alkali und Erdalkalimetallen (Na, K, Ca), Elementen aus Sanden und Tonen (Si, Al) und

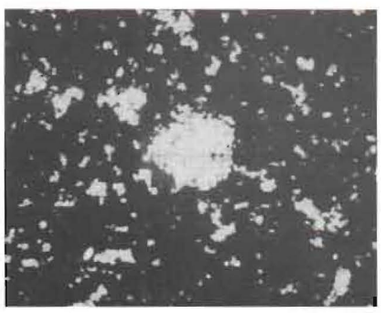


Bild 5: Mikroskopaufnahme von Sahara-Sand

anderen, häufig vorkommenden Elementen (Fe, Ti).
Bild 5 zeigt eine Mikroskopaufnahme von Sahara-Sand, wie er sich gelegentlich nach Regenschauern findet. Die zugehörige chemische Analyse (Bild 6) zeigt die typische Zusammensetzung.

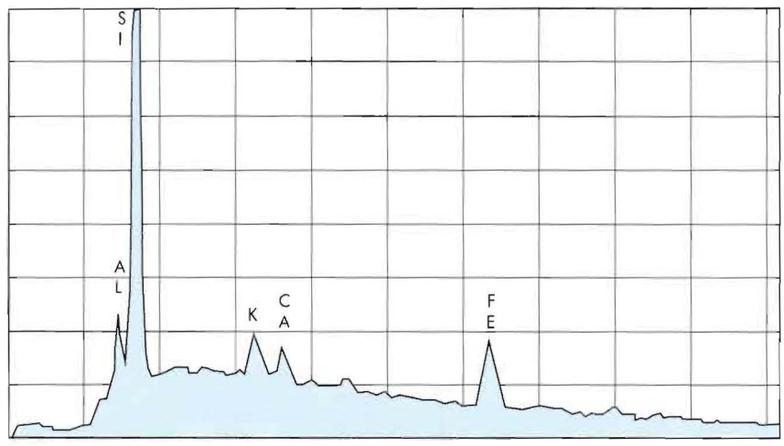


Bild 6: Chemische Analyse von Sahara-Sand

Außerdem finden sich Ammoniumsalze als Bestandteil partikelförmiger Verunreinigungen der Außenluft. Diese Salze, die hauptsächlich als Nitrat oder Sulfat vorliegen, entstehen als Gasphasenreaktion aus Ammoniak und Schwefeldioxid (SO_2) bzw. Stickoxiden (NO_x). Die gebildeten Partikel sind außerordentlich fein (submikron).

Ammoniak entsteht als natürlicher Prozeß durch Fäulnisvorgänge organischen Materials. SO_2 bzw. NO_x werden insbesondere durch Feuerungs- und andere industrielle Prozesse gebildet.

Eine Besonderheit stellt die Hygroskopie der Ammoniumsalze dar. Bei üblichen Luftfeuchtigkeiten (55 % rel.) trocknen Staubproben aus Ammoniumsalzen nicht ein, sondern bilden einen ölartigen Kristallbrei (Bild 7).

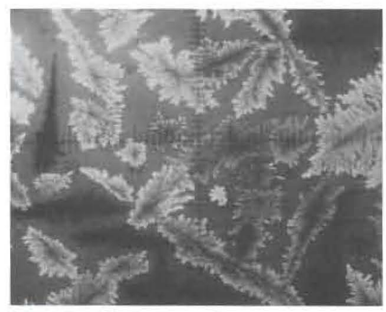


Bild 7: Hygroskopie von Ammoniumsalzen

Die in Bild 3 wiedergegebene Verteilungskurve kann sich in Breite und Höhe der Maxima je nach Einsatzort und meteorologischen Bedingungen ändern. Starker Regen, Nebel oder Inversionswetterlagen beeinflussen die Verteilung ebenfalls; in Industriegegenden ist die Verteilung anders als in ländlichen Gegenden. An der Küste bzw. in küstennahen Gegenden ist außerdem verstärkt Salz in der Luft zu finden. Unter bestimmten Umständen, wie z. B. ausgeprägten Westwetterlagen, können die maritimen Salze über weite Stecken transportiert werden.

Weitere Einflußgrößen sind die physikalisch schwer meß- bzw. erfaßbaren Staubeigenschaften wie Klebrigkeit (Adhäsivität) und Benetzbarkeit (Hydrophilie). Diese Eigenschaften bestimmen vor allem bei Speicherfiltern den Anstieg des Differenzdruckes über die Betriebszeit; bei Oberflächenfiltern hingegen die Abreinigbarkeit.

Neben der Partikelgrößenverteilung, die die Verunreinigungen der Luft differentiell beschreibt, gibt die Partikelkonzentration ein integrales Maß für die volumenbezogene Masse der verschiedenen Stäube in der Luft an.

Typische Werte für in der Atmosphäre auftretende Staubkonzentrationen sind in Bild 8 angegeben. Außerdem sind in der Tabelle noch typische Wetterzustände, die zu erwartende Bandbreite der Partikelgröße und die dadurch verursachten Schäden an Gasturbinen angegeben.

Region	Partikel-konzentration [mg/m³]	Partikel-größenbereich [µm]	Mögliche Schäden an Gasturbine
Wohngebiete	0,01 – 0,1	0,01 – 5	Fouling
Ländliche Gebiete	0,01 – 15	0,01 – 10	Fouling Erosion
Leicht-industrie-gebiete	0,05 – 0,5	0,01 – 5	Fouling
Schwer-industrie-gebiete	0,1 – 10	0,01 – 30	Fouling Erosion Korrosion
Küstenbereich u. Offshore	0,01 – 0,5	0,01 – 5	Fouling Korrosion
Wüsten-gebiete	0,01 – 500	0,1 – 100	Fouling Erosion Korrosion
Arktische Gebiete	0,01 – 0,5	0,01 – 5	Fouling
Tropische Gebiete	0,01 – 0,5	0,01 – 10	Fouling Erosion

Bild 8: Umgebungsbedingungen nach Kunze

Physikalische Grundlagen

Um die Abscheidung von Teilchen in Filtern zu gewährleisten, müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Die Teilchen müssen auf eine Faser auftreffen (Transportmechanismen),
- die Teilchen müssen an den Fasern haften bleiben (Haftmechanismen).

In Bild 9 werden schematisch die Transportmechanismen Diffusion, Trägheit, Gravitation und Elektrostatik wiedergegeben. Die zwischen Partikeln und Fasern auftretende Haftung wird durch die Elektrostatik, Van-der-Waals-Kräfte sowie Flüssigkeitsbrücken bewirkt. In Bild 10 ist eine Darstellung der Partikelabscheidung an einer einzelnen Faser in Abhängigkeit von Partikelgröße und Anströmgeschwindigkeit wiedergegeben.

Bei kleiner Partikelgröße und niedriger Anströmgeschwindigkeit ergibt sich eine gute Abscheidung infolge Diffusion. Mit steigender Partikelgröße und/oder Anströmgeschwindigkeit erfolgt zunächst ein Abfall des Abscheidegrades. Nach dem Durchlaufen eines Minimums steigt die Abscheidung wieder, diesmal infolge der an den Partikeln angreifenden Trägheitskräfte. Bei großen Partikeln und hohen Anströmgeschwindigkeiten (Grobfilterbereich) wächst die Gefahr des Abprallens von Partikeln an einer Faser, dadurch fällt die Abscheidung erneut ab.

