Lutz-Peter Nethe
LPN Consulting Potsdam/Germany

Der Einsatz von Sorbentien im gesamten System von Abgasreinigungsanlagen*

Zusammenfassung: Hatte man zu Beginn der 1990er-Jahre noch die Idee, Rauchgasreinigungen durch mehrere nacheinander geschaltete Stufen immer effektiver zu gestalten, geht der Trend heute wieder zu einfachen, aber wirkungsvollen Technologien der Rauchgasreinigung. Der folgende Beitrag erläutert die einzelnen Schritte der Abgasreinigung und erklärt detailliert, welche Sorbentien dabei Verwendung finden können. Es werden Nachrüstungskonzepte aufgezeigt, die einerseits auf die vorhandene Anlage aufbauen, aber andererseits die sichere Einhaltung neuer Grenzwerte ohne wesentliche Betriebsbeeinträchtigungen erlauben.

The use of sorbents in the entire system of flue gas purification plants*

Summary: At the beginning of the 1990s, the idea that flue gas purification could be made more and more effective by installing a number of stages in line. Today, however, the trend is again towards simple but effective flue gas purification technologies. This article explains the individual steps in the flue gas purification process and provides details of the sorbents which can be used for this purpose. It also discusses retrofitting concepts, which on the one hand supplement the existing system, but on the other hand permit reliable compliance with the new limit values without any significant disturbance of plant operation.

Emploi d'agents de sorption dans les unités complètes d'épuration des gaz

Résumé: Alors qu'au début des années quatre-vingt-dix on songeait encore à augmenter l'efficacité des unités d'épuration des gaz de fumée au moyen de plusieurs étages successifs, la tendance va de nouveau aujourd'hui vers des technologies plus simples mais plus efficaces d'épuration des gaz de fumée. L'article présente les différentes étapes d'épuration des gaz et explique en détail quels sont les agents de sorption susceptibles d'être utilisés. L'article présente des concepts d'équipements postérieurs basés, d'une part, sur la conception de l'unité existante mais permettant, d'autre part, d'assurer de manière fiable le respect des nouvelles valeurs limites sans perturbation notable de l'exploitation.

La adición de sorbentes en los sistemas de las plantas de tratamiento de gases

Resumen: Al inicio de los años noventa se defendía la instalación de sucesivas etapas consecutivas para un tratamineto de gases de escape más efectivo. Actualmente se contemplan tecnologías más sencillas y eficientes. El presente articulo describe las etapas de la purificación de gases y alclare detalladamente qué sorbentes pueden ser de aplicación. Se muestran equipamientos con posibilidad de instalación en plantas existentes y que garantizan el cumplimiento de las nuevas regulaciones sin necesidad de raelizar grandes modificacioes en la operación.

1 Grundlagen

Erst in den 1970er-Jahren wurden die ersten Abgasreinigungstechniken zur Minimierung der Schadstoffemissionen eingeführt [1]. Beginnend mit den ersten Regelungen des Schadstoffausstoßes aus Verbrennungsanlagen bis heute wurden die Grenzwerte immer weiter verschärft. Hatte man zu Beginn der 1990er-Jahre noch die Idee, Rauchgasreinigungen durch mehrere nacheinander geschaltete Stufen immer effektiver zu gestalten, geht der Trend heute wieder zu einfachen, aber wirkungsvollen Technologien der Rauchgasreinigung [2].

* Überarbeitete Fassung eines Vortrages, den der Autor auf der 4. European Lime Conference in Krakau/Polen gehalten hat.

1 Fundamentals

It wasn't until the 1970s that the first flue gas purification methods were introduced for the minimization of pollutant emissions [1]. Between those first pollutant emission control measures and today, the limit values for waste incineration system emissions have been constantly tightened. Although the idea that flue gas purification could be made more and more effective by installing a number of stages in line was still prevalent at the beginning of the 1990s, today's trend is again towards simple but effective flue gas purification technologies [2].

* Revised version of a paper presented by the author at the 4th European Lime Conference in Krakau, Poland.

Der Einsatz von unterschiedlichsten Stoffen in der Rauchgasreinigung erfolgt in allen Systemen durch Zuführung eines Absorbens und/oder eines Adsorbens und bewirkt eine Kombination von chemisorptiven und adsorptiven Prozessen. Dabei besteht für jede Stufe in der Rauchgasreinigung die Notwendigkeit, ein speziell auf die jeweiligen Anforderungen und auf die entsprechende Gaszusammensetzung abgestimmtes Ab- oder Adsorbens auszuwählen und einzusetzen oder auch eine Kombination verschiedener Ab- oder Adsorbentien auszuwählen.

1.1 Absorption – Chemisorption

Bei der Chemisorption kommt es zu einer chemischen Reaktion zwischen den abzuscheidenden Gaskomponenten und dem Sorbens. Folgende Gaskomponenten können entfernt werden [3]:

- Schwefelverbindungen wie SO_2, SO_3, H_2S
- Halogenwasserstoffe wie HJ, HBr, HCI, HF
- kohlenstoffhaltige Verbindungen wie Cyanide, organische Säuren, Phenole, Formaldehyd, CO_2
- Schwermetalle wie Hg

1.2 Adsorption

Bei der Adsorption wird die abzuscheidende Komponente, das Sorptiv, an aktiven Zentren eines in der Regel porösen Feststoffes, des Sorbens, angelagert [4]. Dabei kann es sich sowohl um eine rein physikalische Anlagerung auf Grund von Van-der-Waals-Kräften an der Oberfläche als auch um eine Anlagerung mit gleichzeitiger chemischer Reaktion handeln. Folgende Gaskomponenten können entfernt werden [5]:

- Kohlenwasserstoffe,
- Schwefelverbindungen,
- Schwermetalle wie Hg,
- organische Schadstoffe wie PCDD/PCDF.

1.3 Wirkungsmechanismen

Die Wirkungsweise der Chemisorption und auch der Adsorption hängt von der chemischen Zusammensetzung und von verschiedenen physikalischen Eigenschaften der Sorbentien ab. Wichtige Einflussgrößen sind [5]:

- Partikelgröße und Partikelgrößenverteilung,
- spezifische innere Oberfläche,
- Porenvolumen und Porenradienverteilung,
- chemische Eigenschaften,
- Partikeldichte, Schüttdichte,
- prozessrelevante Eigenschaften,
- Änderung der Partikeleigenschaften infolge von Sorptionsvorgängen.

Betrachtet man zum Beispiel im so genannten Flugstromverfahren die unterschiedlichen Wirkungsmechanismen und die chemisorptiven und adsorptiven Möglichkeiten der verschiedenen Ab- und Adsorbentien an verschiedenen Punkten der Rauchgasreinigung, so sind signifikante Unterschiede festzustellen. Bei Versuchen zur Ab- und Adsorption wurden die in **Tabelle 1** dargestellten Zusammenhänge gefunden. Bereits nach wenigen Sekunden Kontaktzeit in der Flugstromphase ist die Chemisorption, d.h. die chemische Reaktion von Kalkhydrat mit HCI und SO_2, zum größten Teil abgeschlossen. Die restliche Chemisorption erfolgt an der Filterschicht durch eine chemische Reaktion zum Kern des Absorbens hin [6].

Für die Adsorption sind die Vorgänge in einer ruhenden oder bewegten Schüttung maßgebend. Dabei müssen die Adsorptive

A wide range of materials are used in flue gas purification systems as absorption media and/or adsorption media to achieve a combination of chemisorptive and adsorptive processes. For every stage of the flue gas purification process it is necessary to select and employ an absorption or adsorption medium, or even a combination of different absorption or adsorption media, that is specially tuned to the respective requirements and to the respective gas composition.

1.1 Absorption – Chemisorption

Chemisorption involves a chemical reaction between the sorbent and the gas components that are to be removed. The following gas components can be removed in this manner [3]:

- Sulphur compounds, such as SO_2, SO_3, H_2S
- hydrogen halides, such as HJ, HBr, HCI, HF
- carbonaceous compounds, such as cyanide, organic acids, phenols, formaldehyde, CO_2
- heavy metals, such as Hg

1.2 Adsorption

Adsorption involves the attachment of the component to be removed, the sorbate, to active centres of a solid material, the sorbent which, as a rule, is porous [4]. This can be both a purely physical attachment as a result of Van-der-Waals forces to the surface of the sorbent and an attachment with simultaneous chemical reaction. The following gas components can be removed in this manner [5]:

- hydrocarbons,
- sulphur compounds,
- heavy metals, such as Hg
- organic pollutants, such as PCDD/PCDF.

