

## Die Entwicklung der Festbettfiltertechnik – Erfahrungen mit einem 2-Schichtfilter im Krematorium Meißen

Dipl.-Ing. Stephan List

Dipl.-Ing. Jörg Schaldach, Städtisches Bestattungswesen Meißen

### 1 Einführung

Schütttschichtfilter sind eine etablierte Technik zur Abscheidung von Schadstoffen aus Abgasen und werden großtechnisch sowohl mit dem Ziel der Rückgewinnung der adsorbierten Stoffe (z.B. bei der Verwendung organischer Lösungsmittel) als auch zur Endreinigung von Rauchgasen mit Entsorgung der Schütttschicht (z.B. als letzte Reinigungsstufe in Müllverbrennungsanlagen) eingesetzt. Bei kleinen Rauchgasreinigungsanlagen wie in Einäscherungsanlagen orientiert man zumeist auf Festbettfilter mit ruhender Schicht und Wechsel der Schüttung nach Sättigung.

Die Vorteile der Festbettfiltertechnik gegenüber den anderen Verfahren zur Abgasreinigung in Einäscherungsanlagen liegen besonders in

- der großen Abscheideeffektivität bei geringen Schadstoffkonzentrationen
- der hohen Speicherkapazität und relativen Unempfindlichkeit gegenüber Schadstoffspitzen
- dem Betrieb ohne Bedienungsaufwand
- der zusätzlich möglichen Abscheidung von Schwermetallen (z.B. Quecksilber) und sauren Schadgasen.

Nach einer Umfrage der TU Halle-Wittenberg unter den Betreibern der ca. 110 Krematorien in Deutschland<sup>1</sup> ergibt sich für Einäscherungsanlagen mit Festbettfiltern ein Anteil von 14 % (Bild 1). Da die genannte Studie den Stand Anfang 1999 beschreibt und trotz des Endes der Übergangsfrist der 27. BImSchV noch nicht alle Krematorien über modernisierte Rauchgasreinigungsanlagen verfügen, könnten sich noch Verschiebungen ergeben.

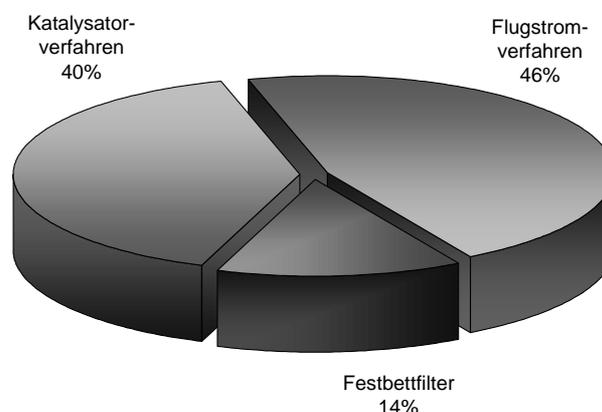


Bild 1: Anteil der Festbettfilteranlagen in den deutschen Krematorien

Das Krematorium Meißen verfügt über zwei Ofenlinien mit Etagenöfen (errichtet 1993 bzw. 1994, seit 1996 betreut durch die Fa. Wolfgang Föhlisch Verbrennungsanlagen und Automatisierungstechnik). Die Rauchgasreinigungsanlagen (Entstaubungstechnik Schwarzenberg GmbH) wurden entsprechend der damals gültigen VDI 3891<sup>2</sup> 1994 in Betrieb genommen.<sup>3</sup> Das Abgas des Einäscherungs-ofens wurde von Temperaturen zwischen 800 und 1050 °C im Rauchgas-Luft-Wärmeübertrager auf 180 und 220 °C abgekühlt und im Schlauchfilter entstaubt (Bild 2).

Seit 1994 sind im Rahmen von Forschungsarbeiten<sup>4</sup> und auf Wunsch des Betreibers eine Reihe von Emissionsmessungen durchgeführt worden. Ergebnisse dieser

Messungen sind in Bild 3 vergleichend dargestellt. Als Besonderheiten der Einäscherungsanlagen im Krematorium Meißen sind zu nennen:

- hohe Einäscherungszahlen durch optimierte Verbrennungsverhältnisse in den Einäscherungsöfen<sup>5</sup>
- Unempfindlichkeit der Filter gegen Brandnester durch Einsatz speziellen metallischen Filtermaterials<sup>6</sup>
- gut regelbare Rauchgas-Luft-Kühler.