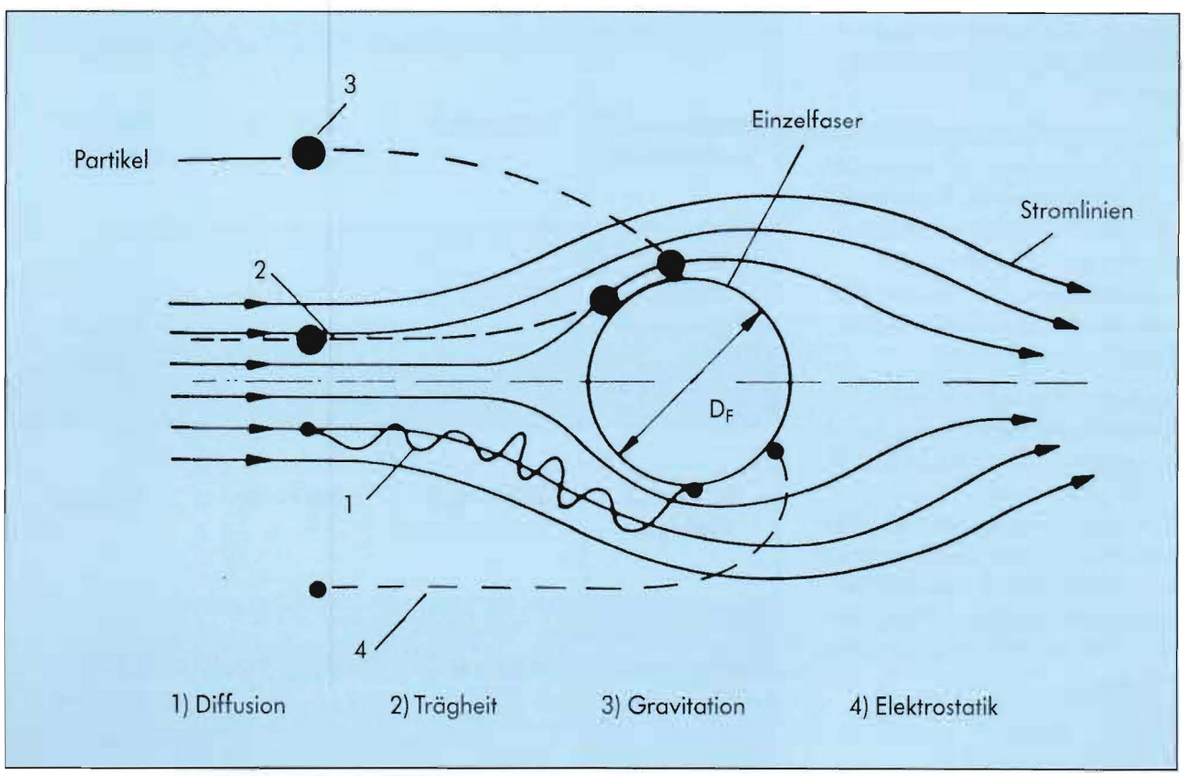


Bild 9: Transportmechanismen für die Partikelabscheidung an Fasern

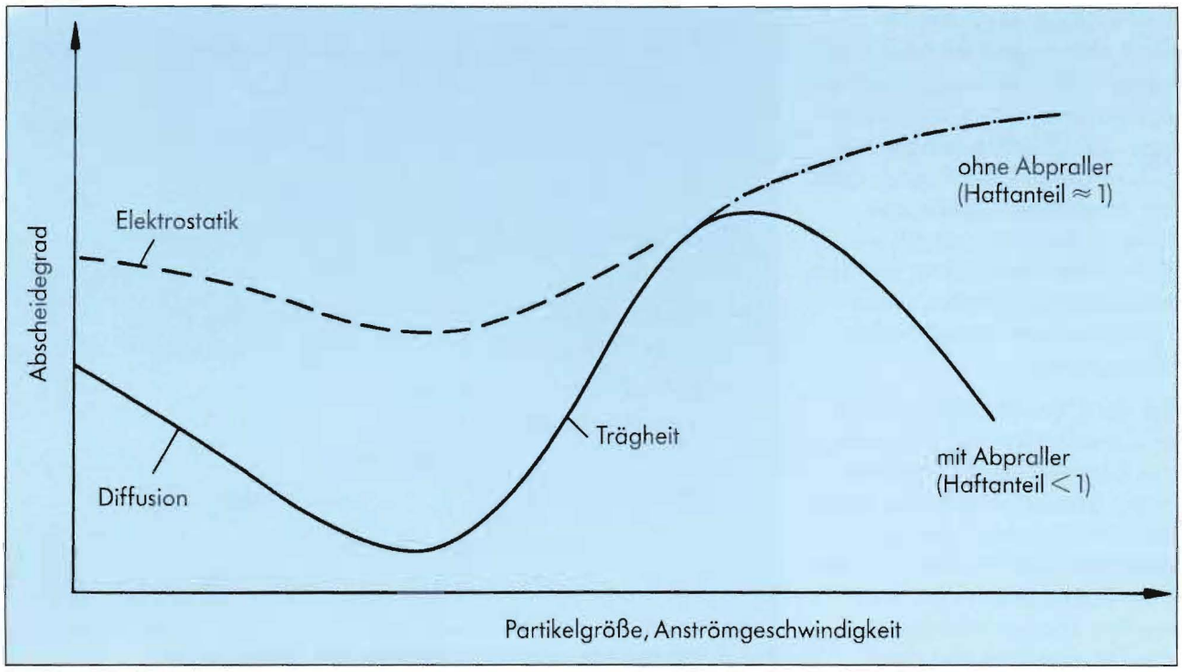


Bild 10: Einfluß von Partikelgröße und Anströmgeschwindigkeit auf die Abscheidung an Fasern

Diese Charakteristik kann im Bereich großer Partikeln und hoher Anströmgeschwindigkeiten verbessert werden durch das Aufbringen einer haftaktiven Schicht auf die Fasern.

Der Effekt wächst mit der Anzahl der beschichteten Fasern. Deswegen ist es wichtig, nicht nur die Fasern an den Oberflächen des Filters, sondern auch in der Tiefe des Materials zu beschichten.

Das im Übergang zwischen Diffusion und Trägheit existierende Abscheideminimum kann durch das Aufbringen von elektrostatischen Ladungen auf Fasern und/oder Partikeln verbessert werden. Filtermedien, die diesen Effekt ausnutzen, werden Elektrete genannt.

Der Anteil des elektrostatischen Effektes an der Abscheidung bzw. das Verhältnis Elektrostatik/mechanische Effekte und damit das dynamische Filtrationsverhalten ist je nach Herstellungsart der Elektrete unterschiedlich.

Filtrationsprinzipien

Zur Filtration der Zuluft für Gasturbinen gibt es zwei unterschiedliche Filtrationsprinzipien. Zum einen werden sog. Tiefen- bzw. Speicherfilter eingesetzt, zum anderen Oberflächenfilter, die wegen der Option der Abreinigbarkeit auch oft als „Pulse-Filter" bezeichnet werden. Nachfolgend werden diese Filterprinzipien voneinander abgegrenzt:

Bei der Oberflächenfiltration sind die Partikel möglichst an der Oberfläche des Filtermediums abzuscheiden. Der Vorteil besteht darin, daß die abgeschiedenen Teilchen von der Oberfläche wieder entfernt werden können und dadurch das Filtermedium mehrfach verwendet werden kann.

Bei Tiefenfiltern werden die Staubpartikeln im Innern des durchströmten Mediums abgeschieden.

In Bild 11 sind die Merkmale von Oberflächen- und Tiefenfiltern vergleichend nebeneinandergestellt. Auffallend sind die großen Unterschiede in der Anströmgeschwindigkeit und den auftretenden Druckverlusten.

Dieser Unterschied ist erklärbar aus der unterschiedlichen Struktur der Filtermedien. Ein wichtiges Charakteristikum dafür ist die Porosität eines Mediums. Die Porosität gibt an, wieviel Prozent des durch das Filtermedium umschlossenen Volumens durch Luft bzw. durch Fasern des Filters eingenommen werden.

Klassifizierung von Filtern

Rohgas-Konzentration

$c_{roh} < 5$ mg/m³	$c_{roh} > 5$ mg/m³
Luftfiltration	Entstaubung
Speicherfilter (Tiefenfilter)	Oberflächenfilter (Abreinigungsfilter)
– Filtermatten – Rollbandfilter – Taschenfilter – Kassettenfilter	– Patronenfilter – pulse-jet-Filter
Druckverlust	
$\Delta p = 50 - 600$ Pa	$\Delta p = 1000 - 3000$ Pa
Anströmungsgeschwindigkeit	
$\dot{v} = 0{,}2 - 2{,}5$ m/s	$\dot{v} = 0{,}005 - 0{,}05$ m/s

Bild 11: Unterschiede zwischen Oberflächen- und Tiefenfiltration

Die Porosität für Grobfilter beträgt 98 bis 99 %, das heißt, nur 1 bis 2 % des umschlossenen Volumens werden durch Fasern ausgefüllt, dieser Wert sinkt bei Fein- und Feinstfiltern auf 98 bis 93 % ab.

Typische Werte für in der Zuluftfiltration eingesetzte Oberflächenfiltermedien liegen um 50 % (thermisch verfestigte Vliesstoffe, Papiere).

Aus diesem unterschiedlichen Aufbau von Filtermedien ist auch verständlich, daß die für die Filtration verantwortlichen Mechanismen in verschiedenem Umfang zum Filtrationsergebnis beitragen.

Die Optimierung zwischen der Einstellung einer definierten Filterleistung und hohen Standzeiten (d. h. Staubspeichervermögen) wird durch den progressiven Aufbau eines Filtermediums erreicht.

Unter „progressivem Aufbau" eines Filtermediums wird die Anordnung von Faserschichten mit unterschiedlichen Faserdurchmessern hintereinander verstanden. Der Faserdurchmesser – und damit die Porosität der Faserschicht – nimmt dabei zur Reinluftseite hin definiert ab.

Bild 12: Querschnitt eines progressiv aufgebauten Vliesstoffes

Der progressive Aufbau eines Feinfiltermediums ist in Bild 12 wiedergegeben. Die Abnahme der Porosität zur Reingasseite hin ist deutlich zu erkennen.