1.3 Mechanisms of action

The effectiveness of chemisorption and adsorption depends on the chemical composition and on various physical properties of the sorbents. Important influencing variables are [5]:

- grain size and grain size distribution,
- specific internal surface,
- pore volume and pore radius distribution,
- chemical properties,
- particle density, bulk density,
- process-relevant characteristics,
- alteration in particle properties as a consequence of the sorption process.

For instance, if one considers the different mechanisms of action in the so-called suspension flow process, and the chemisorptive and adsorptive possibilities of the different absorption and adsorption media at various points of the flue gas purification process, one finds significant differences. Absorption and adsorption tests produced the relationships depicted in **Table 1**. After just a few seconds contact time in

Tabelle 1: Verhältnis von Chemisorption und Adsorption
Table 1: Relationship between chemisorption and adsorption

	Chemisorption %	Adsorption %
Rauchgasleitung/*Flue gas duct*	80	20
Filterschicht am Gewebefilter *Filter layer at fabric filter*	20	80
Filterschicht an Niederschlagselektrode eines Elektrofilters/*Filter layer at collecting electrode of an electrostatic precipitator*	10	15

durch die äußere hydrodynamische Grenzschicht des Adsorbens diffundieren [7], was aber nur möglich ist, wenn ein Unterschied in den Relativgeschwindigkeiten von Adsorbens und Schadstoffmolekül besteht. Eine längere Verweilzeit des Adsorbens in der Filterschicht führt zu einer deutlich besseren Adsorption der Schadgasmoleküle. Die Verweilzeit in der Flugstromphase hat jedoch nur wenig Einfluss auf die Adsorption, da die Relativgeschwindigkeiten von Adsorbens und Schadstoffmolekül nahezu gleich sind. Entscheidend für die Wirkungsweise der Rauchgasreinigung ist jedoch auch die richtige Auswahl der notwendigen Absorbentien und Adsorbentien bezogen auf die abzuscheidenden Schadstoffe.

2 Absorbentien

Absorbentien sind notwendig, um eine Reduzierung der sauren Schadstoffbestandteile des Rauchgases zu ermöglichen. Weißkalkhydrat ist für die Abscheidung von sauren Schadstoffen aus Rauchgasen hinter thermischen Prozessen seit vielen Jahrzehnten im Einsatz. Je nach Einsatzfall können aber auch andere Kalkprodukte zum Einsatz kommen [8]:

- Calciumcarbonat $CaCO_3$
  - feinteilig Einsatz in Anlagen mit niedrigen SO_2- und HCI-Rohgaswerten oder als Additiv im Feuerraum
- Calciumoxid CaO – feinteilig
  - Einsatz in Sprühsorptionsanlagen mit eigener Löschanlage zur Kalkmilchproduktion
- Calciumhydroxid $Ca(OH)_2$ – feinteilig
  - Einsatz in Anlagen, in denen Schadstoffe auch in hohen Konzentrationsbereichen vorliegen

Natriumverbindungen sind insbesondere bei Temperaturen um 200 °C wesentlich reaktiver als Calciumverbindungen. **Tabelle 2** zeigt eine Übersicht über die wichtigsten Kenndaten verschiedener Absorbentien. **Tabelle 3** zeigt die unterschiedlichen spezifischen Oberflächen verschiedener Absorbentien und Adsorbentien.

3 Adsorbentien

Die Adsorbentien lassen sich unterteilen in die – brennbaren – kohlenstoffhaltigen Adsorbentien und die – nichtbrennbaren – mineralischen Adsorbentien.

3.1 Kohlenstoffhaltige Adsorbentien

Bei der Auswahl der kohlenstoffhaltigen Adsorbentien (**Bilder 1** und **2**) werden vor allen Dingen die spezifische Oberfläche (BET) und die Porenradienverteilung betrachtet. Je nach Schadstoffmolekülgröße werden unterschiedliche Porenradien benötigt, um eine Adsorption zu ermöglichen. In der Regel werden möglichst hohe Oberflächen angestrebt. Hohe spezi-

Tabelle 2: Kenndaten von Absorbentien [8]
Table 2: Characteristic data of absorbent media [8]

	Einheit/*Unit*	$CaCO_3$	CaO	$Ca(OH)_2$	$NaHCO_3$
Molekulargewicht *Molecular weight*	g/mol	100.08	56.08	74.09	84.02
Schüttdichte *Bulk density*	kg/dm³	1.0–1.3	0.9–1.1	0.3–0.5	0.85–1.1
spez. Oberfläche BET *Spec. Surface BET*	m²/g	<1	1–3	15–45	–
Mittlere Korngröße *Mean particle size*	0<111	12	12	<8	80–100

the suspension flow phase, the chemisorption, i.e. the chemical reaction of calcium hydroxide with HCI and SO_2 is largely concluded. The remaining chemisorption takes place at the filter layer by means of a chemical reaction towards the core of the absorption medium [6].

For the adsorption, the decisive processes take place in a static or moving bed of material. The adsorptive has to diffuse through the outer hydrodynamic boundary layer of the adsorption medium [7], which, however, is only possible if there is a difference in the relative speeds of the adsorption medium and pollutant molecules. A longer retention time of the adsorption medium in the filter layer leads to a significant improvement in the adsorption of the pollutant gas molecules. In the suspension flow phase, however, the retention time exerts only a moderate influence on the adsorption, as the relative speeds of the adsorption medium and pollutant molecule are almost equal. However, the correct selection of the required absorption and adsorption media with respect to the pollutants to be removed is also decisive for the effectiveness of the flue gas purification process.

2 Absorption media

Absorption media are necessary in order to reduce the acidic pollutant components of the flue gas. Calcium hydroxid has been used for many decades for removing acidic pollutants from the flue gases of thermal processes. Depending on the application, however, other lime products can also be used [8]:

- calcium carbonate $CaCO_3$
  - used as fine material in plants with low SO_2 and HCI contents in the raw gas, or as an additive in the combustion chamber
- calcium oxide CaO – as fine material
  - used in spray sorption systems with their own slaking plant for lime milk production
- calcium hydroxide $Ca(OH)_2$ – as fine material
  - used in plants where the pollutants also occur in the high concentration range.

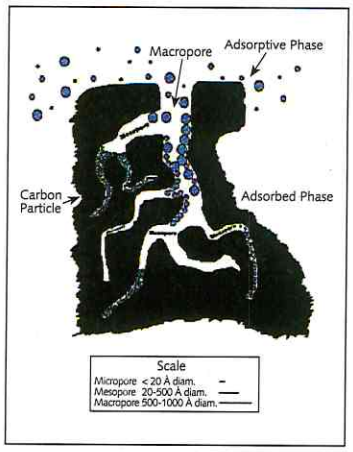
Sodium compounds are significantly more reactive than calcium compounds, especially at temperatures of around 200 °C. **Table 2** shows an overview of the most important characteristic data of different absorption media. **Table 3** shows the different specific surfaces of various absorption and adsorption media.

3 Adsorption media

Adsorption media can be subdivided into the – combustible – carbonaceous adsorption media and the – non-combustible – mineral adsorption media.

Tabelle 3: Spezifische Oberflächen verschiedener Produkte
Table 3: Specific surfaces of various products

Absorbens/Adsorbens *Absorbent/adsorbent media*	Formel/Abkürzung *Formula/Abbreviation*	spezifische Oberfläche *Spec. surface* m³/g
Calciumoxid/*Calcium oxide*	CaO	1–3
Calciumhydroxid/*Calcium hydroxide*	$Ca(OH)_2$	15–18
(Calciumhydroxid/*Calcium hydroxide)*	special	35–45
Aktivkoks/*Activated coke*	AC	300–400
Aktivkohle/*Activated carbon*	AK	500–1600
Zeolithe/*Zeolites*	Z	4–90



1 Porenstruktur von Aktivkohle
1 Pore structure of activated carbon

fische Oberflächen sind aber mit kleinen Poren, den Mikroporen, gekoppelt. Sollen sehr große Moleküle adsorbiert werden, müssen zusätzlich zu den Mikroporen auch Meso- und Makroporen vorhanden sein. Daher ist nicht nur die spezifische Oberfläche, sondern auch die Porenstruktur für den Adsorptionsprozess von großer Bedeutung und damit für die Auswahl entsprechender Adsorbentien [7].

