

Betriebserfahrungen und Abscheideleistungen eines integrierten Kompaktwäschers zur Reinigung von Müllverbrennungsabgasen

Dr.-Ing. **M. Lehner**, Prof. Dr.-Ing. **E. H. F. Mayinger**, München
Dipl.-Ing. (FH) **A. Babinsky**, Dr.-Ing. **F.-M. Müller**, Schwabach
Dr.-Ing. **W. Geipel**, Steinwiesen

1 Einleitung

Die Verfahren zur Reinigung von Abgasen aus Müllverbrennungsanlagen waren in den letzten Jahren durch eine ständige apparative Ergänzung gekennzeichnet, um die durch die verschärften Auflagen der 17. BImSchV geforderten Emmisionsgrenzwerte einhalten zu können. So besteht nach dem Stand der Technik jede Rauchgasreinigung nach einer klassischen Müllverbrennung aus den Verfahrenskomponenten Staubabscheidung, Quench, saure und alkalische Reinigung (naß, quasitrocken oder trocken), Reduktion der Stickoxide und Adsorption von Resten organischer Schadstoffe, Aerosolen und Quecksilber (Abgasfeinreinigung) /1/. Dies führte zwar einerseits zu extrem hohen Abscheidegraden für die einzelnen spezifizierten Schadstoffklassen und damit zu einer umweltfreundlichen thermischen Restabfallentsorgung, andererseits stiegen die Kosten für die gesamte Restabfallbehandlung nicht zuletzt wegen der aufwendigen Rauchgasreinigung immens an /2/. Die aktuelle Diskussion um eine Modifizierung der Abfallbehandlung bezieht sich daher nicht mehr auf niedrigere Grenzwerte, sondern auf eine Kostensenkung der gesamten Restabfallbehandlung und damit auch der Rauchgasreinigung. Eine Weiterentwicklung der Rauchgasreinigung muß also zu technisch einfacheren und kostengünstigeren Lösungen führen, die aber effizient und sicher die Schadstoffe abscheiden.

2 Wäscherkonzeption und Versuchsanlage

Aufgrund der verfahrenstechnisch aufwendigen und folglich kosten- und platzintensiven Rauchgasreinigung moderner Müllverbrennungsanlagen war es Ziel eines innerhalb des bayerischen Forschungsverbundes BayFORREST geförderten Projektes, einen kompakten Wäscher zu entwickeln, der einen Teil der Verfahrensschritte der Abgasreinigung in sich vereint. In dem Kompaktwäscher sollen dabei Staubabscheidung, Quench, saure und alkalische Wäsche durchgeführt werden. Diese Anforderungen führten zu einer Kombination eines Venturiwäschers mit einer mehrstufigen Füllkörperkolonne. Im Venturiwäscher können aufgrund hoher Gasgeschwindigkeiten in der Kehle Partikel bis in den Submikronbereich ($d_p < 1 \mu\text{m}$) abgeschieden werden. Da aber die Verweilzeiten im Venturiwäscher sehr gering sind, ist für eine effektive Sorption von gasförmigen Schadstoffen eine zweite Waschstufe erforderlich. Hierfür sind aufgrund ihrer langen Verweilzeiten für die Gasphase Füllkörperkolonnen geeignet, die wegen ihrer Einbauten eine hohe spezifische Oberfläche für den Stoffaustausch bereitstellen. Dabei sind die Wäscher, die konventionell zwei getrennte verfahrenstechnische Apparate darstellen, in einem integrierten Konzept in einem Apparat vereint worden. In Abbildung 1 ist der Aufbau des Kompaktwäschers dargestellt.

Der Kompaktwäscher selbst kann bezüglich seiner Funktion in drei Abschnitte unterteilt werden: in die Venturiwäscher und die beiden Füllkörperschüttungen. Im Sumpf der Füllkörperkolonne befinden sich je nach zu reinigender Gasmenge mehrere, parallel geschaltete,

baugleiche Venturiwäscher, in deren Kehlenbereich allein durch die Saugwirkung des Gasstromes die Waschflüssigkeit eingedüst wird. Diese Betriebsweise wird als selbstansaugend oder tauchend bezeichnet [3]. Die Venturiwäscher kühlen das Rauchgas durch die Eindüsung der Waschflüssigkeit ab und separieren die im Abgas enthaltenen Stäube höchst effizient. Die Abscheidung der in die Venturiwäscher eingebrachten Waschflüssigkeit wird einerseits durch die Verzögerung des Gasstromes nach dessen Austritt aus den Venturiwäschern erreicht, andererseits durch die den Venturiwäschern nachfolgende erste Füllkörperschüttung. Diese erste Füllkörperschüttung bildet zusammen mit den Venturiwäschern die sauer betriebene Waschstufe, deren Wasserkreislauf einen pH-Wert nahe Null aufweist. Diese und die zweite Schüttung bestehen aus Hochleistungsfüllkörpern des Typs Rauschert Hiflow.