Medien

Die Fasern, aus denen die Filtermedien aufgebaut sind, können in die folgenden Gruppen unterteilt werden:

- Glasfasern,
- halbsynthetische Fasern (Zellulose, Viscose),
- synthetisch-organische Fasern (PES, PP, PE, PA usw.)

Während im Grob- und Feinfilterbereich schon immer alle Gruppen zum Einsatz kamen, konnten im Feinstfilterbereich lange Zeit nur Glasfasern verwendet werden, da nur sie in der benötigten Feinheit hergestellt werden konnten.

Die Faserdurchmesser von Grobfiltermedien (EU 1 – EU 4) sind typischerweise größer 40 bis 50 µm, von Feinfiltermedien (EU 5 – EU 6) größer 10 µm. Filtermedien der Filterstufen EU 7 bis EU 9 (Luftfilter-Klasseneinteilung siehe Bild 14) liegen – wenn sie aus Glasfasern hergestellt werden – typischerweise zwischen etwa 0,8 bis 4,5 µm. Mikrofasern auf synthetisch-organischer Basis in den Bereichen EU 7 bis EU 9 können nicht mit einem einfachen Durchmesser charakterisiert werden.

Sie haben eine flachen, bandnudelförmigen Querschnitt, wobei die breitere Seite zwischen 5 und 10 µm und die schmalere Seite zwischen 1 und 3 µm liegt.

Diese Fasern sind elastisch und brechen nicht. Wie alle synthetisch-organischen Fasern können sie – wenn die notwendigen Produktionseinrichtungen dafür vorhanden sind – sehr gleichmäßig im Vlies verteilt werden. Dies führt zu der in der Filtration gewünschten homogenen Filterstruktur, die durch eine gleichmäßige Durchströmung des Filtermediums eine dauerhaft gute Abscheidung ermöglicht. Schließlich wird kein Bindemittel benötigt, um die Fasern zu einem Vlies zu verfestigen.

Bauformen

Um bei der Zuluftfiltration mit konfektionierten Luftfiltern ein Optimum zu erreichen, ist eine maximale Staubspeicherfähigkeit pro m^2 eingesetzter Filterfläche bei definierter Abscheidung durch Wahl eines gleichmäßigen, progressiv aufgebauten Filtermediums anzustreben.

Für Taschenfilter gilt ferner:

- Die im Filter eingesetzte Filterfläche (Bruttofilterfläche) muß auch die wirksame Filterfläche (Nettofilterfläche) sein. Dies muß durch eine entsprechende Abstandshalterung erreicht werden.
- Leckfreie Herstellung der einzelnen Filtertaschen und leckfreie Verbindung der Filtertaschen mit dem Filterrahmen durch Einsatz geeigneter Verbindungstechniken.
- Eigensteifigkeit der Filtertaschen während der gesamten Einsatzzeit des Filters, um eine optimale Filtration durch gleichmäßige Staubbeaufschlagung in allen denkbaren Betriebslagen zu gewährleisten.

Bei Oberflächenfiltern ist außerdem auf eine hohe Beständigkeit gegenüber Alterung des Mediums zu achten, das heißt kein Verspröden bzw. Reißen nach Feuchteeinwirkung.

Weitere wichtige Eigenschaften sind die mechanische Beständigkeit (Berstdruck) sowie die thermische und chemische Beständigkeit des Filters.

Schließlich sollte er bis 100 % Luftfeuchte beständig und flammhemmend ausgerüstet sein (DIN 53 438).

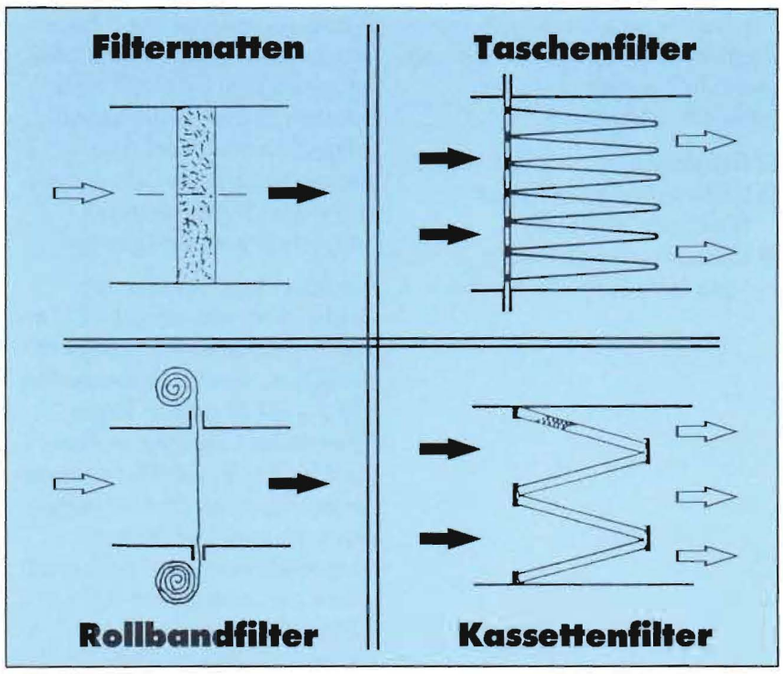


Bild 13: Grundbauformen von Speicherfiltern

Eine Filterkonstruktion aus veraschbaren Werkstoffen erleichtert die Entsorgung der gebrauchten Filter, da sie in Verbrennungsanlagen keine unerwünschten festen Rückstände bilden.

Auf dem Markt sind viele sich unterscheidende Bauformen, die jedoch auf die in Bild 13 dargestellten Grundbauformen zurückgeführt werden können.

Filtermatten

Diese Materialien werden auch Planfiltermaterialien genannt. Sie werden vom Hersteller als Flächenware an den Benutzer geliefert, wobei dieser oder ein zwischengeschalteter Konfektionär Zuschnitte herstellt, die dann in vorhandene Aufnahmerahmen unterschiedlicher Art und Größe eingelegt werden. Bei Erreichen des Enddruckverlustes werden die Medien gewechselt.

Rollbandfilter

Um die Standzeit von Filtermedien zu erhöhen, wurden Rollbandfilter entwickelt. Bei dieser Bauform wird das Filtermedium in einer Rolle über dem einen Ende des Lüftungskanals aufgehängt, durch den Kanal geführt und über eine untere Rolle gelegt. Sobald ein bestimmter Druckverlust erreicht ist, taktet der Filter, das heißt, neues unverbrauchtes Material wird in den Lüftungskanal gezogen.

Rollbandfilter werden seit einigen Jahren nicht mehr eingesetzt, da sie spezifische Nachteile bieten, die sich sowohl auf die Abscheidung als auch auf die Zuverlässigkeit auswirken. Die Beanspruchung des Filtermediums durch die Vorschubbewegung führt dazu, daß ein Großteil des im Medium haftenden Staubes während des Taktens zur Reinluftseite wandert und in den Reinluftstrom gerät. Außerdem ist das Differenzdruckniveau der Rollbandfilter bei gegebener Abscheideleistung (Grobfilter) sehr hoch, so daß, auch unter Einbeziehung der Investitionskosten, ein wirtschaftlicher Betrieb nicht gegeben ist. Vorfilterstufen, wo früher Rollbandfilter eingesetzt wurden, werden heute durch Taschenfilterstufen substituiert.

Taschenfilter

Die V-förmige Anordnung von Filtermaterialien erlaubt dem Hersteller von Filteranlagen eine kleinere Bauweise, eine Forderung, die seit Jahren immer mehr gestellt wird. Diese Anordnung gestattet es, mehr Filterfläche auf gleichem Raum unterzubringen. Durch die Verringerung der Durchströmgeschwindigkeiten erreicht man außerdem bessere Filtrationsergebnisse bei geringeren Druckverlusten und einer Verlängerung der Standzeit. Taschenfilter – abgestimmt auf die Anforderungen – sind heute mengenmäßig auf dem Luftfiltermarkt am weitesten verbreitet.

Kassettenfilter

Eine neuere Variante, mehr Filterfläche auf kleinem Raum unterzubringen, ist der „Rigid"-Filter. Der Rigid-Filter wurde aus den Taschenfiltern abgeleitet, um einen Nachteil von Glasfasertaschenfiltern auszugleichen. Glasfasertaschenfilter sind nicht eigensteif und ihre mechanische Belastbarkeit ist gering. Durch eine bessere Unterstützung des Filtermaterials soll verhindert werden, daß die spröden Glasfasern infolge von Bewegungen der Taschen brechen und die Bruchstücke auf die Reingasseite gelangen.

In dieser Konfektionierungsform werden neben Tiefenfiltermedien auch Oberflächenmedien (Papier) eingesetzt.

Schwebstoffilter

Eine ähnliche Konfektionierungsform wie die Rigid-Filter weisen auch die Schwebstoffilter (HEPA-Filter) auf. Hier werden als Filtermedien Glasfaserpapiere mit sehr feinen Fasern eingesetzt. Diese Filter werden an problematischen Anlagenstandorten vereinzelt eingesetzt.