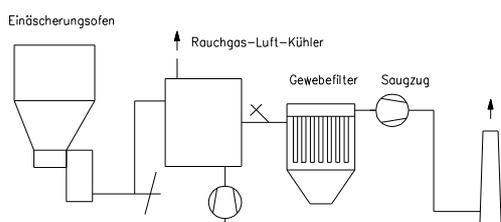


Bild 2: Rauchgasreinigungsanlage nach VDI 3891

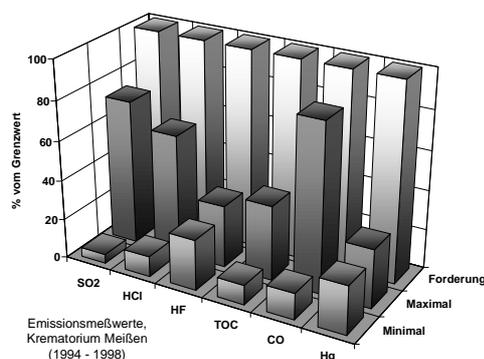


Bild 3: Emissionsmeßwerte der Anlagen nach VDI 3891

Zur Einhaltung des Grenzwertes der 27. BImSchV<sup>7</sup> für Dioxine/Furane wurde eine Erweiterung der Anlagentechnik zur Abscheidung dieser organischen Spurenstoffe notwendig. Die Entwicklung der Anlagentechnik zur Dioxinabscheidung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem ILK Dresden und den Herstellerfirmen.

## 2 Erfahrungen mit Festbettfilter-Anlagen

Gute Erfahrungen wurden seit 1996 im Krematorium Potsdam mit Einäscherungsanlagen mit Etagenöfen, Rauchgaskühlung, Entstaubung im Gewebefilter und nachgeschaltetem Herdofenkoks-Festbettfilter zur Dioxin/Furan-Abscheidung gemacht.<sup>8</sup> Messungen zeigten die deutliche Unterschreitung der Emissionsgrenzwerte auch nach längerer Betriebsdauer.<sup>9</sup> Mit vergleichbarer Anlagentechnik werden seit 1998 zwei Einäscherungslinien im Krematorium Aachen betrieben. 1999 ist eine neu errichtete Einäscherungsanlage im Krematorium Gera in Betrieb gegangen. In diesem Jahr wurde die Rauchgasreinigungsanlage im Krematorium Görlitz um einen Festbettfilter erweitert. Die Festbettfiltertechnik ist auch die Basis des an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg entwickelten Verfahrens zur oxidativen Zerstörung der Dioxine/Furane.<sup>10</sup>

## 3 Einsatz eines 2-Schichtfilters im Krematorium Meißen

### 3.1 Vorgaben für die Entwicklung

Ausgehend von den vorliegenden guten Betriebserfahrungen wurde die Festbettfiltertechnik für die Ergänzung der Rauchgasreinigungsanlagen ausgewählt. Für die Erweiterung waren in der bestehenden Anlage keine Flächenreserven vorhanden. Die Größe des zu errichtenden Anbaus war durch Hauptgebäude, Zufahrt und die Grundstücksgrenze stark eingeschränkt. Herkömmliche Festbettfilter hätten keinen Platz gefunden. Neben den beengten Platzverhältnissen wurden weitere Anforderungen an die zu entwickelnde Lösung gestellt:

- Verringerung der auszutauschenden Adsorptionsmittelmengen
- möglichst hohe Abscheideleistung und Störunanfälligkeit
- möglichst geringen Wartungsaufwand bei hohen Einäscherungszahlen
- Weiterverwendung der vorhandenen Staubfilter
- Abscheidung auch von sauren Schadgasen und Schwermetallen im Hinblick auf die zentrumsnahe Lage mit Blickkontakt zur Albrechtsburg.