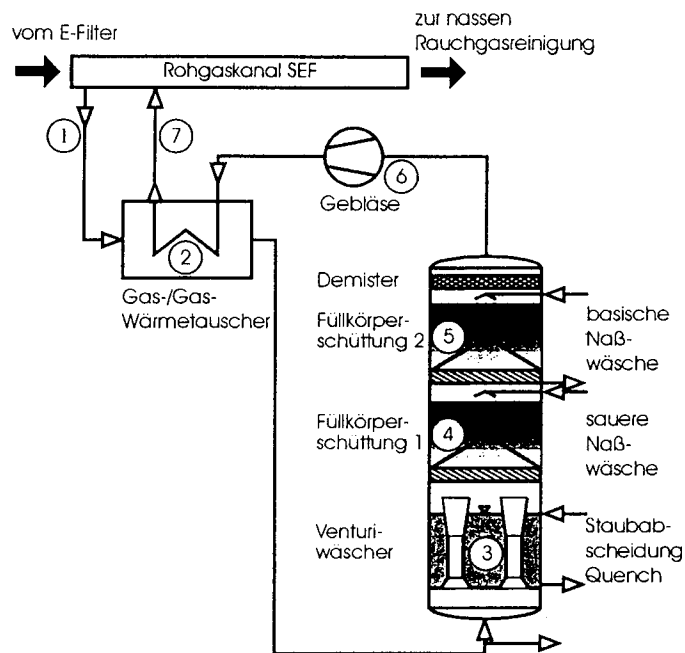


Abbildung 1: Pilotanlage integrierter Kompaktwäscher an der Sonderabfall-Entsorgung Franken GmbH (SEF), Schwabach

Den dritten Abschnitt stellt schließlich die zweite Füllkörperschüttung dar, die auf einem Kaminsammelboden ruht, der die aus dieser Schüttung rieselnde Waschflüssigkeit auffängt und sie aus dem Apparat führt. Dadurch wird erreicht, daß die zweite Schüttung mit separater Waschflüssigkeit alkalisch betrieben werden kann. Mit verdünnter Natronlauge wird dort Schwefeldioxid abgeschieden.

Durch Integration der Venturiwäscher in die Füllkörperkolonne kann der apparatetechnische Aufwand reduziert und Investitions- und Betriebskosten gesenkt werden. Der Kompaktwä-

scher kann wegen seiner integrierten Bauweise zu einer erheblichen Platzeinsparung beitragen und eignet sich damit gleichermaßen für Nachrüstung und Neubau von Abgasreinigungsanlagen, sowohl im Bereich der thermischen Abfallentsorgung als auch für chemische Produktionsanlagen.

In umfangreichen experimentellen Untersuchungen am Kompaktwäscher im Technikummaßstab wurde die Betriebscharakteristik und Abscheideeffizienz des Kompaktwäschers so erfolgreich getestet, daß der Bau einer vergrößerten Pilotanlage mit einem Gasdurchsatz von 5000 m³/h an der Sondermüllverbrennungsanlage (SAV) der Sonderabfall-Entsorgung Franken GmbH (SEF), Schwabach, beschlossen wurde. Wie in Abbildung 1 dargestellt, wurde am Rohgaskanal (1) des SEF nach dem Elektrofilter ein Teilvolumenstrom des Rauchgases entnommen und über einen Gas-/Gas-Wärmetauscher (2) geführt, in dem das Rohgas von etwa 300°C auf ca. 170°C abgekühlt wurde. Das Rohgas tritt von unten in den Kompaktwäscher ein und passiert eine Batterie von zehn parallel geschalteten Venturiwäschern (3), in denen es durch Eindüsung von Waschflüssigkeit auf ca. 70°C gequench wird. In zwei mit getrennten Washkreisläufen betriebenen, übereinanderliegenden Füllkörperschüttungen (4) (5) wird das Rauchgas weiter abgereinigt. Ein Gestricktropfenabscheider am Kolonnenkopf verhindert zusammen mit einem zusätzlichen Aerosolabscheider den Austritt von Flüssigkeitstropfen aus dem Wäscher. Das Druckerhöhungsgebläse (6) dient zum Ausgleich des Gesamtdruckabfalles der Versuchsanlage. Das gereinigte, im Wärmetauscher (2) im Gegenstrom mit dem heißen Rohgas wiederaufgeheizte, Gas tritt kurz nach der Entnahmestelle wieder in den Rohgaskanal ein (7). Dort wird es dem Hauptstrom des Rohgases beigemischt und durchläuft die gesamten nachfolgenden Reinigungsschritte der Abgasreinigung der SEF.