3.2 Mineralische Adsorbentien – Zeolithe

Dem Einsatz von Kohlenstoffen sind bei hohen Rauchgastemperaturen aus Sicherheitsgründen Grenzen gesetzt. Da im Zuge der Installation von einfachen Rauchgasreinigungssystemen ohne Wärmenutzung Rauchgastemperaturen von mehr als 200 °C erreicht werden, müssen nichtbrennbare Adsorbentien eingesetzt werden, wie z.B. Zeolithe und Bentonite. Typisch für Zeolithe ist das Vorhandensein von regelmäßig angeordneten Hohlräumen, die in Form von Käfigen und/oder Kanälen verschiedener Größe auftreten können. Je nach Größe der Poren- bzw. Kanalöffnungen können nur Moleküle ganz bestimmter Dimensionen in den Hohlräumen adsorbiert und desorbiert werden [9].

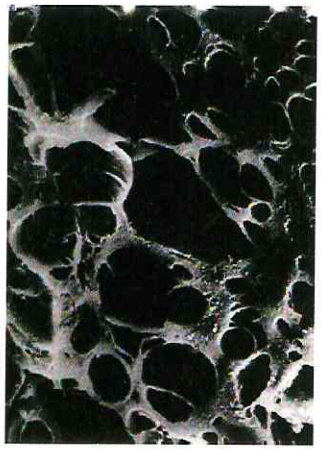
4 Inertmaterialien

In bestimmten Einsatzfällen ist es notwendig, neben den Ab- und Adsorbentien Inertmaterialien einzusetzen, die das Abscheideverhalten deutlich verbessern können oder überhaupt erst einen Einsatz in bestimmten Stufen der Rauchgasreinigung ermöglichen. Für die Eindämmung des Risikos eines Glimmbrandes insbesondere in Festbettfiltern, aber auch in Gewebefiltern, kann der Zusatz eines inerten Materials zur kohlenstoffhaltigen Komponente erfolgen.

Eines dieser Inertmaterialien ist Trass (Suevit). Die bemerkenswerten Eigenschaften von Trass können in der Rauchgasreinigung mit pulverförmigem Trassmehl allein, aber insbesondere auch in Mischprodukten genutzt werden. So ermöglicht der Einsatz von Trass die Adsorption von langkettigen Kohlenwasserstoffen z. B. zur Rauchgasentfärbung oder zur Geruchsminimierung. Im Bereich der Verbrennungsanlagen ermöglicht ein Anteil von Trassmehl durch das hohe Wasseraufnahmevermögen eine taupunktnahe Fahrweise, ohne dass es zu Verbackungen und Verklumpungen am Filter kommt [10].

5 Mischadsorbentien

Jedes einzelne Adsorbens oder Absorbens hat eine spezielle Aufgabe im Bereich der Rauchgasreinigung zu erfüllen. Für jede dieser Aufgaben könnte eine eigene Stufe innerhalb des Systems errichtet werden, um somit jeden Schadstoff einzeln und gezielt aus dem Rauchgas entfernen zu können. Da jedoch im Rauchgas nicht einzelne Schadstoffe sondern Schadstoffgemische vorliegen, ist es nahe liegend, auch Gemische aus



2 REM-Aufnahme von Aktivkohle
2 Scanning electron microscope picture of activated carbon

3.1 Carbonaceous adsorption media

When selecting the carbonaceous adsorption media (**Figs. 1** and **2**), the main criteria are the specific surface (BET) and the pore radius distribution. Depending on the pollutant molecule size, different pore radii are needed in order to enable adsorption. As a rule, the specific surface should be as high as possible. However, high specific surfaces go hand in hand with small pores, called micropores. If very large molecules have to be adsorbed, not only micropores but also meso- and macropores must be present. It is therefore not only the specific surface, but also the pore structure that is of great significance for the adsorption process and is therefore an important criterion for the selection of suitable adsorption media [7].

3.2 Mineral adsorption media – Zeolites

At high flue gas temperatures, the use of carbonaceous materials is limited for safety reasons. As simple flue gas purification installations without heat utilization can be subjected to flue gas temperatures exceeding 200 °C, non-combustible adsorption media have to be used, such as zeolite and bentonite. Zeolite typically has regularly arranged cavities in the form of cages and/or channels of various sizes. Depending on the size of the pores or channel openings, only molecules of specific dimensions can be adsorbed into the cavities and desorbed [9].

4 Inert materials

In certain applications it is necessary to use inert materials in addition to the absorption and adsorption media, as these can significantly improve the separation characteristics or are the only materials that can be used in specific stages of the flue gas purification process. To limit the risk of a smoulder fire, particularly in packed bed filters but also in fabric filters, inert material can be added to carbonaceous components.

One of these inert materials is trass (suevite). The remarkable characteristics of trass can be exploited by using powdery trass powder alone in the flue gas purification system, but it is also particularly used as a mixture component. For instance, the use of trass enables the adsorption of long-chain hydrocarbons, e. g. for flue gas decolouration or for odour minimization. On the waste incineration system sector, a trass meal component enables operation close to the dew point thanks to its high water absorption capacity, without incrustations or clumps forming at the filter [10].

5 Mixtures of adsorbtion materials

Every individual adsorption or absorption medium has its own special task in the flue gas purification process. For each of these tasks a special stage could be installed within the system in order to remove each pollutant individually and selectively from

Absorbentien und Adsorbentien für unterschiedliche Einsatzzwecke auszulegen und herzustellen, diese in einer einzigen Stufe der Rauchgasreinigung einzusetzen und damit die Vorteile der jeweiligen Einzelkomponenten kombiniert zu nutzen [11].

Grundsätzlich sind folgende Parameter bei der Auswahl der Einzelkomponenten zu berücksichtigen:
- Rauchgasreinigungstechnologie,
- Rauchgaszusammensetzung,
- Rauchgasvolumenstrom,
- Rauchgastemperatur.

Aus den sich somit ergebenden Bedingungen lassen sich Einzelprodukte auswählen, Mischungsverhältnisse bestimmen und Einsatzmengen berechnen. Nicht zuletzt wird damit auch der Preis der jeweiligen Ab- oder Adsorbentien bestimmt [11].

Aber auch technologische Randbedingungen ergeben sich aus dieser Betrachtung:
- Das Rauchgasreinigungsverfahren bestimmt die Form des Adsorbens, Pulver oder Granulat.
- Die Verbrauchsmenge bestimmt die Größe von Adsorber, Silo oder Dosiereinrichtung.
- Die erzielbaren Beladungen bestimmen die Rezirkulationsmöglichkeit.
- Die Reaktionsprodukte haben Einfluss auf die Auswahl von Filtermedien, Werkstoffen und die jeweiligen Entsorgungs- oder Verwertungsmöglichkeiten.

Die letztendlich ausgewählten Mischprodukte haben gegenüber den Einzelkomponenten folgende Vorteile:
- Vorhandene Lager-, Förder- und Dosiereinrichtungen können bei Nachrüstungen gegebenenfalls genutzt werden, womit keine zusätzlichen Investitionskosten notwendig sind.
- Im Falle der separaten Dosierung der einzelnen Ab- oder Adsorbentien ist es, wie z. B. im Falle der Aktivkohle, nicht möglich, Kleinstmengen eines Adsorbens kontinuierlich und homogen zu dosieren. In Mischadsorbentien können durch den Einsatz von effizienten Mischanlagen Kleinstmengen bis 1 % homogen in der Gesamtmenge verteilt werden.
- Sicherheitseinrichtungen können auf ein Mindestmaß reduziert werden.
- Die Zusammensetzung richtet sich nach der Rohgaszusammensetzung und Rauchgastemperatur. Zwei und mehr Komponenten sind möglich.
- Auf eine Veränderung der Schadstoffzusammensetzung des Rauchgases kann durch eine Veränderung der Mischungsverhältnisse, der Einzelkomponenten oder der Einsatzmenge jederzeit reagiert werden.

6 Sorbenseinsatz in der Abgasreinigung

Bei der Betrachtung der Möglichkeiten des Einsatzes unterschiedlicher Sorbentien in der Abgasreinigung sind einerseits das eingesetzte Abgasreinigungsaggregat und andererseits die dem Aggregat zugeordnete Funktion zu berücksichtigen. So kann eine Filteranlage einmal als reiner Entstauber eingesetzt werden, aber in einem anderen System, an der gleichen Stelle angeordnet, ein Entstauber mit zusätzlicher Sorptionsfunktion sein. Es können aber auch unterschiedliche Aggregate für die gleiche Aufgabe eingesetzt werden. So kann die Funktion eines Polizeifilters sowohl von einem Flugstromadsorber als auch von

the flue gas. However, as the flue gas is not made up of individual pollutants, but pollutant mixtures, it is expedient to also design and manufacture mixtures of different absorption and adsorption media for different purposes, to employ these in one single stage of the flue gas purification system and thus to utilize the advantages of the respective individual components in combination [11].