### 3.2 Anpassung der bestehenden Rauchgasreinigungsanlagen

Zum Einsatz der Festbettfiltertechnik waren folgende Anpassungen der bestehenden Rauchgasreinigungsanlage erforderlich:

- Erhöhung der Kühlleistung, Stabilisierung der Rauchgastemperatur

Während die Staubfilter bisher bei Temperaturen zwischen 180 und 220 °C betrieben wurden, machte sich eine Temperaturabsenkung auf eine Eintrittstemperatur des Festbettfilters von max. 150 °C erforderlich. Allerdings sollte die Temperatur zur Vermeidung von Korrosions- und Verbackungserscheinungen möglichst nicht unter 120 °C absinken. Aufgrund des Verschleißzustandes der seit 1994 genutzten Kühler wurde ein neues Kühlsystem entwickelt und eingebaut. Zur Feinregulierung der Festbett-Eintrittstemperatur wurde nach dem Staubfilter ein weiterer Rauchgas-Kühler installiert.

- Vergrößerung der Filterfläche, Filterüberwachung

Die Vergrößerung der Filterfläche wurde

- zur Absenkung des Druckverlustes (Energieeinsparung, Erhöhung der Volumenstromreserven der Anlagen)
- zur Verringerung des Reingasstaubgehaltes

geplant. Zur sofortigen Erkennung eines Filterdefekts, der zur Verstaubung der Schüttschicht führen würde, wurden Filterwächter installiert.

### 3.3 Aufbau des 2-Schichtfilters

Bekannt ist aus Untersuchungen zum Beladungsprofil mit HOK gefüllter Reaktoren, daß die Schadstoffkomponenten unterschiedlich weit in das Bett eindringen. Staub und Quecksilber werden nahezu vollständig in den ersten Zentimetern der Schüttschicht abgeschieden. Tiefer dringen hingegen  $\text{SO}_2$  und PCDD/F ein. HCl wird bei HOK von der sich aus dem  $\text{SO}_2$  bildenden Schwefelsäure aus den vorderen Filterschichten verdrängt.<sup>11</sup> Die grundlegende Idee des Verfahrens besteht daher in der Verwendung zweier Schichten mit unterschiedlichem Adsorbensmaterial, einer Vorschicht und einer Hauptschicht.

Die ursprünglich zum Schutz des Festbetts vor eingetragendem Staub gedachte Vorfilterschicht wurde durch Auswahl des geeigneten Adsorbensmaterials (Granulat aus Kalziumhydroxid und Herdofenkoks) zur Senke für Staub (und angelagerte Schwermetalle), Hg und saure Gasbestandteile sowie einen Teil der Dioxine/Furane ausgelegt. In der nachfolgenden Zeolith-Hauptschicht werden vor allem die Konzentrationen gasförmiger Dioxine/Furane bis unterhalb des Grenzwertes abgesenkt.

Die mit nur wenig Schadstoff beladene Zeolith-Hauptschicht verbleibt in der Anlage und kann thermisch oder unter Einsatz von Oxidationsmitteln (z.B. nach Erkenntnissen der Universität Halle/Wittenberg mit Ozon<sup>12</sup>) regeneriert werden. Die Vorfilterschicht wird vor Beginn des Regenerierungsvorganges entfernt. Nach der Regenerierung wird frisches Granulat aufgefüllt. Das bei der Regenerierung anfallende Abgas wird mit einem Katalysator gereinigt und dem Rohgas der Nachbaranlage zugeführt.

Mit der Nutzung unbrennbarer Adsorbentien wird eine deutliche Erhöhung der Betriebssicherheit der Anlagen gegenüber herkömmlichen Aktivkohle/Herdfenkok-Schütt-schichten erreicht. Kostenintensive Einrichtungen zur Überwachung (Delta-CO-Messung) und eine Inertisierungsanlage werden nicht benötigt. Durch Teilung des Festbetts in eine kleine Schicht zur Vorabscheidung und Schadstoffausschleusung (saure Schadgase, Quecksilber) und einer großen Schicht zur Langzeitabscheidung der Dioxine und Furane können das Aufkommen an zu entsorgenden Adsorbensmaterialien und die damit verbundenen Kosten deutlich gesenkt werden.

Der Heizkreis kann auch zur Aufheizung der kalten Schütt-schichten nach längerer Betriebspause genutzt werden. Dabei kann der zu erwartende Rauchgas-Taupunkt mit sauberer, trockener Luft durchfahren werden.

Bild 4 zeigt den Aufbau des 2-Schichtfilters schematisch. Die Anlagenschaltung nach dem Umbau ist in Bild 5 dargestellt.