Der Kompaktwäscher wurde von Juni bis Oktober 1997 praktisch unterbrechungsfrei mit den Rauchgasen der SAV betrieben. Der mehrmonatige Dauerbetrieb wurde durch das Personal des Forschungs- und Entwicklungszentrums Sondermüll (FES), Schwabach, sichergestellt, das zusätzlich einen Teil der Analysen am Kompaktwäscher durchführte. Die Fertigung, Montage und Inbetriebnahme des Wäschers erfolgte in enger Kooperation mit der Firma Rauschert Verfahrenstechnik, Steinwiesen. Darüber hinaus war an diesem Projekt das Bayerische Landesamt für Umweltschutz beteiligt, das in einer Woche des Dauer-versuchsbetriebes verschiedene Analysen anstellte. Die Entwicklung des Wäschersystems, die wissenschaftliche Leitung des Projektes sowie die Vorbereitung und Auswertung der Versuche übernahm der Lehrstuhl A für Thermodynamik der Technischen Universität München. Das Projekt wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen finanziell gefördert.

3 Versuchsergebnisse

Die Untersuchungsschwerpunkte lagen in der Überprüfung der konstruktiven Gestaltung und der Betriebscharakteristik des Wäschers unter Realbedingungen, der Feststellung der Abscheideleistung für ausgewählte Abgasbestandteile (u.a. Staub, Chlorwasserstoff, Schwefeldioxid sowie Dioxin- und Furanverbindungen) und der Bilanzierung der Stoffströme einiger Leitkomponenten (Cl, F, Br, S, Hg).

3.1 Betriebscharakteristik und Staubabscheidung

Aufgrund der selbstansaugenden Betriebsweise der Venturiwäscher ist der Betriebspunkt des Wäschers durch eine enge Koppelung des Füllstandes der Wasservorlage für die Venturiwäscher, dem Gasdurchsatz und der eingestellten Gebläseleistung gekennzeichnet. Anders als bei zwangsbeladenen ist bei selbstansaugenden Venturiwäschern die Flüssigkeitsbelastung nicht unabhängig vom Gasdurchsatz, und beide Größen, Flüssigkeitsbelastung und Gasdurchsatz, bestimmen maßgeblich den Druckabfall des Wäschers /3/, /4/, /5/. In Versuchsreihen wurde das Betriebskennfeld des Wäschers bestimmt, das wesentlich vom Füllstand H (Abbildung 2) der Venturivorlage abhängt, und innerhalb dessen ein störungsfreier Automatikbetrieb des Wäschers möglich ist.