Fundamentally, the following parameters must be taken into consideration when selecting the individual components:
- flue gas purification technology,
- flue gas composition,
- flue gas volume flow,
- flue gas temperature.

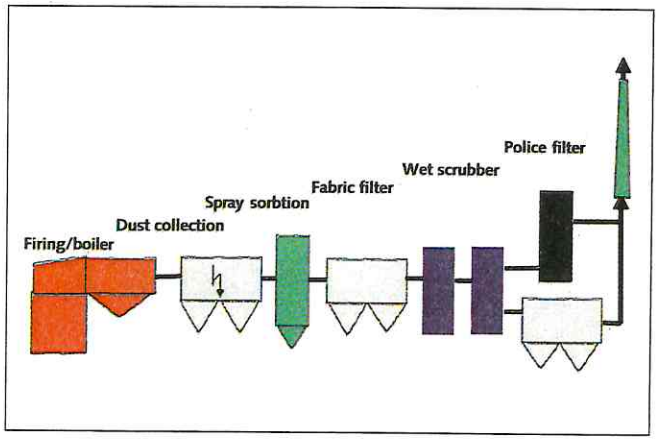
The resultant conditions form the basis for the selection of individual products, the determination of mixture ratios and the calculation of the quantities of material to be used. This allows the price for the respective absorption or adsorption media to be determined [11], but

technological boundary condition can also be derived from this consideration:
- the flue gas purification process determines the form of the adsorption medium, powder or granulate material
- the consumption quantity determines the size of the adsorber, silo and dosing device
- the attainable loadings compute the recirculation capability
- the reaction products have an influence on the selection of the filter media, the materials and the respective methods of disposal or recycling.

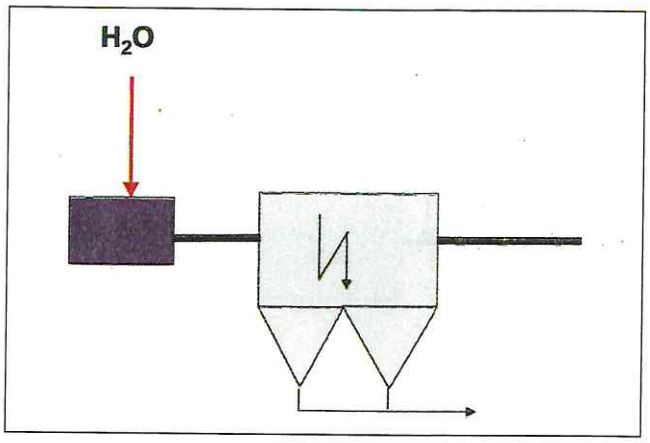
The mixed products ultimately selected have the following advantages compared to the individual components:
- Existing storage facilities, conveyors and dosing devices can possibly be used in the case of retrofittings, so that no additional capital cost is necessary.
- If there is separate dosing of the individual absorption or adsorption media, such as activated carbon, it is impossible to continuously and uniformly dose very small quantities of an adsorption medium. In adsorption medium mixtures, the application of efficient mixing plants enables very small quantities of up to 1 % to be homogenously dispersed in the total mixture.
- Safety devices can be reduced to a minimum.
- The composition is governed by the raw gas composition and the flue gas temperature. Two or more components are possible.
- It is possible to react at any time to a change in the pollutant composition of the flue gas by changing the mixture ratio, the individual components or the amount used.

6 Use of sorbents in flue gas purification

When considering the possible use of different sorbents for flue gas purification on the one hand, it is necessary to take account of the employed purification unit and on the other hand to consider the functions which are assigned to that unit. For instance, a filter unit can be used as a pure dust collector, but in a different system and located at the same point it can be used as a dust collector with additional sorption function. However, it is also possible to use different units for the same task. For example, the function of a "police filter" can be fulfilled by either a en-



3 Abfallverbrennungsanlage mit mehrstufiger Rauchgasreinigung
3 Refuse incineration plant with multistage flue gas purification



4 Heißgasentstauber
4 Hot gas deduster

einem Festbettadsorber erfüllt werden. Grundsätzlich sind folgende Verfahren im Einsatz (**Bild 3**):
- Trockensorption
- konditionierte Trockensorption
- Sprühsorption
- Nasswäscher
- Rauchgasentstickung
- Polizeifilter

Jedes dieser Verfahren besteht aus einer Reihe von Einzelkomponenten, die den Einsatz unterschiedlicher Additive, Absorbentien und/oder Adsorbentien, erforderlich machen.

6.1 Heißgasentstauber

Partikelförmige Verunreinigungen werden durch die Rauchgasentstaubung, also die Abscheidung von Stoffen in fester oder flüssiger Form, die im Rauchgas dispergiert sind, entfernt. Zur Entstaubung werden elektrostatische Entstauber oder filternde Entstauber eingesetzt. Die Temperatur ist auf 250 °C begrenzt. Zum Schutz vor Übertemperatur kann ein Verdampfungskühler vorgeschaltet sein [12]. Als einziges mögliches Additiv kann hierbei Wasser im Verdampfungskühler zum Einsatz kommen (**Bild 4**).

6.2 Sorptionsfilter

Im Folgenden wird der Einsatz von Additiven in der Trockensorption sowie in der konditionierten Trockensorption beschrieben.

6.2.1 Trockensorption (**Bild 5**)

Der als Heißgasentstauber eingesetzte filternde Abscheider wird durch den Einsatz von Sorbentien (**Tabelle 4**) zur Abscheidung unterschiedlichster Gasbestandteile zum Trockensorptionsreaktor, wobei hierbei die Temperatur auf maximal 220 °C begrenzt wird.

6.2.2 Konditionierte Trockensorption (**Bild 6**)

Durch den zusätzlichen Einsatz eines Verdampfungskühlers bzw. den Einsatz eines Reaktors zur Eindüsung von Wasser wird einerseits die Temperatur des Abgases gesenkt, andererseits aber auch eine deutlich verbesserte Abscheidung der sauren Schadgaskomponenten erreicht. Die Temperatur wird durch die Feuchteregelung in einem definierten Abstand oberhalb der Sättigungslinie von $CaCl_2$ und H_2O geführt, wobei sich in der Regel eine Temperatur von 135 °C bis 150 °C einstellt [13].

trained flow adsorber and by a packed bed adsorber. Fundamentally, the following processes are applied (**Fig. 3**):
- dry sorption
- conditioned dry sorption
- spray sorption
- wet scrubber
- flue gas denitrogenation
- police filter.

Each of these processes consists of a number of individual components, a fact which necessitates the use of different additives, absorption media and/or adsorption media.

6.1 Hot gas deduster

Particulate pollutants are removed by flue gas dedusting, i.e. the separation of materials in solid or liquid form that are dispersed in the flue gas. For dedusting, electrostatic dust collectors or filtering and dedusting systems are employed. These units have a temperature limit of 250 °C. As protection against excessive temperatures, an evaporation cooler can be installed upstream [12]. Water injected into the evaporation cooler is the only possible additive (**Fig. 4**).

6.2 Sorption filter

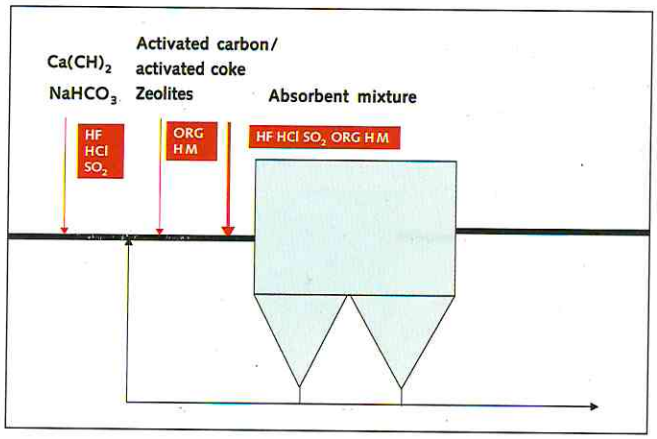
In dry sorption and in conditioned dry sorption systems, additives can be used as follows.