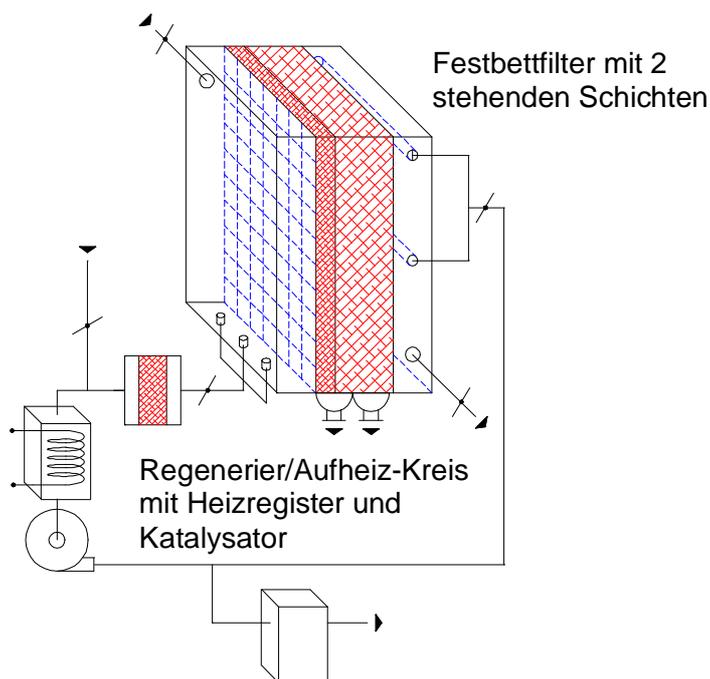


Bild 4: Schema des 2-Schichtfilters

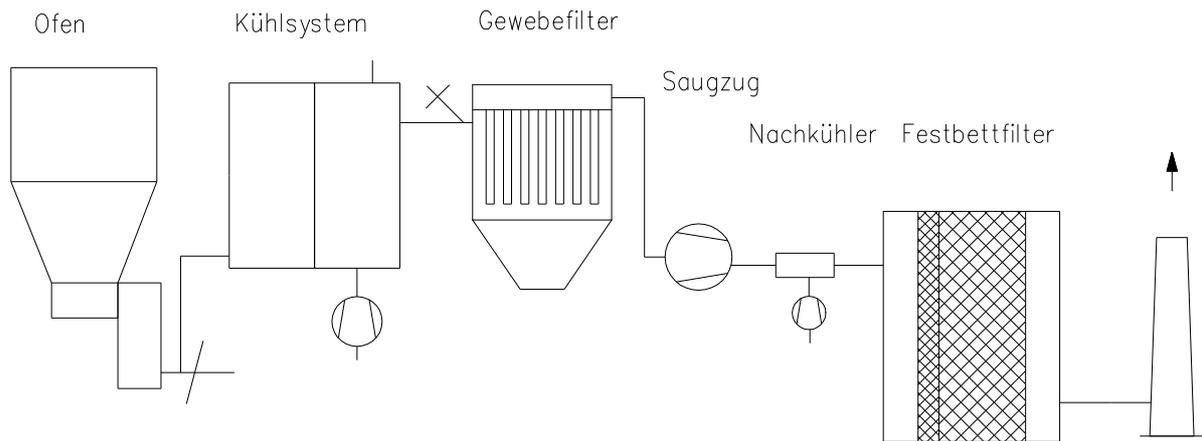


Bild 5: Anlagenschema nach dem Umbau

#### 4 Meßergebnisse

Die Inbetriebnahmemessung zeigte, daß die Grenzwerte der 27. BImSchV eingehalten und auch saure Schadgase und Quecksilber mit hohen Abscheidegraden zurückgehalten werden. Weitere Emissionsmessungen sollten Aufschluß darüber geben, wann die Schüttungen zu erneuern bzw. zu regenerieren sind.<sup>13</sup>

Inbetriebnahmemessung:	15.11.99
Messung nach ca. 1200 EÄ:	20.01.00
Messung nach ca. 3500 EÄ:	03.05.00

Die Ergebnisse der Messungen sind in Bild 6 den Grenzwerten der 27. BImSchV gegenübergestellt. Bild 7 zeigt den zeitlichen Verlauf der Emissionskonzentrationen weiterer Schadstoffe im Vergleich mit Erfahrungswerten beim Betrieb der Anlagen ohne Festbettfilter.