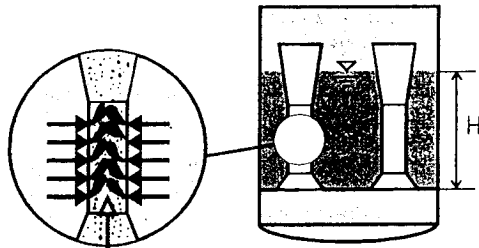


Abbildung 2: Venturistufe des Kompaktwäschers mit Flüssigkeitseinspeisung

Aus anlagentechnischen Gründen wurde der Kompaktwäscher erst nach dem E-Filter der SAV installiert, so daß der größte Teil der Staubfracht beim Eintritt in den Wäscher bereits abgeschieden war. Die Rohgaskonzentrationen liegen im Bereich zwischen 20 und 30 mg/m^3 i.N.tr. (Tabelle 1). Allerdings ist der nach dem E-Filter im Rauchgas verbleibende Staub sehr fein fraktioniert und ist aufgrund seiner kleinen Partikelgrößen äußerst schwer abzuscheiden. Wie Tabelle 1 zu entnehmen ist, liegen die Reingaswerte durchwegs unter 1 mg/m^3 i.N.tr., was der Nachweisgrenze des angewendeten gravimetrischen Meßverfahrens entspricht. Dies führt zu Abscheidegraden zwischen 96 und 99%. Damit wurde gezeigt, daß mit den selbstansaugenden Venturiwäschern feinste Stäube sowie Aerosole mit sehr hohem Abscheidegrad separiert werden können. Wie aus der Literatur bekannt ist /9/, sind gerade diese Fraktionen erheblich mit Schwermetallen und organischen Verbindungen belastet, so daß eine hochwertige Abscheidung im Feinpartikelbereich unterhalb 1 bis 2 μm , wie sie im Kompaktwäscher möglich ist, von großer Bedeutung für die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte, beispielsweise für Schwermetalle, ist.

Tabelle 1: Ergebnisse der Staubmessungen am Kompaktwäscher

Versuchsnummer	1	2	3	4	5
Rohgas [mg/m^3 i.N.tr.]	28,4	24,2	19,1	21,2	20,2
Reingas [mg/m^3 i.N.tr.]	0,4	0,3	0,5	0,8	<0,5
Gesamtabscheidegrad [%]	98,6	98,8	97,4	95,8	>97,5

Einen wesentlichen Einfluß auf die Abscheideleistung der Venturiwäscher hat die Flüssigkeitseinspeisung, die direkt in die Kehle in mehreren, übereinanderliegenden Bohrungsreihen erfolgt. In experimentellen Untersuchungen /7/ konnte nachgewiesen werden, daß aufgrund der komplexen Flüssigkeitsdispersion im Venturiwäscher /6/ durch die mehrstufige Eindüsung der Waschflüssigkeit eine erhebliche Verbesserung des Abscheidegrades erreicht wird, die im wesentlichen auf eine Vergrößerung der Stoffaustauschfläche zurückzuführen ist. Im Venturiwäscher wird die Waschflüssigkeit durch die hohen Scherkräfte des Gasstromes zerteilt und es bilden sich in einem zeitlich eng begrenzten Zwischenstadium vor der Tropfenbildung Lamellen- und Membranstrukturen aus, die für eine kurze Zeitspanne eine große Oberfläche für den Stoffaustausch bereitstellen. Durch mehrstufige Eindüsung der Waschflüssigkeit werden diese Strukturen immer wieder neu geformt. Dadurch lassen sich selbst feinste Aerosole mit Partikelgrößen weit unter 1 μm mit noch vertretbarem Energieaufwand abscheiden /3/, /5/, /7/. In Abbildung 3 sind Meßergebnisse wiedergegeben, die an Laborventuriwäschern gewonnen wurden. Diese sind mit den im Kompaktwäscher verwendeten Venturiwäschern baugleich. Aus Abbildung 3 wird deutlich, daß durch die mehrstufige Eindüsung der Waschflüssigkeit eine erhebliche Verbesserung der Abscheideleistung erzielt wird, wobei Grenzkorndurchmesser bis unter 0,2 μm erreicht werden können.

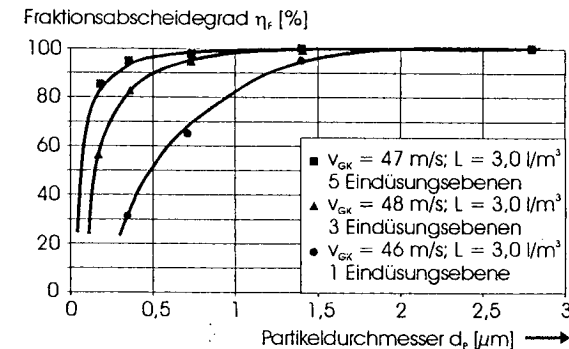


Abbildung 3: Fraktionsabscheidegrad eines selbstansaugenden Venturiwäschers in Abhängigkeit der Eindüsungsgeometrie nach /3/.

3.2 Chlorwasserstoff und Schwefeldioxidabscheidung

Neben der Staubabscheidung liegt die Hauptaufgabe des Wäschers in der Abtrennung der Halogenwasserstoffe (HCl, HF, HBr, HJ) und des Schwefeldioxids. Die Abscheidung dieser Abgaskomponenten erfolgt überwiegend in den beiden Füllkörperschüttungen. Während des mehrmonatigen Dauerversuchsbetriebes wurde zur Bestimmung der Abscheideleistung dieser Schadstoffe ein kontinuierliches und ein diskontinuierliches, naßchemisches Meßverfahren angewendet. Darüber hinaus wurden durch diskontinuierlich durchgeführte Waschwasserproben der Gehalt der Ionen Cl⁻, Br⁻, SO₄²⁻, J⁻ und F⁻ im Waschwasser der ersten und zweiten Stufe bestimmt.