Weitere zur Zuluftfiltration eingesetzte Abscheider werden nachfolgend kurz beschrieben:

Trägheitsabscheider

In Trägheitsabscheidern werden die Teilchen aufgrund von Fliehkräften, die bei einer Umlenkung der Luftströmung auftreten, abgeschieden. Trägheitsabscheider können entweder die Form eines Zyklons haben (spin-off) oder bestehen aus zahlreichen Umlenkblechen, die hintereinander angeordnet sind.

In der Regel können mit Trägheitsabscheidern nur Partikeln oberhalb 15 ym befriedigend abgeschieden werden. Dies hat zur Folge, daß sie nur als Vorfilter geeignet sind. Sie finden hauptsächlich als erste Filtrationsstufe bei hohen Partikelkonzentrationen, z. B. in ariden Zonen bei häufiger Gefahr von Sandstürmen, Verwendung.

Der prinzipielle Nachteil von Trägheitsabscheidern besteht darin, daß ihr Abscheideverhalten vom durchgesetzten Luftvolumenstrom abhängt. Dies bedeutet, daß sie nur bei einem bestimmten Volumenstrom richtig arbeiten. Für Gasturbinen, die mit wechselnder Last betrieben werden, sind daher Trägheitsabscheider allein nicht geeignet. In diesem Falle erweist sich eine Kombination mit Tiefenfiltern oder abreinigbaren Oberflächenfiltern als günstiger.

Oberflächenfilter

Oberflächenfilter (Patronenfilter/pulse-jet-Filter) arbeiten mit Filtermedien, die Partikeln vorzugsweise an der Medienoberfläche abscheiden. Dadurch ist die Möglichkeit der Abreinigung gegeben. Durch einen Druckimpuls von der Reinluftseite werden die anhaftenden Partikeln vom Medium abgelöst.
Diese Filter haben sich in ariden Zonen mit temporär auftretenden hohen Staubkonzentrationen bewährt. In Mitteleuropa jedoch, wo die Staubkonzentrationen allgemein gering sind, kann der Einsatz von Oberflächenfiltern Probleme hinsichtlich der Abreinigbarkeit verursachen. Durch die in der Luft enthaltenen klebrigen Staubbestandteile kommt es zu Anbackungen, die sich nicht durch Druckstoß absprengen lassen.

Als Medien werden vorwiegend Papiere eingesetzt, jedoch sind auch Medien aus synthetischen Fasern verfügbar. Synthetische Medien bieten den Vorteil der Waschbarkeit, so daß bei klebrigen Stäuben der Filter trotzdem regeneriert werden kann.

Konfektionierungsformen sind vor allem zylindrische Patronen, jedoch auch Flachpatronen; beide in hängender oder liegender Anordnung.

Verdunstungskühler

Es gibt unterschiedliche Anordnungsmöglichkeiten für Verdunstungskühler.

a) Der Verdunstungskühler ist vor den Vorfiltern eingebaut.

b) Der Verdunstungskühler ist nach den Fein- bzw. Feinstfiltern eingebaut.

Für den ersten Fall spricht, daß bei laufendem Verdunstungskühler eine gewisse Menge des anfallenden Staubes ausgewaschen wird. Der Nachteil liegt in den nassen Filtern mit erhöhtem Differenzdruck. Für den zweiten Fall spricht, daß immer mit 100 % relativer Luftfeuchte gefahren werden kann ohne evtl. noch mitgerissene Tropfen Schmutz aus den Filtern.

Die Betriebserfahrung hat gezeigt, daß durch Versprühung des Wassers mit Kugelformdüsen die besten Ergebnisse erzielt werden.

Bei einem Filterhaus mit eingebautem Verdunstungskühler vor den Filterstufen kann auf den Regenabscheider verzichtet werden und nur ein Gitter am Eintritt angebracht werden.

Als Tropfenabscheider nach dem Verdunstungskühler empfiehlt sich ein Lamellenabscheider aus Kunststoff.

Für die Verdunstungskühler darf nur VE-Wasser eingesetzt werden. Ein Betrieb der Verdunstungskühler bringt einen Leistungsgewinn ab Außentemperaturen von 15 °C und höher bei einer relativen Luftfeuchte von 80 % und kleiner.

Bei einem Verdunstungskühler mit einer Sprühverteilung über den gesamten Kanalquerschnitt kann bei 20 °C Umgebungsluft die Ansaugluft um ca. 4 °C und bei 30 °C um ca. 7 °C abgekühlt werden.

Das bedeutet bei Industriegasturbinen, wo pro 1 °C Temperaturabfall ca. 0,96 % der Auslegungsleistung gewonnen werden, einen Leistungsgewinn von ca. 3,6 bis 6,5 %.

Der Verbrauch des Wassers pro kg angesaugte Luft liegt im Bereich von 1,6 bis 3 g/kg bei 25 °C Umgebungstemperatur und ausgehend von einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 bis 70 %.

Standard-Prüfverfahren

Filterklasse	mittlerer Abscheidegrad A_m gegenüber synthetischem Staub in %	mittlerer Wirkungsgrad E_m gegenüber atmosphärischem Staub in %	Bezeichnung
EU 1	$A_m < 65$	–	Grobstaubfilter
EU 2	$65 \leq A_m < 80$	–	
EU 3	$80 \leq A_m < 90$	–	
EU 4	$90 \leq A_m$	–	
EU 5	–	$40 \leq E_m < 60$	Feinstaubfilter
EU 6	–	$60 \leq E_m < 80$	
EU 7	–	$80 \leq E_m < 90$	Hochwertige Feinstaubfilter (Feinststaubfilter)
EU 8	–	$90 \leq E_m < 95$	
EU 9*)	–	$95 \leq E_m$	
*) Luftfilter mit einem hohen mittleren Wirkungsgrad können bereits einer Schwebstoffilter-Klasse nach DIN 24184 entsprechen.			

Bild 14: Luftfilter-Klasseneinteilung nach DIN 24185, Teil 2

Klassifizierung von Filtern

Die Einteilung der Zuluftfilter (Bild 14) in Grob-, Fein- und Feinstfilter wird aus der Klassifizierung der Filter nach DIN 24 185 abgeleitet (Eurovent 4/5; ASHRAE 52 – 76).

Filterprüfung nach DIN 24185

Die in DIN 24 185 beschriebene Filterprüfung stellt eine Möglichkeit der Kennzeichnung und des Vergleiches filtertechnischer Eigenschaften von Luftfiltern im Bereich der Raumlufttechnik dar. Für den Einsatz dieser Filtertypen zur Zuluftfiltration von Gasturbinen gibt es z. Z. kein weltweit gültiges Verfahren. Daher werden im Anschluß an die Prüfung nach DIN 24 185, je nach Hersteller, Sonderprüfungen durchgeführt, um die Tauglichkeit der Filter für den Gasturbineneinsatz zu gewährleisten.

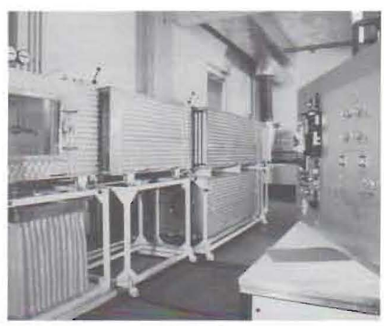


Bild 15: Filterprüfanlage gem. DIN 24185

Beurteilt wird der Filter anhand der Kriterien

- Abscheidegrad,
- Wirkungsgrad,
- Druckverlust,
- Staubspeichervermögen.

Die Ergebnisse der Prüfung können tabellarisch bzw. grafisch dargestellt werden.

In Bild 15 ist eine Filterprüfanlage gem. DIN 24 185 wiedergegeben.

Die Bedingungen für den Prüfablauf sind in DIN 24 185 im Detail festgelegt. Der Volumenstrom, mit dem der Filter belastet wird, und der Druckverlust, bis zu dem ein Filter mit Staub belastet wird (= Enddruckverlust), werden vom Filterhersteller angegeben. Diese beiden Parameter haben großen Einfluß auf das Ergebnis der Prüfung.

Nach Durchführung des Tests können die Ergebnisse in Form von Kurven dargestellt werden, aus denen die wichtigsten Daten abgelesen werden können (Bild 16).