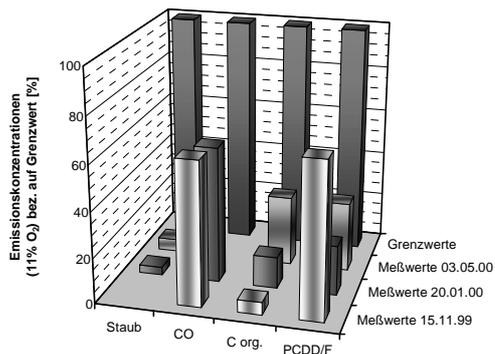


Bild 6: Emissionskonzentrationen im Vergleich zu den Grenzwerten

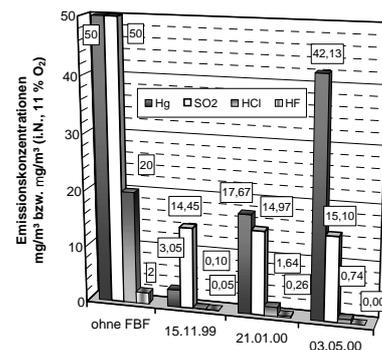


Bild 7: Emissionskonzentrationen weiterer Schadstoffe

Im Bild 8 sind beispielhaft Betriebszustände der Festbettfilter während der Messungen dargestellt. Es zeigt sich, daß die Kühlsysteme ein relativ stabiles Temperaturniveau am Eingang des Festbettfilters erreichen. Deutlich ist die temperatenausgleichende Wirkung der großen Schüttungsmasse erkennbar.

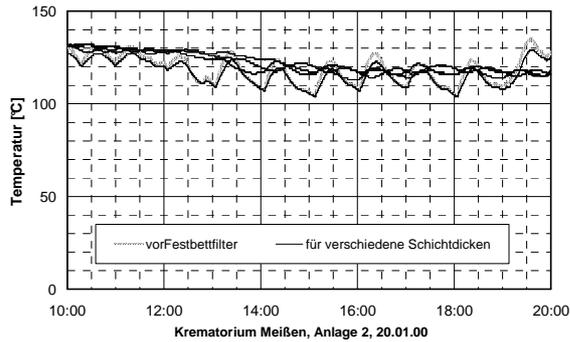


Bild 8: Betriebszustände am Festbettfilter

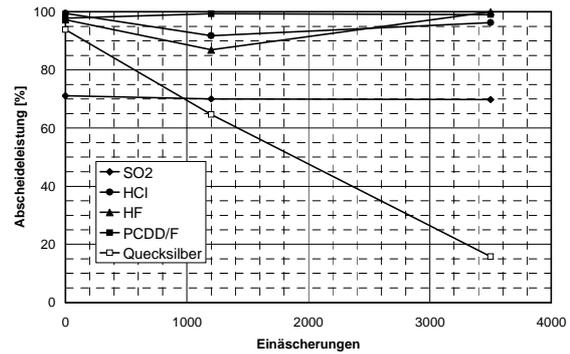


Bild 9: Abscheideleistungen im zeitlichen Verlauf

Bild 9 zeigt die anhand der Emissionskonzentrationen ermittelten Abscheidegrade des Festbettfilters im zeitlichen Verlauf (bezogen auf die Zahl der Einäscherungen). Die Abscheideleistung für Quecksilber fällt mit der Zeit aufgrund der Erschöpfung der Adsorptionskapazität des Herdofenkoks-Anteils stark ab, die übrigen Schadstoffe werden nach wie vor gut abgeschieden.

Zur Untersuchung der Verhältnisse bei der Schadstoffadsorption in der Schüttschicht wurden in verschiedenen Schichten Proben der Adsorbensmaterialien genommen und hinsichtlich des Gehalts an Dioxinen/Furanen und Quecksilber analysiert. Bild 10 und Bild 11 zeigen die Analysenergebnisse in Bezug auf die Position der Probe in der Schüttschicht. Rechnerisch wurde die anteilige Abscheideleistung verschiedener Schichten der Schüttung ermittelt. Unter Berücksichtigung der Erfahrungswerte für die Schadstoffkonzentrationen beim Betrieb mit und ohne Festbettfilter konnten die Schadstoffkonzentrationsverläufe über der Schüttschicht ermittelt werden.