Abbildung 4 gibt exemplarisch die Meßwerte für die Chlorwasserstoffkonzentration im Roh- und Reingas des Kompaktwäschers für einen Meßtag wieder.

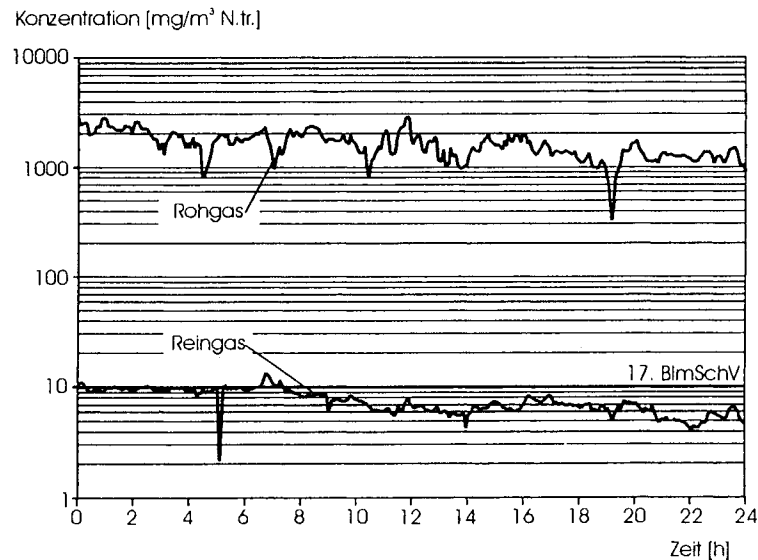


Abbildung 4: Exemplarischer Konzentrationsverlauf für Chlorwasserstoff an einem Meßtag; kontinuierliche Analyse.

Die Rohgaskonzentration liegt im Mittel zwischen 1 und 3 g/m³, wobei einzelne, kurzzeitige Spitzen bis zu 10 g/m³ auftreten können, die aber durch die Mittelwertbildung und durch den angewendeten Zeitmaßstab in Abbildung 4 nicht mehr ablesbar sind. Die Reingaskonzentration liegt dagegen praktisch immer unter dem Grenzwert der 17. BlmSchV von 10 mg/m³, woraus sich Abscheidegrade von mehr als 99% für Chlorwasserstoff ergeben.

In Tabelle 2 sind einige Ergebnisse der Waschwasseranalysen der beiden Wäscherstufen zusammengefaßt.

Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, sind Chloridionen überwiegend im Waschwasser der ersten Stufe wiederzufinden, d.h., wie erwartet, wird dort Chlorwasserstoff praktisch vollständig abgeschieden. Die beträchtlichen Konzentrationen an Chloridionen bestätigen die in Abbildung 4 wiedergegebenen hohen Rohgasgehalte dieser Abgaskomponente.

Die Ionen Bromid, Iodid und Fluorid finden sich aufgrund der geringen Gaskonzentrationen in deutlich kleineren Konzentrationen im Waschwasser wieder (Tabelle 2). Ähnlich wie bei Chlorid lassen sich auch für diese Halogen-Ionen die Abscheideorte im Kompaktwäscher sehr klar bestimmen. Während Bromid und Fluorid überwiegend in der zweiten Wäscherstufe abgeschieden werden, findet man Iodid vor allem im Waschwasser der ersten Stufe wieder. Ein Vergleich der Konzentrationen dieser drei Ionen zeigt, daß in der Schwabacher

Sondermüllverbrennung durchschnittlich höhere Bromgehalte als Fluorgehalte im Abgas enthalten sind und daß Iod lediglich in relativ geringen Konzentrationen auftritt.

Tabelle 2: Ergebnisse der Waschwasseranalysen am Kompaktwäscher auf die Inhaltsstoffe Chlorid, Bromid, Sulfat, Iodid und Fluorid.