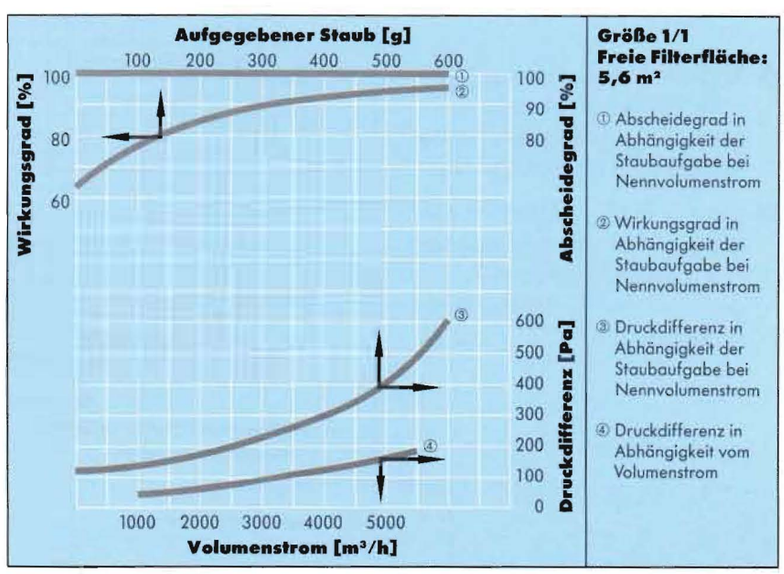


Bild 16: Filtertechnische Prüfdaten der Type MF 85 gem. DIN 24185

Qualitätsgarantie für Luftfilter

In der Bundesrepublik können die Luftfilter beim Materialprüfungsamt (MPA) in Dortmund gem. DIN 24 185 geprüft werden. Über die Prüfung eines zur Prüfung vorgelegten Filters wird ein Prüfzeugnis ausgestellt. Bild 17 zeigt die Kurzfassung dieses Zeugnisses im Falle eines Taschenfilters der Filterklasse EU 5. Auf Basis dieses Prüfzeugnisses kann darüber hinaus die neutrale Typprüfung gem. DIN 24 185, Teil 2 beim DIN bzw. bei der DGWK (Deutsche Gesellschaft für Warenkennzeichnung) in Berlin beantragt werden.

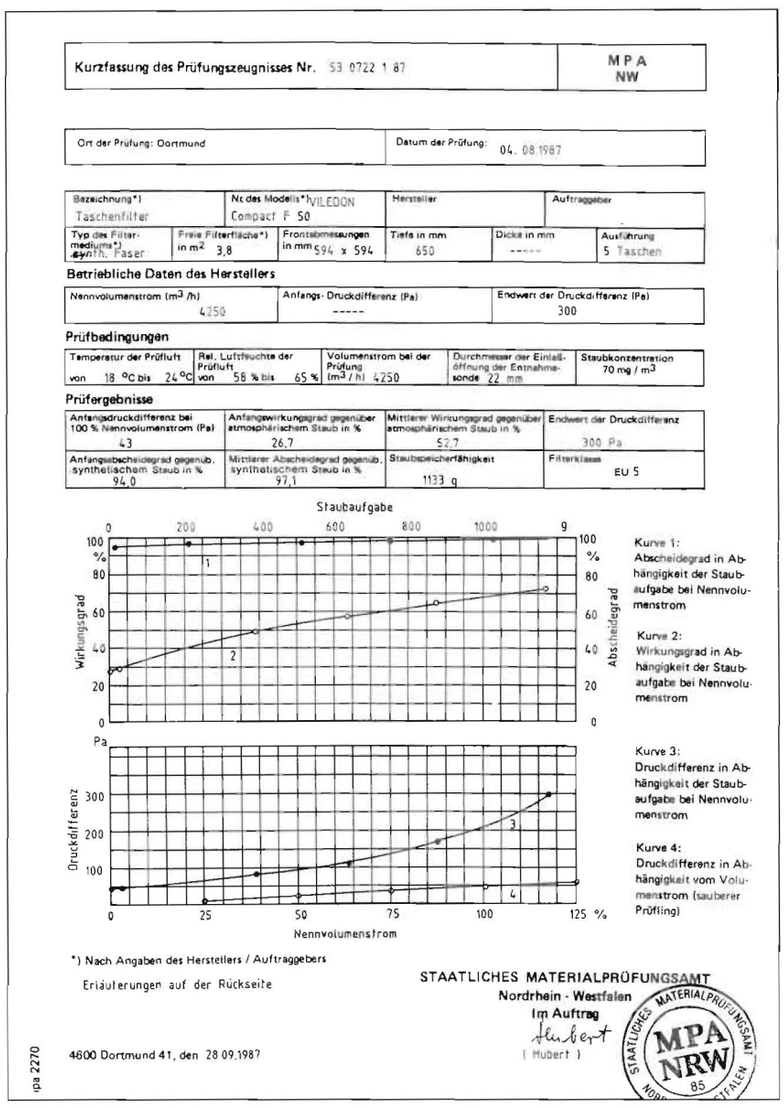
Aussagegrenzen der DIN 24 185

Durch Standardisierung wichtiger Filtrationsparameter werden die Aussagemöglichkeiten der DIN 24 185 (ASHRAE-Verfahren) bei der Übertragung auf reale Installationen begrenzt.

Die Grenzen und Schwächen des Verfahrens stellen sich wie folgt dar:

- Das Verfahren zeigt Toleranzen bei der Wirkungsgradbestimmung, insbesondere um 20 %.
- Angaben zu partikelgrößenabhängigen Wirkungsgraden (Fraktionsabscheidegrade) sind nicht möglich.
- Der ASHRAE-Prüfstab ist sehr grob und für die umfassende Beladungscharakteristik der Fein- und Feinstfilter nicht geeignet.
- Die ASHRAE-Prüfung erfolgt in einem horizontalen Kanal. Die lichte Weite seines quadratischen Querschnitts ist identisch mit dem Nennmaß der Prüflinge, das heißt, der Luftfilter wird in diesem Kanal gestützt. Dadurch werden Effekte, die aus Bewegungen von Filtern – wie sie in der Praxis überall vorkommen – resultieren, meßtechnisch nicht erfaßt.

Weitere anwendungsspezifische Prüfungen sind Schwebstoffilter-Prüfverfahren, Partikelzählverfahren und die Bestimmung des Berstdruckes.



Kurzfassung des Prüfungszeugnisses Nr. 53 0722 1 87	MPA NW

Ort der Prüfung: Dortmund	Datum der Prüfung: 04. 08.1987

Bezeichnung*)	Nr. des Modells*	Hersteller	Auftraggeber
Taschenfilter	VILEDON Compact F 50		

Typ des Filtermediums*)	Freie Filterfläche*) in m²	Frontabmessungen in mm	Tiefe in mm	Dicke in mm	Ausführung
synth. Faser	3,8	594 x 594	650	-----	5 Taschen

Betriebliche Daten des Herstellers

Nennvolumenstrom (m³/h)	Anfangs-Druckdifferenz (Pa)	Endwert der Druckdifferenz (Pa)
4250	-----	300

Prüfbedingungen

Temperatur der Prüfluft	Rel. Luftfeuchte der Prüfluft	Volumenstrom bei der Prüfung	Durchmesser der Einlaßöffnung der Entnahmesonde	Staubkonzentration
von 18 °C bis 24 °C	von 58 % bis 65 %	(m³/h) 4250	22 mm	70 mg / m³

Prüfergebnisse

Anfangsdruckdifferenz bei 100 % Nennvolumenstrom (Pa)	Anfangswirkungsgrad gegenüber atmosphärischem Staub in %	Mittlerer Wirkungsgrad gegenüber atmosphärischem Staub in %	Endwert der Druckdifferenz
43	26,7	52,7	300 Pa
Anfangsabscheidegrad gegenüb. synthetischem Staub in %	**Mittlerer Abscheidegrad gegenüb. synthetischem Staub in %**	**Staubspeicherfähigkeit**	**Filterklasse**
94,0	97,1	1133 g	EU 5

*) Nach Angaben des Herstellers / Auftraggebers

Erläuterungen auf der Rückseite

STAATLICHES MATERIALPRÜFUNGSAMT
Nordrhein - Westfalen
Im Auftrag
(Hubert)

4600 Dortmund 41, den 28.09.1987

ipa 2270

Bild 17: Prüfzeugnis

Auslegung

Für die Auswahl von Luftfilteranlagen sind folgende Kriterien ausschlaggebend:

- Betriebsweise der Anlage,
- Luftdurchsatz und der dabei zulässige Druckverlust,
- die örtlichen klimatischen Verhältnisse,
- Menge, Konzentration und Größenverteilung der Luftverunreinigung,
- Einbaumöglichkeiten,
- Investitionen und Betriebskosten.

Grundsätzlich stellt sich die Frage nach dem Prinzip des Zuluftsystems. Dabei kann zwischen Tiefenfiltern und Oberflächenfiltern gewählt werden. Für mitteleuropäische Standorte haben sich Tiefenfiltersysteme bewährt. An Standorten mit zeitweise auftretenden hohen Staubkonzentrationen (aride Zonen) und trockener Luft konnten sich Oberflächenfilter behaupten.

Das wichtigste Kriterium für die Auslegung einer Luftfilteranlage ist die geforderte Betriebsdauer und die anzustrebende Betriebszuverlässigkeit einer Gasturbinenanlage. Aufwendige und damit teure Luftfilteranlagen sind nur bei langen Betriebszeiten der Gasturbine gerechtfertigt.