6.2.1 Dry sorption (**Fig. 5**)

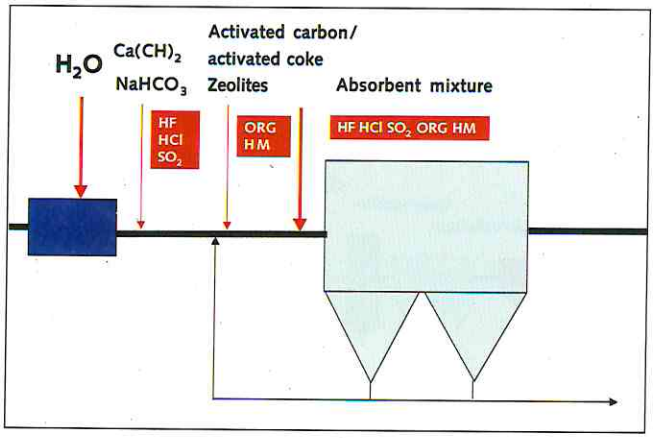
The filter dust collector employed as a hot gas deduster can be made into a dry sorption reactor by using sorbents (**Table 4**) to separate a wide range of gas constituents. Such units have a temperature limit of max. 220 °C.

Tabelle 4: Absorbentien und Adsorbentien für die Trockensorption
Table 4: Absorbent and adsorbent media for dry sorption

Typ/*Type*	Produkt/*Product*	Abzuscheidende Schadstoffe *Pollutant to be removed*
Absorbentien *Absorbents*	Kalkhydrat, Natriumbicarbonat *Calcium hydroxide, Sodium bicarbonate*	HF, HCl, SO_2
Adsorbentien *Adsorbents*	Aktivkohle, Aktivkoks, Zeolithe *Activated carbon, Activated coke, Zeolites*	Organika, Schwermetalle *Organics, heavy metals*
Mischadsorbens *Adsorbent mixtures*	Kalkhydrat/AC oder AK oder Zeolithe *Calcium hydroxide/Activated carbon, Calcium hydroxide/ Activated coke, Calcium hydroxide/Zeolites*	HF, HCl, SO_2 Organika, Schwermetalle *organics, heavy metals*



5 Sorptionsfilter in der Trockensorption
5 Sorption filter in the dry sorption process



6 Sorptionsfilter in der konditionierten Trockensorption
6 Sorption filter in the conditioned dry sorption process

6.3 Sprühtrockner (Bild 7)

Der Sprühtrockner dient der Eindampfung des in einem nachfolgenden Wäscher neutralisierten Waschwassers, so dass eine externe Verdampfungsanlage entfallen kann. Das Restprodukt fällt als trockenes Salzgemisch an und wird in einem nachfolgenden Entstauber aus dem Gasstrom abgeschieden. Zur additiven Abscheidung von Schwermetallen, insbesondere Quecksilber, besteht die Möglichkeit, Aktivkohle oder Herdofenkoks in den Sprühtrockner einzudüsen [14].

6.4 Sprühsorption (Bild 8)

Der Sprühtrockner wird durch den Einsatz von Sorbentien zum Sprühabsorber (**Tabelle 5**). Dabei wird eine aus Weißfeinkalk oder Kalkhydrat angesetzte Kalkmilch fein verdüst und vollständig verdampft. Während des Verdampfungsprozesses reagiert das Kalkhydrat mit den sauren Bestandteilen des Abgases. Rauchgas und Tropfennebel werden intensiv durchmischt. Die infolge der Wasserverdampfung und der Chemisorption gebildeten Salzpartikel werden in einem filternden Abscheider aus dem Gasstrom abgeschieden, wobei es beim Einsatz eines Gewebefilters zu einer Nachreaktion in der Feststoffschicht auf den Gewebefilterschläuchen kommt [15]. Durch die zusätzliche Eindüsung eines oberflächenaktiven Adsorbens, wie Aktivkohle oder Aktivkoks, kann eine simultane Reduktion weiterer Gaskomponenten erfolgen.

6.5 Nasswäscher (Bild 9)

Waschflüssigkeit wird mit den zu reinigenden Abgasen in innigen Kontakt gebracht, so dass ein Stofftransport von der Gasphase in die flüssige Phase stattfindet. Der Absorptionsvorgang wird hauptsächlich von der zur Verfügung gestellten Austauschfläche und deren ständiger Erneuerung, der Verweilzeit

Tabelle 5: Absorbentien und Adsorbentien für die Sprühsorption
Table 5: Absorbent and adsorbent media for spray sorption

Typ/*Type*	Produkt/*Product*	Abzuscheidende Schadstoffe *Pollutant to be removed*
Absorbentien *Absorbents*	Weißfeinkalk/Kalkhydrat *Calcium oxid/ Calcium hydroxide*	HF, HCl, SO_2
Adsorbentien *Adsorbents*	Aktivkohle, Aktivkoks *Activated carbon, Activated coke*	Organika, Schwermetalle *Organics, heavy metals*
Mischadsorbens *Adsorbent mixtures*	Kalk/AC oder AK *Lime/Activated carbon or Lime/Activated coke*	HF, HCl, SO_2 Organika, Schwermetalle *organics, heavy metals*

6.2.2 Conditioned dry sorption (**Fig. 6**)

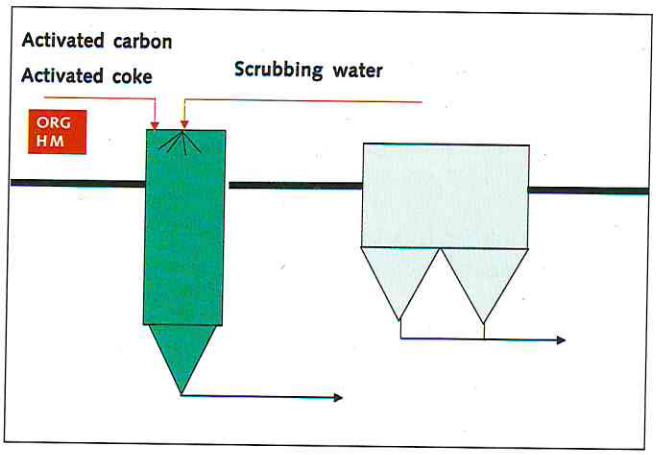
By additionally using an evaporation cooler or a reactor for water injection, not only is the temperature of the flue gas reduced but a significantly improved separation of the acidic gaseous pollutants is also achieved. By controlling the water input the temperature is kept at a defined level above the saturation line of $CaCl_2$ and H_2O. As a rule, a temperature of 135 °C to 150 °C is maintained [13].

6.3 Spray dryer (Fig. 7)

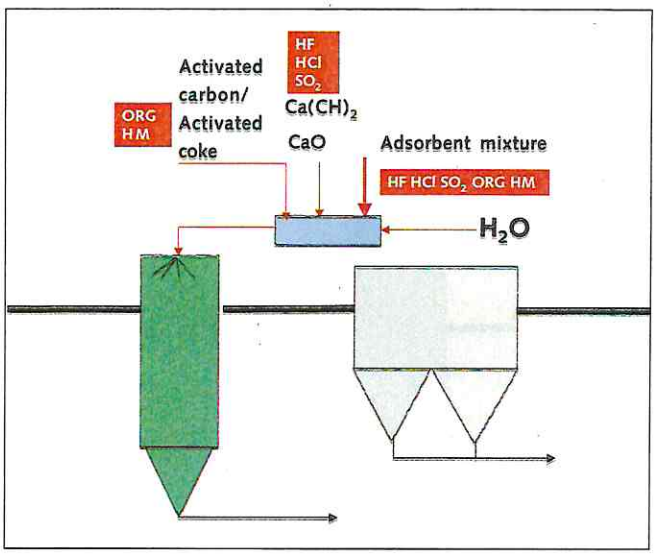
The spray dryer is used for evaporating the scrubbing water neutralized in a downstream scrubber, so that there is no need for an external evaporator. The residual product is a dry salt mixture, which is separated from the gas stream in a downstream dust collector. For the additive separation of heavy metals, particularly mercury, it is possible to inject activated carbon or hearth-furnace coke into the spray dryer [14].