Nr	Cl ⁻ [mg/l]		Br ⁻ [mg/l]		SO ₄ ²⁻ [mg/l]		J ⁻ [mg/l]		F ⁻ [mg/l]	
	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 1	Stufe 2
1	78100	400	<25	2060	450	60	186	<10	<1	11,9
2	34300	942	<25	388	395	60	386	<10	<1	14,7
3	20800	328	<25	870	453	54	331	<10	1,05	6,91
4	18700	161	<25	1560	374	50	204	<10	3,38	6,34
5	21400	58	<25	1190	697	306	25	52	<1	3,78
6	33900	77	<25	239	4560	530	363	<10	104	4,39
7	8900	58	<25	<25	1410	3900	108	62	67,3	44,8
8	21100	109	<25	537	1170	484	349	<10	1,93	18,7
9	22300	132	<25	803	552	96	492	<10	1,52	14,1
10	34400	161	<25	<25	4660	4440	358	<10	n.b.	n.b.
11	32900	147	<25	<25	1100	1620	339	<10	2,41	70,3
12	73300	1180	<25	838	5890	2030	2060	<10	1,24	60
13	85200	3730	<25	963	778	931	399	<10	1,03	257

3.3 Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz hat am Kompaktwäscher eine Meßkampagne durchgeführt /8/, in deren Vordergrund die Bilanzierung der Stoffströme der polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane im Roh- und Reingas sowie deren Ablagerung auf den Füllkörpern stand. Der Kompaktwäscher wurde während des gesamten Untersuchungszeitraumes in einem stabilen Betriebszustand mit konstanter Einstellung des Abgasvolumenstromes, des Füllstands der Venturistufe und der Zulaufmengen zu beiden Füllkörperstufen betrieben.

Aus Abbildung 5 wird deutlich, daß es zu einer erheblichen Abscheidung von PCDD/PCDF im Kompaktwäscher kommt. Sämtliche Einzelkongenergehalte sind im Reingas deutlich geringer als im Rohgas. Als durchschnittliche Schadstofffrachten an PCDD/PCDF ergeben sich im Rohgas 382 ng I-TE/h und im Reingas 156 ng I-TE/h, was einer Abscheidung von 59% entspricht. Dieser relativ hohe Abscheidegrad ist teilweise darauf zurückzuführen, daß sich ein Teil dieser organischen Verbindungen an die Oberfläche der Stäube aus der Verbrennung anlagert und bei der nachgewiesenen sehr guten Staubabscheidung mit diesen aus dem Wäscher ausgetragen wird /9/, /10/. Dieser Sachverhalt erklärt aber noch nicht den hohen Abscheidegrad dieser Verbindungen, so daß vermutet werden muß, daß im Wäscher noch eine andere Senke vorliegt.