Die Luftfilteranlage wird meistens von der Größe der angeströmten Filterfläche (Bild 18) so ausgelegt, daß man im Normalbetrieb eine Anströmgeschwindigkeit vor den Filtern von ca. 2 m/s hat.

Durch eine sogenannte V- oder W-Anordnung der Filterwände können die Baugröße und die Investitionen reduziert werden.

Der Winkel kann bis zu 15° zur Strömungsrichtung geneigt werden, so daß bei zwei Filterbänken ein Winkel von nur 30° gebildet wird. Dies verringert die Filteranlagengröße um bis zu 30 %.

Neben der filtertechnischen Auslegung, die die Anzahl der Filterstufen, die Abscheideeigenschaften der vorgesehenen Filter und die Belastung der Filtereinheiten einschließt, spielen bauseitige Randbedingungen eine Rolle bei der Konstruktion der Filteranlage. So wird bei Neuanlagen ab einer bestimmten Leistung meist eine standardisierte Aufstellung der GT-Anlage angestrebt. Die GT wird als Package mit angepaßter Filteranlage geliefert oder die Gesamtanlage (mit Abhitzekessel) ist vom Anlagenplaner standardisiert worden.

Die Integration einer GT-Anlage in bestehende Gebäude ist dagegen aufwendiger, da bauseitige und auch architektonische Lasten zu erfüllen sind. Da die Zuluftanlage ein vergleichsweise großes Bauvolumen ausfüllt, sollten die Filteranlagenhersteller möglichst früh in die Planungsphase einbezogen werden, um Voraussetzungen für eine leistungsfähige und wirtschaftliche Zuluftanlage zu schaffen.

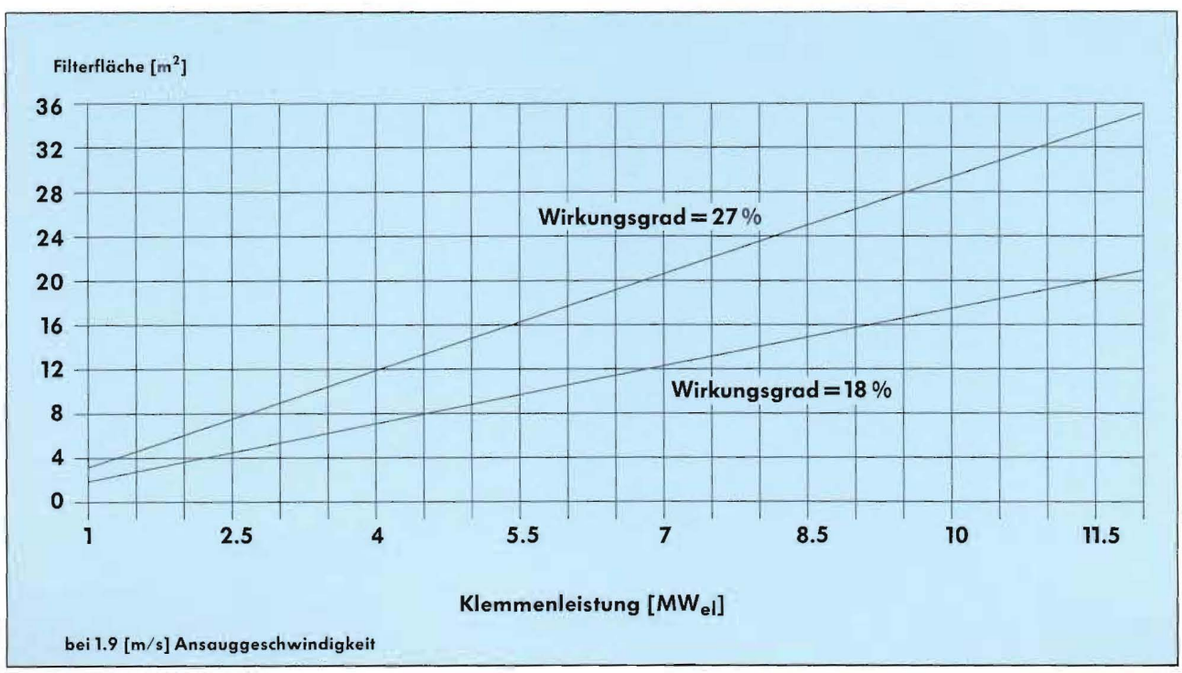


Bild 18: Filterflächenbedarf

Ausschreibung

Bei der Spezifikation sollten folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Standards
- Auslegungsbedingungen
- Filterhausanforderungen
- Wetterschutz, Lamellenabscheider
- Anti-Icing-System
- Verdunstungskühler
- Vorfiltersystem
- Hauptfiltersystem
- Einlaßkanal und -schalldämpfer
- Kanal und Gebläse für evtl. Schalldämmhaubenkühlung
- Instrumentierung
- Elektroanschlüsse
- Isolierung und Anstrich
- Schallpegel
- Inspektion, Test und Garantie
- Dokumentation und Handbücher

Ausführung

Aus den Erfahrungen vom Betrieb einer großen Anzahl von Filteranlagen hat sich gezeigt, daß die zweistufige Filtration der Zuluft das Optimum darstellt. Ebenso ist der generelle Einbau von Anti-Icing-Systemen und Verdunstungskühler zu empfehlen. Dies gilt, solange keine spezielle Emissionsquelle vorliegt und nur staubbeladene Luft eines durchschnittlichen Industriestandortes vorliegt.

Speicherfilter

In Bild 19 sind die wesentlichen Baugruppen einer Zuluftanlage mit Speicherfiltern dargestellt:

1. Das Anti-Icing-System verhindert das Einfrieren und Blockieren der Vorfilterstufen. Meist wird hierzu Verdichterzapfluft benutzt. Andere Konzepte sind Abgasrückführung oder Dampfheizregister.
2. Das Wetterschutzgitter verhindert durch Strömungsumlenkung der Luft das Ansaugen von großen Regentropfen. Die Lamellen werden vorzugsweise senkrecht angeordnet, um das Ablaufen des Wassers zu erleichtern.
3. Ein Gitter mit einer Maschenweite von ca. 25 mm verhindert das Eindringen von Vögeln und anderen Kleintieren in die Filteranlage.
4. Die Vorfilterwand besteht aus Aufnahmerahmen, die mit Versteifungsblechen verschraubt werden. Die Montage der Vorfilter kann dabei staub- oder reinluftseitig erfolgen.
5. Die Feinfilterwand ist ähnlich der Vorfilterwand konstruiert, nur sollte die Montage der Filter von der Staubluftseite erfolgen, damit die Verschlußfedern nicht die Kräfte des Differenzdruckes aufnehmen müssen.
6. Ein Zuluftkanal-Schutzgitter kann aus Sicherheitsgründen integriert werden.
7. Das Übergangsstück, das den Querschnitt der Filterwand auf den des Zuluftkanals reduziert, sollte nicht zu klein gewählt werden, um eine sanfte Beschleunigung des Luftstromes sicherzustellen. Meist werden die Notluftklappen in das Übergangsstück integriert. Bei einer Filterblockade, etwa durch Störungen am Anti-Icing, öffnen sich die Notluftklappen bei einem bestimmten Differenzdruck und verhindern dadurch ein Überschreiten der zulässigen Differenzdruckwerte am Verdichtereintritt. Sie sollten mit einer Enteisungseinrichtung versehen sein, die ein Einfrieren verhindert.
8. Der Kulissenschalldämpfer begrenzt die Schallemission auf die behördlich festgelegten Werte.

Ein feinmaschiges Sicherheitsgitter verhindert das Ansaugen von Fremdkörpern, etwa Schweißperlen oder Bruchstücke aus Schalldämpferschäden.

9. Ein schallgedämmter Zuluftkanal, der auch Mannlöcher zur Kanalinspektion enthält, verbindet die Filteranlage mit dem Verdichterdiffusor.