6.4 Spray sorption (Fig. 8)

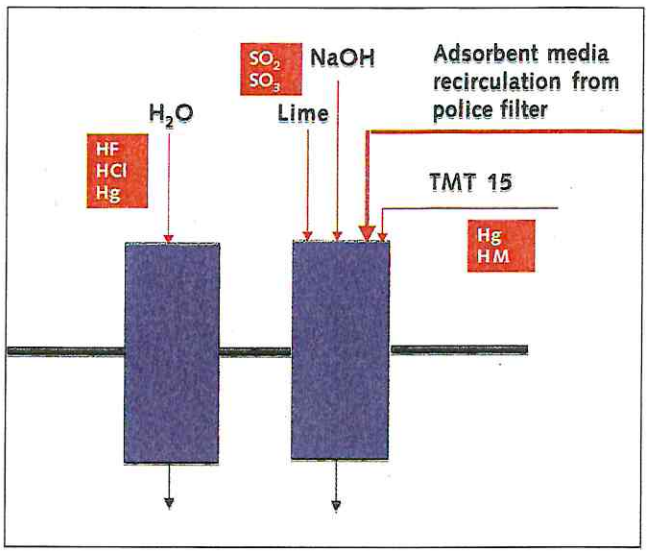
The application of sorbents makes the spray dryer into a spray absorber (**Table 5**). For this purpose, lime milk made of calcium oxid or calcium hydroxide is finely atomized and completely vaporized. During the vaporization process, the calcium hydroxide reacts with the acidic constituents of the flue gas. The flue gas and the atomized droplet mist are intensively mixed. The salt particles created as a consequence of the water evaporation and the chemisorption are separated from the gas stream



7 Sprühtrockner mit filterndem Abscheider
7 Spray dryer with filtering dust collector



8 Sprühabsorber mit filterndem Abscheider
8 Spray absorber with filtering dust collector



9 Zweistufiger Nasswäscher
9 Two-stage wet scrubber

im Absorptionsraum und von der Waschflüssigkeit beeinflusst. Vor der Abscheidung der Schadgase HF, HCl und SO_2 muss der Rauchgasstrom konditioniert werden, um die Verdampfung im Wäscher zu verhindern. Durch Eindüsung von Wasser in einen Sättiger werden die Rauchgase auf Sättigungstemperatur abgekühlt [16]. Die sauren Bestandteile werden in zwei Stufen abgeschieden (**Tabelle 6**). Die Rückführung verbrauchten Adsorbens aus einem nachfolgenden Polizeifilter – Flugstromverfahren – ermöglicht die bessere Ausnutzung nicht umgesetzten Kalkhydrates und Einsparung von Frischabsorbens in der zweiten Wäscherstufe.

6.6 Polizeifilter

Im so genannten Polizeifilter werden restliche saure Bestandteile nochmals reduziert und alle anderen ökotoxischen Schadstoffe – Schwermetalle, Dioxine usw. – durch Adsorption minimiert. Als Polizeifilter kommen Flugstrom- und Festbettadsorber zum Einsatz.

6.6.1 Flugstromadsorber (**Bild 10**)

Flugstromadsorber als letzte Stufe einer Abgasbehandlungsanlage sind nicht als Totalabscheider für saure Gasbestandteile

Tabelle 6: Absorbentien, Adsorbentien und Fällungshilfsmittel für die Nasswäsche
Table 6: Absorption media, adsorption media and precipitation additives for wet scrubbing

Typ/*Type*	Produkt/*Product*	Abzuscheidende Schadstoffe *Pollutant to be removed*
	Erste Wäscherstufe/*First scrubbing stage*	
Absorbentien *Absorbents*	Wasser/*Water*	HF, HCl, Hg-Verbindungen *HF, HCl, Hg compounds*
	Zweite Wäscherstufe/*Second scrubbing stage*	
Absorbentien	Kalksteinmehl/Kalkmilch *Limestone meal/Lime milk*	SO_2, SO_3
	Natronlauge *Sodium hydroxide solution*	SO_2, SO_3
	Altadsorbens aus Polizeifilter *Used adsorbent media from police filter*	SO_2, SO_3
Fällungshilfsmittel *Precipitation additive*	TMT15	Hg-Verbindungen *Hg compounds*

in a filter dust collector. If a fabric filter is used for this purpose, an after-reaction takes place in the layer of solid material on the fabric filter bags [15]. Due to the additional injection of a surface active adsorption medium, such as activated carbon or activated coke, a simultaneous reduction of further gas components can take place.

6.5 Wet scrubber (Fig. 9)

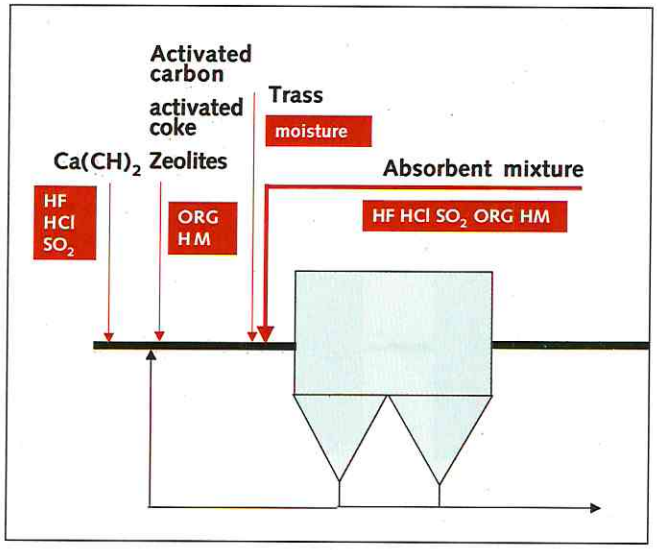
The scrubbing liquid is brought into intimate contact with the flue gas to be cleaned, so that pollutants are converted from the gas phase into the liquid phase. The absorption process is mainly influenced by the available exchange surface and its constant renewal, by the retention time in the absorption space and by the scrubbing liquid. Before the removal of the pollutant gases HF, HCl and SO_2, the flue gas stream has to be conditioned, in order to prevent vaporization in the scrubber. By injecting water into a saturator the flue gases are cooled down to saturation temperature [16]. The acidic constituents are separated in two stages (**Table 6**). The recirculation of used adsorption medium from a downstream police filter – suspension flow process – enables an improved utilization of non-converted calcium hydroxide and a saving of fresh adsorption medium in the second scrubbing stage.

6.6 Police filter

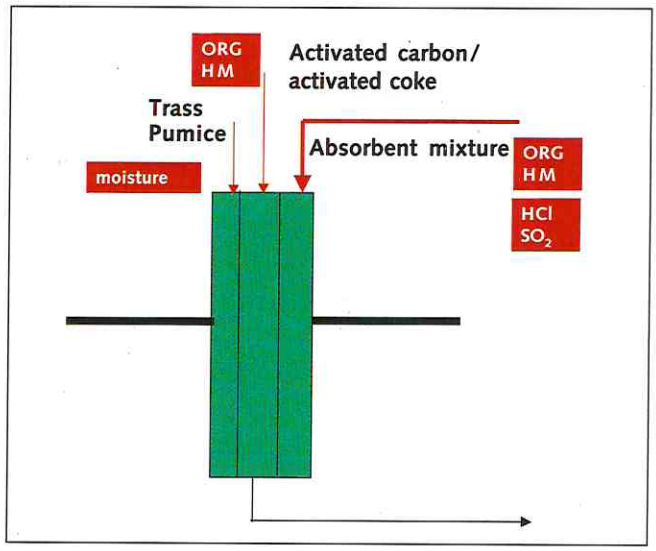
In a so-called police filter the residual acidic constituents are again reduced and all the other ecotoxic pollutants – heavy metals, dioxines etc. – are minimized by adsorption. Suspension flow and packed bed adsorbers can be used as police filters.

6.6.1 Entrained flow adsorber (**Fig. 10**)

Entrained flow adsorbers employed as the last stage of a flue gas purification system are not designed to be total separators for acidic gas constituents, as this function is performed by the preceding wet scrubber, but serve the purpose of reducing the residual acidic constituents and other ecotoxic pollutants. The flue gas leaving the scrubber is heated in a heat exchanger to approx. 110 °C. Different additives selected to achieve the required separation effect are injected into the flue gas stream and removed by the downstream fabric filter. In order to optimally employ the used additive, a major portion of the additive is re-



10 Polizeifilter Flugstromverfahren
10 Police filter, suspension flow process



11 Polizeifilter Festbettadsorber
11 Police filter, packed bed adsorber

ausgelegt, da diese Funktion der vorgeschaltete Nasswäscher übernimmt, sondern dienen der Reduzierung der restlichen sauren Bestandteile und anderer ökotoxischer Schadstoffe. Die aus dem Wäscher austretenden Rauchgase werden in einem Wärmetauscher auf etwa 110 °C aufgeheizt. Unterschiedlichste auf den Abscheideeffekt ausgelegte Additive werden in den Rauchgasstrom eingedüst und am nachfolgenden Gewebefilter abgeschieden. Um das eingesetzte Additiv optimal auszunutzen, wird ein Großteil des Additivs rezirkuliert und dem Abgasstrom erneut zugegeben [17] (**Tabelle 7**). Zum Einsatz kommen dabei sowohl Absorbentien als auch Adsorbentien. Das verbrauchte Material kann bei Einsatz von Kalkhydrat in die zweite Wäscherstufe zurückgeführt werden oder aber bei Einsatz von Inertstoffen als Kohlenstoffträger in den heißen Teil der Flamme der Müllverbrennung zurückgeführt werden. Damit kann ein Polizeifilter nach dem Flugstromverfahren rückstandsfrei betrieben werden.