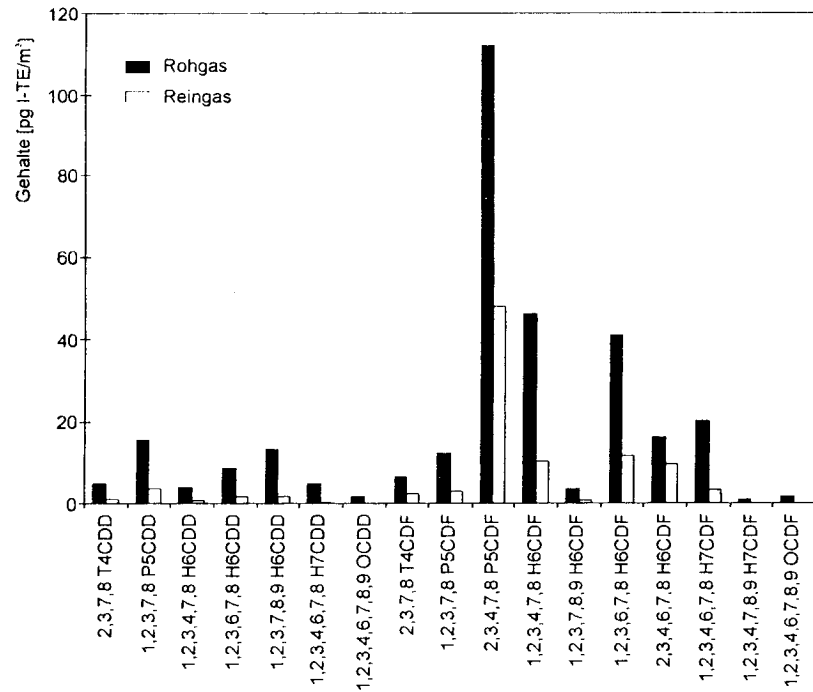


Abbildung 5: PCDD/PCDF-Gehalte (l-TE) im Rein- und Rohgas des Kompaktwäschers

Aus den Füllkörperschüttungen wurden nach 7 sowie nach 15 Wochen Dauerbetrieb Füllkörper entnommen und auf Ablagerungen von Dioxin- und Furanverbindungen untersucht. Abbildung 6 zeigt einen Vergleich der PCDD/PCDF-Gehalte dieser Füllkörper. Neben den Füllkörpern aus dem Wäscher wurde auch eine Nullprobe der selben Charge analysiert, die bereits eine sehr geringe Konzentration an Dioxinen und Furanen aufweist (Abb. 6). Vergleicht man nun die Gehalte an PCDD/PCDF der ersten und zweiten Füllkörperstufe nach 7 Wochen Dauerbetrieb, so ist gegenüber der Nullprobe eine erhebliche Anreicherung zu erkennen, wobei die zweite Stufe rund 12 mal höher belastet ist als die erste. In Abbildung 6 ist zu beachten, daß die Ordinatenachse logarithmisch geteilt ist, um die sehr kleinen Konzentrationen der Nullprobe noch darstellen zu können. Da es sich bei den Füllkörpern beider Stufen um die gleichen PP-Einbauten handelt, kann dieser Konzentrationsunterschied nur auf die unterschiedlichen Betriebsbedingungen zurückgeführt werden. Rein äußerlich zeigen die Füllkörper der zweiten Stufe im Gegensatz zu denen der ersten eine deutliche, bräunliche Verfärbung, die auf Ablagerungen hindeutet.

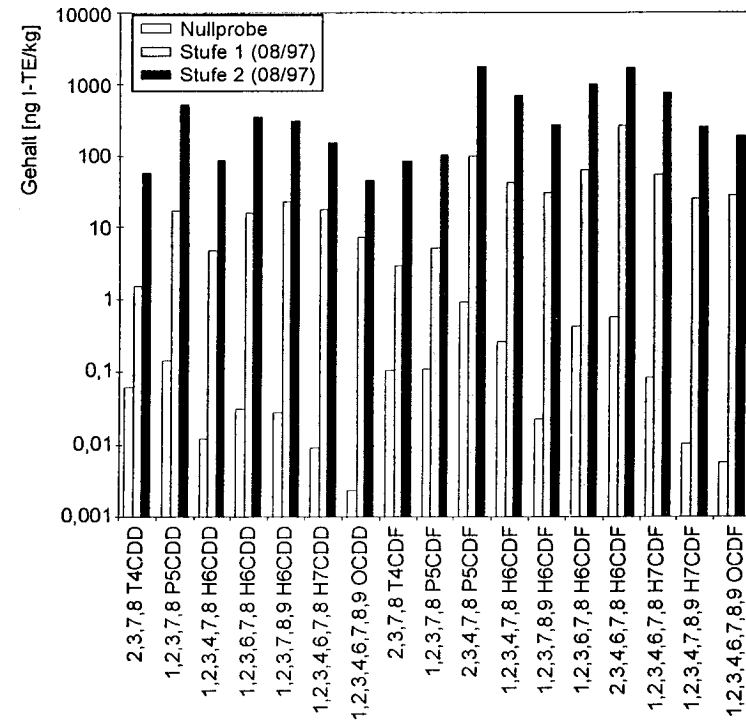


Abbildung 6: PCDD/PCDF-Gehalte in den Füllkörpern des Kompaktwäschers. Vergleich der Nullprobe mit den Messungen in der ersten und zweiten Wäscherstufe nach 7 Wochen Dauerbetrieb.

Eine Beobachtung der Anreicherung der Füllkörper nach weiteren 8 Wochen Dauerbetrieb ergab, daß die PCDD/PCDF-Gehalte um den Faktor 3,3 (Stufe 1) bzw. 2,4 (Stufe 2) ansteigen. Damit ist die zweite Stufe immer noch höher belastet als die erste, allerdings ist der durchschnittliche Gehalt nur mehr 8,6 mal höher als der erste. Dies weist darauf hin, daß die Füllkörper allmählich mit diesen Kontaminaten gesättigt werden. Eine Gegenüberstellung der relativen PCDD/PCDF-Gehalte im Rohgas und in den Füllkörpern zeigt weiter, daß das Verteilungsmuster der Einzelkongenere ähnlich ist. Generell stellen die Furanverbindungen den größten Gesamtanteil am Gesamtoxizitätsäquivalent sowohl im Rohgas als auch in den Füllkörpern, wobei die Gruppe der Hexachlordibenzofurane die größte Neigung zur Adsorption an den Füllkörpern zeigt. Insgesamt ist festzustellen, daß die Füllkörper erheblich mit PCDD/PCDF kontaminiert werden und damit, solange die Füllkörper nicht gesättigt sind, eine zusätzliche Senke für diese Stoffe im Wäscher vorliegt.