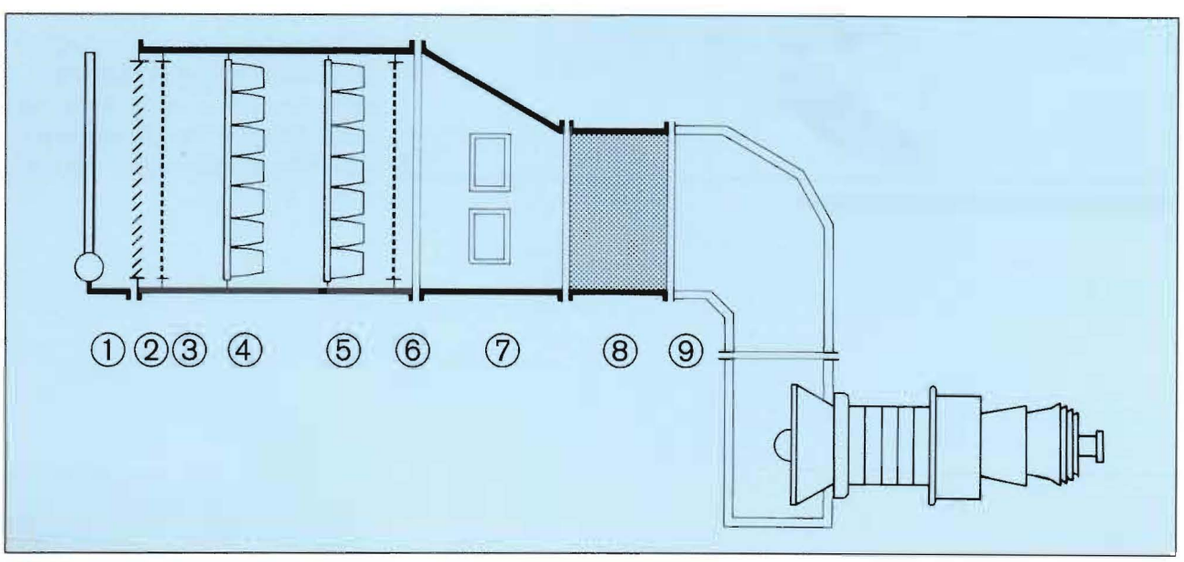


Bild 19: Prinzipskizze Speicherfilter

Oberflächenfilter

In Bild 20 ist ein Zuluftfiltermodul mit Oberflächenfiltern dargestellt:

1. Außenluft
2. Oberflächenfilter (zylindrische Patrone)
3. Venturi-Rohr
4. Reinluftraum (plenum)
5. Reinluftflansch
6. Membranventile
7. Drucklufttank
8. Relais-Ventile
9. Schaltkasten
10. Filtergehäuse mit Wetterschutz-Schürze

Diese Filtermodule werden bei größeren Anlagen etagenweise an einen Luftsammler angeflanscht, der dann weitere Baugruppen, wie Schalldämpfer und Sicherheitsgitter, enthält.

Besonderes Augenmerk ist auf die Geräuschemission während der Abreinigung zu lenken, da u. U. behördliche Grenzwerte überschritten werden könnten. Im allgemeinen hat eine Filteranlage mit Oberflächenfiltern einen höheren Differenzdruck, da einmal die Filterpatronen an sich höhere Differenzdrücke erzeugen, zum anderen aufgrund der Strömungsquerschnittsänderungen durch die Venturi-Rohre und die Verbindungskrümmer größere Verluste auftreten.

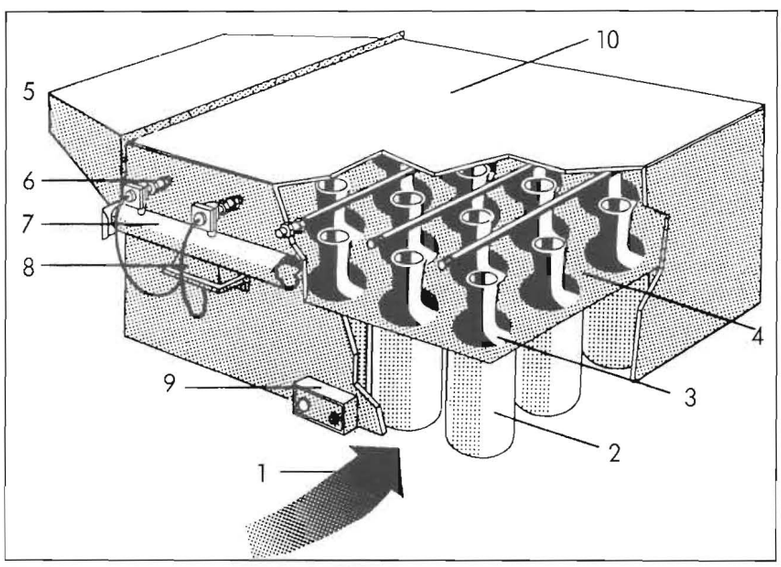


Bild 20: Prinzipskizze Oberflächenfilter

Als optimales Material für einen problemfreien Betrieb bietet sich Edelstahl an. Wenn man aus Kostengründen aber auf Normalstahl ausweicht, sollte zumindest der Schalldämpfer aus Edelstahl und der Bereich des Verdunstungskühlers mit Ausnahme der tragenden Teile aus Kunststoff bestehen.

Sowohl für Tiefenfilter- als auch Oberflächenfilteranlagen ist der Betriebsdifferenzdruck kennzeichnend für den Zustand der Zuluftanlage. An der Filteranlage sollten daher für jede Filterstufe zuverlässige Differenzdruckmanometer angebracht sein, die täglich abgelesen werden. Zusätzlich zu den Differenzdruckwerten ist die Aufzeichnung der meteorologischen Daten (Temperatur, Feuchtigkeit) wünschenswert. Eine Fernanzeige mit Schreiber der Daten ermöglicht eine automatisierte Protokollierung.

Bei Oberflächenfilteranlagen hängt die Auslösung des Druckluftrückstoßes im allgemeinen vom Betriebsdifferenzdruck ab. Bei geringen Staubkonzentrationen, wie sie in Mitteleuropa auftreten, ist der Abreinigungseffekt, d. h. die Senkung des Differenzdruckes, meist gering. Eine Abreinigung scheint nur dann sinnvoll zu sein, wenn sich ein sichtbarer Staubkuchen auf dem Filtermedium gebildet hat.

Checkliste/Fragebogen

Checkliste/Fragebogen — Seite 1

Bitte zurücksenden an:

ASUE
Postfach 10 03 04

2000 Hamburg 1

Technische Daten zur Gasturbine

Hersteller:

Type:

Baujahr:

Verwendungszweck:

Brennstoff:

Leistung (MW_{el}):

Betriebsstunden pro Jahr (h):

Ansaugmassenstrom (kg/s):

Betriebsperiode:

Anlagenstandort

Adresse:

Ansprechpartner:

Standortfaktoren

ländliches Gebiet ☐ Wohngebiet ☐

Industriegebiet ☐ Schwerindustriegebiet ☐

sonstiges:

Witterungsfaktoren (v. a. im Winter)

	häufig	selten	nie
trocken			
feucht			
neblig			
eisig			

sonstiges:

Vegetation und Topographie

Pollenflug ☐ Pappelsamen ☐

Autostraßen ☐ Truppenübungsplätze ☐

Abluftfahnen von Kraftwerken mit Rauchgasentschwefelungsanlagen ☐

sonstiges:

Baugruppen – Speicherfilter (s. Bild 19)

1. Anti-Icing-System ☐

Bauart: Prozeßluft ☐
Abgas ☐
Extern ☐

2. Wetterschutzgitter ☐

3. Vogelschutzgitter ☐

4. Vorfilterwand ☐

5. Feinfilterwand ☐

6. Zuluftkanal-Schutzgitter ☐

7. Übergangsstück ☐

8. Kulissenschalldämpfer ☐

9. Zuluftkanal ☐

Technische Daten – Speicherfilter

Vorfilter

Bauart:

Filtermatte ☐ Faltenfilter ☐ Trägheitsabscheider ☐

Rollbandfilter ☐ Taschenfilter ☐

Anzahl: Type:

EU-Klasse: Anfangsdifferenzdruck (Pa):

Standzeit (h): Enddifferenzdruck (Pa):

Sind die Vorfilter zwischenzeitlich umgerüstet worden? ☐ ja ☐ nein

Wenn ja, warum?

Sind mechanische Beschädigungen festgestellt worden? ☐ ja ☐ nein

Wen ja, welche?

Technische Daten – Speicherfilter

Feinfilter

Bauart:

Taschenfilter ☐ Kassettenfilter (Tiefe 300 mm) ☐

Schwebstoffilter ☐

Anzahl: Type:

EU-Klasse: Anfangsdifferenzdruck (Pa):

Standzeit (h): Enddifferenzdruck (Pa):

Sind die Feinfilter zwischenzeitlich umgerüstet worden? ☐ ja ☐ nein

Wenn ja, warum?

Sind mechanische Beschädigungen festgestellt worden? ☐ ja ☐ nein

Wenn ja, welche?

Sind Probleme mit Differenzdruckanstiegen während Feuchte-/Nebelperioden aufgetreten? ☐ ja ☐ nein

Baugruppen – Oberflächenfilter (s. Bild 20)

1. Außenluft ☐
2. Oberflächenfilter (zylindrische Patrone) ☐
3. Venturi-Rohr ☐
4. Reinluftraum (plenum) ☐
5. Reinluftflansch ☐
6. Membran-Ventile ☐
7. Drucklufttank ☐
8. Relais-Ventile ☐
9. Schaltkasten ☐
10. Filtergehäuse mit Wetterschutz-Schürze ☐

Technische Daten – Oberflächenfilter

Bauart:

Flachpatrone ☐ zylindrische Patrone ☐

Anzahl: Type:

Standzeit (h): Anfangsdifferenzdruck (Pa):

Pulse-Auslösungsdruck (Pa):

Auslösung des pulse-Systems (Differenzdruck/Zeitschalter)

Sind die Patronen zwischenzeitlich umgerüstet worden? ☐ ja ☐ nein

Wenn ja, warum?