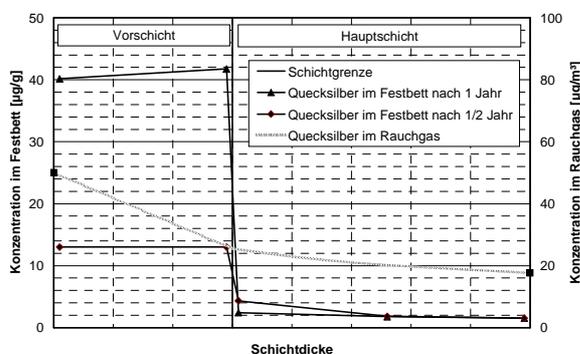


Bild 10: Quecksilber in der Schüttschicht

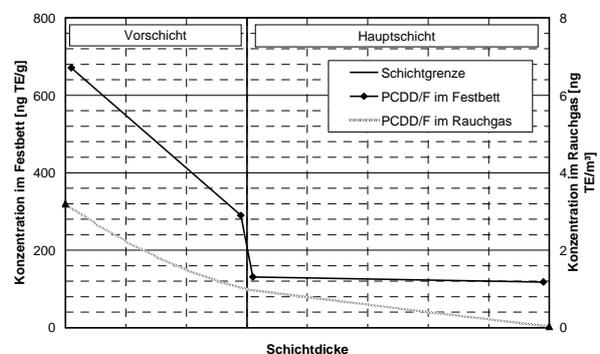


Bild 11: PCDD/F in der Schüttschicht

Deutlich ist zu sehen, daß die Adsorption des Quecksilbers fast ausschließlich in der Vorschicht erfolgt, während an der Abscheidung der Dioxine/Furane auch die Hauptschicht wesentlich beteiligt ist. Die Vorschicht ist daher als wirksame Senke für die organischen Spurenstoffe sowie Quecksilber und saure Schadgase anzusehen. Eine sichere Unterschreitung des Emissionsgrenzwerts für PCDD/F kann jedoch nur mit der deutlich größeren Hauptschicht garantiert werden.

Als Risiko bei der Planung der Lösung zur thermischen Regeneration der Hauptschicht erwies sich die mögliche Schließung unzulässiger Schadstoff-Kreisläufe durch Desorption von Quecksilber aus der Zeolith-Schüttung der Hauptschicht. Wie die Meßergebnisse zeigen, besteht jedoch keine Notwendigkeit für eine Quecksilberfalle im Regenerierungskreislauf, da in der Hauptschicht kaum Quecksilber abgeschieden wird.

## 5 Betriebserfahrungen

Die Betriebserfahrungen mit den umgebauten Rauchgasreinigungsanlagen können wie folgt zusammengefaßt werden:

- Die Anlage wird durchschnittlich 20 h täglich gefahren.
- Die Anlage arbeitet unabhängig von der täglich Betriebsdauer mit stabilen Temperaturniveaus, die stark schwankenden Temperaturverläufe der einzelnen Einäscherungen werden in der Rauchgasreinigungsanlage gut ausgeglichen (gutes Regelverhalten des Kühlsystems). Die Temperaturen im Staubabscheider liegen deutlich über einer Temperatur von 120 °C. Damit wird Verschleißerscheinungen wirksam vorgebeugt.
- Das Schüttschichtfilter wird im projektierten Temperaturbereich mit geringen Temperaturschwankungen betrieben.
- Durch das hohe Wärmespeichervermögen der Schüttschicht kann das Filter auch nach mehrtägigem Stillstand (z.B. Wochenende) mit Temperaturen oberhalb des Taupunktes angefahren werden.
- Im Beobachtungszeitraum sind keine wesentliche Druckverluständerungen aufgetreten, also keine relevanten Staubeinlagerungen in der Schüttschicht erfolgt.
- Die Betriebsbedingungen für das Schüttschichtfilter können insgesamt als stabil angesehen werden.

Zur Abschätzung der Zeitabstände für Ersatz bzw. Regenerierung der Adsorbenschichten kann festgestellt werden, daß der nach 27. BImSchV relevante Grenzwert für Dioxine/Furane auch nach 3500 Einäscherungen deutlich unterschritten wird. Auch für saure Schadgase wurden noch recht hohe Abscheideleistungen nachgewiesen. Wird zur Senkung der Quecksilber-Emission ein Austausch des Materials erwogen, erweist sich das relativ geringe Volumen der Vorschicht als großer Vorteil.