4 Zusammenfassung

In mehrmonatigen Dauerversuchen wurde ein neu entwickelter Kompaktwäscher im Pilotmaßstab mit den Rauchgasen einer Sondermüllverbrennungsanlage experimentell untersucht. Der Wäscher besteht aus einer Kombination von zwei Füllkörperschüttungen und mehreren, parallel geschalteten, selbstansaugenden Venturiwäschern, die in den Sumpf der Kolonne integriert sind, was zu einer apparatetechnisch einfachen, kompakten Bauweise führt. Die Betriebscharakteristik des Wäschers wird wesentlich durch die Venturistufe beeinflusst, wobei durch die Regelung des Füllstandes der Flüssigkeitsvorlage dieser Stufe ein störungsfreier Automatikbetrieb ermöglicht wird. Die Abscheideleistungen für die Leitkomponenten Staub, Chlorwasserstoff und Schwefeldioxid sind mit denen konventioneller Systeme adäquat. Die besondere konstruktive Gestaltung der Venturiwäscher, die mehrstufige Eindüsung der Waschflüssigkeit, führt selbst für feinstfraktionierte Stäube und Aerosole zu sehr hohen Abscheidegraden. Die Bilanzierung der PCDD/PCDF-Stoffströme weist auf eine erhebliche Abscheidung dieser Verbindungen im Kompaktwäscher hin, wobei eine kontinuierliche Anreicherung von PCDD/PCDF in den Füllkörpern nachgewiesen wurde.

Die Autoren danken dem Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen für die großzügige finanzielle Förderung dieses Projektes.

Literatur

- /1/ **Nottrodt, A.:** Fortschrittliche Verfahren zur Abgasreinigung in Abfallverbrennungsanlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K.J. (Hrsg.): Thermische Abfallbehandlung. EF-Verlag, Berlin 1994.
- /2/ **Keller-Reinspach, H.W.:** Kosten der thermischen Abfallbehandlung. In: Bilitewski, B.; Faulstich, M.; Urban, A. (Hrsg.): Thermische Restabfallbehandlung. Erich Schmidt Verlag, Berlin 1996.
- /3/ **Lehner, M.:** Staubabscheidung im Venturiwäscher mit Flüssigkeits-Selbstansaugung. Dissertation, Technische Universität München, 1996.
- /4/ **Mayinger, F.; Lehner, M.:** Operating results and aerosol deposition of a venturi scrubber in self-priming operation. Chem. Eng. Proc. 34 (1995) 283-288.
- /5/ **Lehner, M.:** Aerosol separation efficiency of a venturi scrubber working in self-priming mode. Aeros. Sci. & Tech. 28 (1998) in print.
- /6/ **Mayinger, F.; Neumann, M.:** Dust collection in venturi scrubbers. Ger. Chem. Eng. 1 (1978) 289-293.
- /7/ **Tigges, K.D.; Mayinger, F.:** Experimente zur Feinstaubabscheidung im Hochleistungs-Venturiwäscher mit mehrstufigem Eindüsen der Waschflüssigkeit. Chem. Eng. Proc. 18 (1984) 171-179.
- /8/ **Bogner, T.; Roth, S.; Schindler, M.:** Bericht über die Messung polychlorierter Dibenzodioxine und -furane an einem Kompaktwäscher der Sonderabfallverbrennungsanlage Schwabach. Bericht des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, Augsburg, 1997.
- /9/ **Löffler, F.:** Abscheidung von Feinstaub aus Gasen. Chem.-Ing.-Tech. 60 (1988) 443-452.
- /10/ **Vogg, H.:** Abfallverbrennung - ein Zugpferd für die Erforschung polychlorierter Dioxine/Furane und deren Minderung in der Umwelt. In: Jahrbuch 1995 Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen. Herausgegeben von GVC-VDI Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1995.