Sind mechanische Beschädigungen festgestellt worden? ☐ ja ☐ nein

Wenn ja, welche?

Sind Probleme mit Differenzdruckanstiegen während Feuchte-/Nebelperioden aufgetreten? ☐ ja ☐ nein

Gab es Probleme mit Eisansatz? ☐ ja ☐ nein

Verdichterreinigung

Waschanlage vorhanden	☐	Welche?
Schaufelbeschichtung: (Komplett, Leit-/Laufschaufeln, welche Stufen)	☐	Womit?
on-line Wäsche	☐	Wann?
crank-wash	☐	Wann?
Stillstandskonservierung	☐	

Filterwechsel

Filterwechselkriterium (Differenzdruck/Einsatzdauer):

Wird Differenzdruck – Filter – geschrieben?	☐	Wie oft?

Zustandsüberwachung

Monitoring-System (Verdichterwirkungsgrad)	☐	Welches?
Filterhausbegehung	☐	Wie oft?
Zuluftkanalbegehung	☐	Wie oft?

sonstiges:

ASUE-Veröffentlichungen

Im folgenden werden ASUE-Publikationen vorgestellt, die wir als ergänzende Lektüre empfehlen. Die aufgeführten Titel können über die
Redaktion
Rationeller Erdgaseinsatz
Postfach 80 06 50
7000 Stuttgart
Telefon (07 11) 61 31 92
bezogen werden.

Gasturbinen-Kenndaten
Die Broschüre enthält eine Übersicht über die derzeitig lieferbaren Gasturbinen-Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung.

Gasturbinen – Beispiele
Diese Informationsbroschüre enthält Beschreibungen von exemplarisch ausgewählten Anlagen aus verschiedenen Anwendungsbereichen, z. B. Industrie, Gewerbe, Kommune.

Gasturbinen – Genehmigungsverfahren
Bei der Planung von Gasturbinenanlagen zum Einsatz in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sind eine Reihe von Gesetzen und Verordnungen zu berücksichtigen. Um den verantwortlichen Planern und künftigen Betreibern die Übersicht zu erleichtern, sind die einschlägigen gesetzlichen Vorschriften und Verordnungen in dieser Broschüre zusammengestellt. Dabei wird jedes Verfahren anhand eines Ablaufschemas erläutert. Die wesentlichen gesetzlichen Vorschriften sind im Anhang abgedruckt.

Gasturbinen – Emissionsverhalten
Unter Berücksichtigung aller Emissionen, aber auch im Vergleich zur konventionellen Stromerzeugung stellen KWK-Anlagen mit Gasturbinen für die dezentrale Energieerzeugung eine Lösung dar, die Ökonomie und Ökologie auf einen vernünftigen Nenner bringt. Dies ist das Fazit der Veröffentlichung, in der im Alltagsbetrieb gemessene Emissionswerte von 13 typischen Gasturbinen-KWK-Anlagen dargestellt sind.

Kraft-Wärme-Kopplung mit Gasturbinen
Der umfangreiche Band enthält die überarbeiteten Referate der internationalen ASUE-Fachtagung „Turbo-KWK 90 – Kraft-WärmeKopplung mit Gasturbinen" vom Dezember 1990. Die Beiträge der insgesamt 16 Referenten geben einen Überblick über Einsatzbereiche, Erfahrungen und Entwicklungsperspektiven mit Gasturbinen in der Kraft-Wärme-Kopplung. Die Veröffentlichung ist als Band 13 der ASUE-Schriftenreihe im Vulkan-Verlag, Essen, erschienen.

Wärme macht Kälte
Absorptionskältemaschinen lassen sich energetisch und wirtschaftlich vorteilhaft mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (Gasmotoren und Gasturbinen) kombinieren. Zudem werden in Absorptionskältemaschinen keine Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) eingesetzt. Die Veröffentlichung zeigt zehn typische Anwendungsfälle. Einleitend wird ein Überblick über die energetischen und technischen Charakteristika von Absorptionskältemaschinen gegeben.

Risiko-Management
Gerade bei Investitionen in neue Techniken ist eine gründliche Analyse der möglichen Risiken in den verschiedenen Phasen des Projektes, soweit wie möglich eine Vermeidung dieser Risiken und letztlich eine Absicherung des verbleibenden Risikos über Versicherungen erforderlich. Die Veröffentlichung gibt einen Überblick über das Thema Risikoanalyse und -abdekkung. Dabei sind die verschiedenen Versicherungstypen jeweils kurz beschrieben und anhand von praktischen Beispielen während Planung, Bau und Betrieb einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage erläutert.

Blockheizraftwerke – Grundlagen
Die stetig steigende Anzahl von Blockheizkraftwerken belegt, daß nach wie vor ein großes Interesse an der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung besteht. Der Grundlagenband vermittelt Basiswissen über Blockheizkraftwerke, angefangen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen über technische Fragen bis hin zu Umweltthemen.

Blockheizkraftwerke – Beispiele
In dieser Veröffentlichung werden insgesamt 13 beispielhafte BHKW-Anlagen vorgestellt. Die einzelnen Anlagen werden jeweils mit Bild, Text, Einsatzzweck sowie technischen und wirtschaftlichen Kenndaten übersichtlich und detailliert beschrieben.

Preis der deutschen Gaswirtschaft für rationellen Erdgaseinsatz 1990
Der Preis der deutschen Gaswirtschaft für rationellen Erdgaseinsatz wurde 1990 zum sechsten Mal verliehen. Das preisgekrönte Blockheizkraftwerk mit Absorptionskälteanlage sowie die mit einer Auszeichnung bzw. Anerkennung versehenen Anlagen sind jeweils anhand von Energieflußbildern sowie ausführlichen Texten beschrieben.

Gasturbinen – Betriebsmanagement
Für ein bestmögliches Betriebsmanagement von Gasturbinen bedarf es der systematischen Erfassung von Betriebsdaten, deren analytische Zusammenfassung zu Kennzahlen und Auswertung. In der Broschüre wird das notwendige Handwerkszeug und die grundsätzliche Vorgehensweise dargestellt und beispielhaft erläutert. Durch klare Definition wird eine eindeutige Zuordnung von Vorkommnissen sichergestellt. Die Broschüre dient als Instrument für Betreiber von Gasturbinenanlagen.

ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR SPARSAMEN UND UMWELTFREUNDLICHEN ENERGIEVERBRAUCH E. V.

Die 1977 gegründete Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE) fördert die Weiterentwicklung und weitere Verbreitung sparsamer und umweltfreundlicher Technologien auf Erdgasbasis. Vorrangiges Ziel ist, solchen Techniken den Weg in die praktische Anwendung zu ebnen.

Aktivitäten

Fachtagungen

Veröffentlichungen

Preis der deutschen Gaswirtschaft

Arbeitskreise

Blockheizkraftwerke

Erdgas und Umwelt

Fachinformation Energiesparpraxis

Gasturbinentechnik

Gaswärmepumpen

Rationelle Haustechnik

Wärmelieferung

Mitgliedsunternehmen

Badische Gas- und Elektrizitätsversorgung AG, Lörrach

Bayerngas GmbH, München

Berliner Gaswerke (GASAG)

Dortmunder Stadtwerke AG

Erdgas Schwaben GmbH, Augsburg

Erdgas Südbayern GmbH, München

Erdgas-Verkaufs-Gesellschaft mbH, Münster

Ferngas Nordbayern GmbH, Bamberg

Ferngas Salzgitter GmbH

Gasanstalt Kaiserslautern AG

Gas-Union GmbH, Frankfurt

Gasversorgung Osthessen GmbH, Fulda

Gasversorgung Süddeutschland GmbH, Stuttgart

Gas-Versorgungsgesellschaft Filstal mbH, Göppingen

Gasversorgung Main-Kinzig GmbH, Gelnhausen

Hamburger Gaswerke GmbH

Heidenheimer Wärmevertriebs-GmbH

Landesgasversorgung Niedersachsen AG, Sarstedt

Maingas AG, Frankfurt

Niederrheinische Gas- und Wasserwerke GmbH, Duisburg

Oberhessische Gasversorgung GmbH, Friedberg

Ruhrgas AG, Essen

Saar Ferngas AG, Saarbrücken

Stadtwerke Essen AG

Stadtwerke Paderborn GmbH

Südhessische Gas und Wasser AG, Darmstadt

Thyssengas GmbH, Duisburg

Verbundnetz Gas AG, Böhlitz-Ehrenberg

Westfälische Ferngas-AG, Dortmund

Das Papier dieser Broschüre ist nicht mit Chlor gebleicht.