6.6.2 Festbettadsorber (**Bild 11**)
Als Endstufe zur Restschadstoffabscheidung, insbesondere aber zur Abscheidung der Schwermetalle und Dioxine, eignet sich das so genannte Festbettverfahren unter Einsatz kohlenstoffhaltiger Adsorbentien. Zum Einsatz kommen sowohl Ein-Kammer-Systeme mit Füllungen von Aktivkoks oder Aktivkohle als auch Mehr-Kammer-Systeme mit unterschiedlichen

Tabelle 7: Additive für das Flugstromverfahren
Table 7: Additives for the suspension flow process

Typ/*Type*	Produkt/*Product*	Abzuscheidende Schadstoffe *Pollutant to be removed*
Absorbentien *Absorbents*	Kalkhydrat *Calcium hydroxide*	HF, HCl, SO_2
Adsorbentien *Adsorbents*	Aktivkohle, Aktivkoks Zeolithe *Activated carbon, Activated coke, Zeolites*	Organika, Schwermetalle *Organics, heavy metals*
Inerte Träger *Inert carriers*	Trass	Feuchtigkeit *Moisture*
Mischadsorbens *Adsorbent mixtures*	Kalkhydrat/AC oder AK/Trass *Calcium hydroxide/Activated carbon or activated coke/trass*	HF, HCl, SO_2 Organika, Schwermetalle *organics, heavy metals*

circulated and injected once again into the flue gas stream [17] (**Table 7**). Both absorption media and adsorption media are used for this purpose. If calcium hydroxide is used, the exhausted material can be returned to the second scrubbing stage or if inert materials are used they can be injected as carbon carrier into the hot part of the flame in a waste incineration plant. A police filter after the entrained flow process can thus be operated without producing any residues.

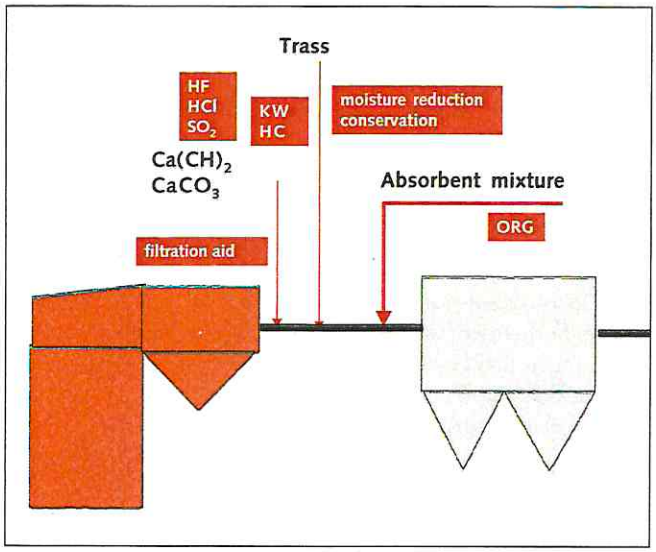
6.6.2 Packed bed adsorber (**Fig. 11**)
The so-called packed bed process, using carbonaceous adsorption media can be employed as the final stage for removing residual pollutants, but particularly for separating heavy metals and dioxines. Both single-compartment systems filled with activated coke or activated carbon and multi-compartment systems filled with different adsorption materials can be used (**Table 8**). Mixtures of carbonaceous components with inert materials (for example the KOMBISORBON® process) prevent the smoulder combustion that occur in pure carbon fillings [18].

7 Additive sorbent application

Sorbents can also be used for corrosion prevention in the combustion chamber and as a precoating material during the plant start-up phase.

Tabelle 8: Additive für das Festbettverfahren
Table 8: Additives for the packed bed process

Typ/*Type*	Produkt/*Product*	Abzuscheidende Schadstoffe *Pollutant to be removed*
Adsorbentien *Adsorbents*	Aktivkohle, Aktivkoks *Activated carbon, Activated coke*	Organika, Schwermetalle *Organics, heavy metals*
Inerte Träger *Inert carriers*	Trass, Bims, Kalkhydrat *Trass, pumice, calcium hydroxide*	Feuchtigkeit *Moisture*
Mischadsorbens *Adsorbent mixtures*	Kalk/AC oder AK-Granulate *Lime/activated carbon or activated coke granules*	Organika, Schwermetalle *organics, heavy metals*
	Bims/Aktivkohle/Schwefel Pumice/activated coke/sulphur	Organika, Schwermetalle *organics, heavy metals*



12 Precoatingeinsatz
12 Precoating application

Adsorptionsmaterialien (**Tabelle 8**). Mischungen der Kohlenstoffkomponente mit inerten Trägern verhindern die in reinen Kohlenstoff-Füllungen auftretenden Glimmbrände (zum Beispiel KOMBISORBON® Verfahren) [18].

7 Additiver Sorbenseinsatz

Sorbentien können ebenfalls zum Korrosionsschutz im Feuerraum sowie als Precoatingmaterial beim Anfahrbetrieb eingesetzt werden.

7.1 Feuerraum

Durch das Eindüsen von pulverförmigem Korrosionsschutzmaterial in den Feuerraum von Verbrennungsanlagen erfolgt eine sichere Versiegelung der Oberflächen. Diese Versiegelung ist stabil und ergänzt durch seine rasche Kinetik das feuerfeste Material. Damit wird Anbackungen wirksam vorgebeugt, da die sich bildende Versiegelungsschicht eine glatte, abweisende Oberfläche schafft. Weil diese Oberfläche durch Abrasionsprozesse permanent geschädigt wird, ist ein ständiger Neuaufbau der Schutzschicht unumgänglich, was durch die permanente Zuführung des Korrosionsschutzmaterials erfolgt. Über die Zeit bildet sich ein Gleichgewicht zwischen Abrasion und Neuaufbau heraus und damit ein dauerhafter Schutz der Oberflächen. Damit wird die Reisezeit der gesamten Anlage deutlich erhöht [19].

7.2 Precoatingmaterial

Precoatingmaterialien (**Tabelle 9, Bild 12**) bauen den ersten schützenden Filterkuchen auf den Schläuchen von Gewebefiltern auf, was für den weiteren Filtrationsverlauf wesentlich ist. Gleichzeitig können bestimmte Additive saure Rauchgasbestandteile binden und von den Filtermaterialien fern halten und diese somit vor chemischen Angriffen schützen [20]. Zur Vermeidung von PCDD/F-Einträgen in die Rauchgasreinigung beim Anfahrbetrieb wird bei Anfahrvorgängen nach Revisionen ein Additiv mit hohem Inertstoffanteil bereits bei Beginn des Ölbrennerbetriebes dosiert. Eine optimale Abscheideleistung setzt eine regelmäßige Zudosierung während des gesamten Anfahrvorganges bis zur Müllaufgabe voraus. Dadurch kann eine nachhaltige Kontamination der nachfol-

7.1 Combustion chamber

The injection of powdery anticorrosive agents into the combustion chamber of waste incineration systems is a reliable way of sealing the surfaces. This sealing is stable and supplements the refractory material due to its rapid kinetics. Incrustations are effectively prevented, as the sealing layer is a smooth, surface which rejects coatings. As the surface is constantly damaged by abrasion processes, it is absolutely essential to constantly renew the protective layer, which is done by permanently feeding the anticorrosive material. In the course of time, an equilibrium forms between abrasion and layer renewal, so that a permanent protection of the surfaces is achieved. This considerably increases the campaign time of the entire plant [19].