Im Vergleich mit bisher ausgeführten Festbettfilteranlagen und anderen möglichen Verfahren ergeben sich für das 2-Schichtfilter folgende Vorteile:

- Erhöhung der Betriebssicherheit durch unbrennbare Schüttschichten
- Kostensenkung durch Wegfall der Überwachungs- und Inertisierungseinrichtungen
- erhebliche Einsparung an zu entsorgenden Adsorbens-Materialien und Entsorgungskosten
- geringerer Druckverlust durch geringere Schichtdicke und gröbere Körnung
- lange Standzeit des Festbetts bezogen auf die Zahl der Einäscherungen
- Abscheidung von sauren Schadgasen und Quecksilber
- geringer Wartungs- und Bedienungsaufwand
- für die Anforderungen des Städtischen Bestattungswesens Meißen die mit großem Abstand ökonomisch günstigste Lösung
- ökologisch günstig durch Energieeinsparung, Verminderung der Abfallmenge und die Abscheidecharakteristik.

## Literatur

- <sup>1</sup> Eigenwillig, S.; Sircar, R.; Tamm, U.; Säuberlich, R.: Stand und Entwicklung bei der Umsetzung der 27. BImSchV. Kulkwitzer Seminar „Kontinuierliche Emissionsmeßtechnik – Krematorien“, 24.03.99
- <sup>2</sup> VDI-Richtlinie 3891: Emissionsminderung Einäscherungsanlagen (08/92)
- <sup>3</sup> Korb, U.; Augart, G.; Fischer, A.; List S.: Erfahrungen bei der Abgasreinigung in Krematorien. Dresdner Kolloquium Filternde Abscheider, 21.11.95
- <sup>4</sup> List, M.; Fischer, A.; Hartig, P.; List, S.: Ergebnisse der Betriebsuntersuchungen an einer Prototypanlage zur Abgasreinigung und der experimentellen Untersuchungen an einer Teilstromversuchsanlage in einem Krematorium (Abschlußbericht). ILK Dresden, ILK-AB-7/95-547
- <sup>5</sup> List, S.: Untersuchungen zur Verbrennungsluftverteilung, Erprobung eines optischen Temperaturmeßgerätes. Bericht zum Forschungsvorhaben "Emissionsminderung an Einäscherungsöfen". TU Dresden 1997
- <sup>6</sup> List, M.; Fischer, A.; List, S: Erprobung metallischer Filterelemente im Filter einer Prototypanlage im Krematorium Meißen. Fachbericht ILK Dresden ILK-B-7/96-593
- <sup>7</sup> 27. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (27. BImSchV) - Verordnung über Anlagen zur Feuerbestattung (03/97)
- <sup>8</sup> List, S.; Korb, U.; Föhlisch, W.: Fortschritte bei der Rauchgasreinigung in Krematorien. Dresdner Kolloquium Filternde Abscheider, 16.10.97
- <sup>9</sup> Böhlmann, A.; Föhlisch, W.; List, S.: Langzeiterfahrungen und Tendenzen bei der Staub- und Dioxinabscheidung in Krematorien. Dresdner Kolloquium: Fortschritte beim Abscheiden von festen und gasförmigen Luftschadstoffen – 28.09.99
- <sup>10</sup> Sircar, R.: Entwicklung und Anwendung von Minderungstechniken für Schadstoffemissionen aus Einäscherungsanlagen. 1. Rauchgaskolloquium der BTU Cottbus, 14./15.09.1998
- <sup>11</sup> Ritter, G.: Möglichkeiten der Schadstoffabtrennung aus Abgasen mit Braunkohlenkoks. In: Adsorptive Nachreinigung von Abgasen aus Verbrennungsanlagen mit Aktivkoxen. Vulkan-Verlag, Essen, 1992
- <sup>12</sup> Sircar, R.; Tamm, U.; Säuberlich, R.; Eigenwillig, S.: Neue Methoden für die technische Modernisierung von Krematorien. Friedhofskultur 08/99
- <sup>13</sup> Dioxinabscheidung – Krematorium Meißen. Abschlußbericht ILK Dresden ILK-AB-7/00-916