7.2 Precoating material

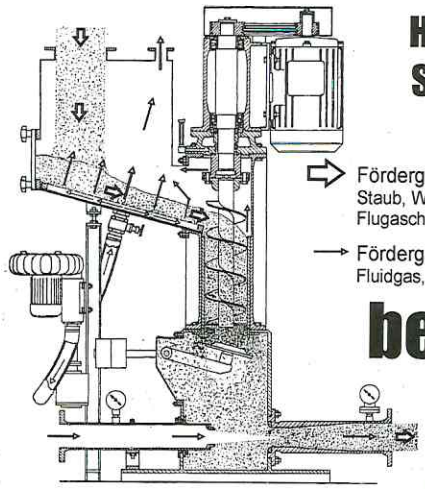
Precoating materials (**Table 9, Fig. 12**) form the first protective filtercake on the bags of fabric filters, which is essential for the further course of the filtration process. At the same time, certain additives bind the acidic flue gas constituents and keep them away from the filter material, which protects them against chemical attack [20]. To prevent PCDD/F from entering the flue gas purification system during start-up, an additive with a high content of inert material is dosed in from the very beginning of the oil burner operation during the start-up process after inspection stoppages. An optimum separation efficiency depends on continuous dosing throughout the entire start-up process until the refuse is fed in. This prevents a permanent contamination of the subsequent flue gas purification component and the resultant significant penetration of elevated PCDD/F pollution levels into the clean gas [21].

8 Conclusions

The flue gas purification stages described and the use of sorbents ensures that plant emissions reliably meet the statutory limits or are significantly lower, even in the case of extreme raw gas pollutant loadings. In fault-free operation the pollutant emissions in the flue gas stream are around the detection limit. Sorbents are specifically tailored to the respective requirements and can selectively remove individual pollutants from the flue gas or minimize whole groups of pollutants. Every stage of existing flue gas purification systems can be upgraded by using additional or more active sorbents. Such retrofitting concepts supplement the existing system and permit reliable compliance with new limit values without any significant disturbance of the plant operation.

Tabelle 9: Additive zum Precoating
Table 9: Additives for precoating

Typ/*Type*	Produkt/*Product*	Aufgabe/*Function*
Inertmaterial *Inert material*	Suevit (Trass) *Suevite (trass)*	Feuchtigkeitsreduktion *Moisture reduction* Konservierung/*Conservation*
	Kalksteinmehl *Limestone powder*	*Filtrationshilfe* *Filtration aid*
Adsorbens *Adsorbents*	Trass	Kohlenwasserstoffreduzierung *Hydrocarbon reduction*
	Kalkhydrat *Calcium hydroxide*	Reduzierung saurer Gasbestandteile *Reduction of acidic constituents*
Mischadsorbens *Adsorbent mixtures*	Trass/AC/Zeolithe *Trass/activated carbon/ Zeolites*	PCDD/F-Reduzierung/*reduction*



HB-Vertikal-Schnecken-pumpen

Fördergut, z.B. Bypass-Aktivkohle-Staub, Weißfeinkalk, Filterstaub, Flugasche, Zement, Rohmehl

Fördergas, Fluidgas, Leckgas

Der bessere Weg

Stäube zu transportieren

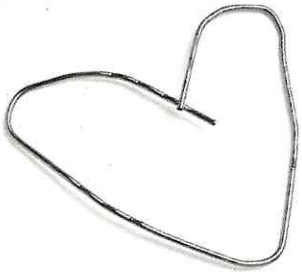
Wichtige Vorzüge:
- Auffallend geringer Energiebedarf
- Gleichmäßige Staubfüllung des Schneckenraumes
- Kleine Grundfläche
- Totraumarmes Ausblasgehäuse
- Ideale Strömung von Fördergut und Fördergas

Important Advantages:
- low power consumption
- constant powder volume inside the screw pump
- small floor space
- dead- zone- free injection chamber
- ideal flow of products transported and gas

Arbeitsgemeinschaft Staub- und Umwelttechnik
Bogdanski- Konstruktion
Am Pappelwäldchen 3 - D 41462 Neuss
Tel.: ++49- 2131- 542980
Fax: ++49- 2131- 1786451
Info@Bogdanski-Konstruktion.de

AGSU

Büroklammern gibt's im Laden. Blut nicht.



SPENDE BLUT

BEIM ROTEN KREUZ

Deutsches Rotes Kreuz

Termine und Infos 0800 11 949 11 oder www.DRK.de

genden Rauchgasreinigungskomponenten und damit ein nennenswertes Durchschlagen erhöhter PCDD/F-Einträge ins Reingas verhindert werden [21].

8 Fazit

Mit den beschriebenen Abgasreinigungsstufen und dem Einsatz von Sorbentien werden auch bei extremen Rohgasbeladungen die gesetzlichen Bestimmungen gesichert eingehalten oder deutlich unterschritten. Im ungestörten Betrieb bewegen sich die Schadstoffemissionen im Abgasstrom nahe der Nachweisgrenze. Sorbentien werden entsprechend den jeweiligen Anforderungen maßgeschneidert eingesetzt und können selektiv einzelne Schadstoffe gezielt aus dem Abgas entfernen, aber auch ganze Schadstoffgruppen minimieren. Nachrüstungen lassen sich über den Einsatz zusätzlicher oder aktiverer Sorbentien in jeder Stufe der Rauchgasreinigung realisieren. Damit sind Nachrüstungskonzepte gegeben, die einerseits auf die vorhandene Anlage aufbauen, aber andererseits die sichere Einhaltung neuer Grenzwerte ohne wesentliche Betriebsbeeinträchtigungen erlauben.

Literaturverzeichnis/Literature

[1] ISA Initiative sichere Abfallbehandlung, Februar 1998

[2] Nethe, L.-P.; Zwick, R.: Renaissance alter Rauchgasreinigungstechnologien durch den Einsatz neu entwickelter Additive, VDI Bildungswerk 43-59-08 München

[3] VDI 3928: Abgasreinigung durch Chemisorption, VDI/DIN Handbuch Reinhaltung der Luft, Bd.6.1992

[4] VDI 3674: Abgasreinigung durch Adsorption, VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Bd.6, 1996

[5] Peukert, W.: Grundlagen der Trockensorption, VDI Bildungswerk 41-33-02 Düsseldorf 1998

[6] Hasler, P.; Nussbaumer, T.: Optimierung des Abscheideverhaltens von HCl, SO_2 und PCDD/F in einem Gewebefilter nach einer Altholzfeuerung, Bundesamt für Energiewirtschaft, Zürich 1995

[7] Nethe, L.-P.; Rüsse, W.: Sorbalit Combi – Neues Sorptionsmittel zur kombinierten Dioxin und Quecksilberabscheidung im Flugstromverfahren, Umwelt/Technologie/Aktuell 5 (1994), No. 3, pp. 281–283

[8] Nethe, L.-P.: Neutralisationmittel für die trockene und quasitrockene Rauchgasreinigung im Vergleich, VDI Bildungswerk 43-59-12 München 2000

[9] Nethe, L.-P.; Schmitz, S.: Aktivkohle, Zeolithe und Mischadsorbentien in der Rauchgasreinigung, VDI Bildungswerk 43-59-13 München 2001

[10] Nethe, L.-P.: Optimierte einfache Rauchgasreinigung für hohe Rauchgastemperaturen durch den Einsatz von nichtbrennbaren Adsorbentien im Flugstromverfahren, 7. Fachtagung Thermische Abfallbehandlung, Berlin März 2002

[11] Nethe, L.-P.: Die Bedeutung von Additiven in der Rauchgasreinigung von thermischen Prozessen, VDI Bildungswerk 43-59-14 München 2002

[12] Schebdat, K.: Stand der Entwicklungstendenzen in der Gasreinigung hinter Müllverbrennungsanlagen, Abfallwirtschaftsseminar der TU Berlin 1978

[13] ABB Umwelttechnik GmbH, Report 28 (1993)

[14] Keller-Reinspach, H.W.: Verfahren der S-H-L zur Rauchgasreinigung nach Müllverbrennungsanlagen, EF-Verlag Berlin 1983

[15] Deutsche Babcock Anlagen AG, Firmenschrift

[16] Quittek, C.: Nasse Rauchgasreinigung hinter Müllverbrennungsanlagen, EF-Verlag Berlin 1983

[17] Brunner, M.: Von Roll Rauchgasreinigungssysteme, VDI Bildungswerk 43-59-02 München 1992

[18] Petzold, O.; Fell, J.: Kombinierte aktivkohlehaltige Adsorbentien zur Rauchgas-Feinreinigung, VDI Bildungswerk 43-59-08 München 1996

[19] Firmenschrift Donau Carbon Frankfurt 2001

[20] Harfmann, P.: Precoatisierung von Filterschläuchen, 5. Unabhängiges Symposium Stand der Technik Rauchgasreinigung, Stuttgart März 2002

[21] Lüder, K.; Gass, H.: Dioxinbelastung der RGR während des Anfahrbetriebes nach Kurz- und Langzeitrevisionen einer thermischen Abfallverwertungsanlage, VDI Bildungswerk 43-59-14 München 2002