

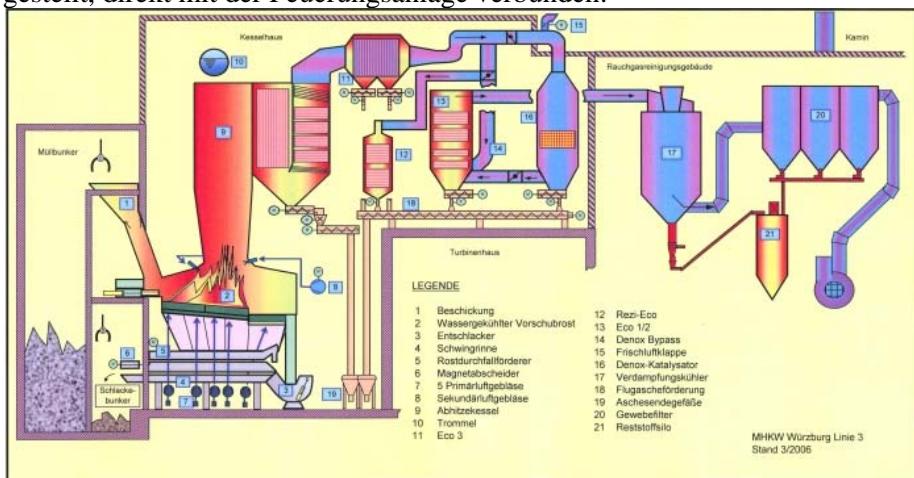
Datenblatt			Index-No.	WT/I-04_FGC								
Zur Beschreibung von:												
Verfahren	X	Technik		anderes								
Bezeichnung	Rauchgasreinigung ↗ Siehe auch Datenblätter zu verschiedenen Verbrennungsprozessen, (Datenblatt-Nr. WT/I-02_GCO , WT/I-03_FBC , WT/I-01_ICC)											
Einsatz- bzw. Anwendungsziele	Reduzierung des Schadstoffausstoßes bei der Abfallverbrennung durch Behandlung der Abgase aus den Verbrennungsprozessen											
Charakterisierung des allgemeinen Anwendungrahmens (bitte auch Fußnoten beachten)												
Insbesondere anwendbar für folgende Abfallarten												
Gemischte Haushaltsabfälle		Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle								
Papier/Pappe/Kartonagen		Altglas		Sperrmüll einschließlich Elektro- und Haushaltsaltgeräte								
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle								
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen								
Gefährliche Abfälle												
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle												
Andere Abfallarten		Rauchgas aus der Verbrennung von Abfällen										
Spezielle Charakteristika und Anforderungen der Anwendung												
Notwendigkeit einer Vorbehandlung: Die bei Abfallverbrennungsprozessen entstehenden Rauchgase bedürfen aus Gründen der Umweltsicherheit einer Behandlung, die Rauchgasreinigung stellt daher eine notwendige prozessintegrierte Komponente dar												
Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials: Bei der Rauchgasreinigung entstehende Rückstände können teilweise recycelt werden (z. B. Gips).												
Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten für Outputmaterial: Der wesentliche Teil der ausgefilterten Stoffe und Reinigungsrückstände muss auf Sonderabfall-Deponien (↗ Siehe Datenblatt Sonderabfalldeponie, Datenblatt-Nummer WD/D-04_HAL) abgelagert werden.												
Erfordernisse der Nachsorge: Eine Nachsorge der Ablagerungen auf Sonderabfall-Deponien ist notwendig												
Besondere Schutzerfordernisse: Bei der Rauchgasreinigung ausgefilterte Stoffe und entstehende Rückstände sind i.d.R. stark schadstoffhaltig und müssen unter speziellen Schutzvorkehrungen (z.B. Kapselung, Immobilisierung) behandelt oder abgelagert werden.												
Einfluss äußerer Gegebenheiten auf die Art und den Umfang der Anwendbarkeit												
Die Rauchgasreinigung wird in Verbindung mit Abfallverbrennungsprozessen angewandt; die entsprechenden äußeren Einflussfaktoren und Beschränkungen sind somit den entsprechenden Datenblättern zu entnehmen												
↗ Siehe Datenblätter zu verschiedenen Verbrennungsprozessen, Datenblatt-Nummern WT/I-02_GCO , WT/I-03_FBC , WT/I-01_ICC)												
Technische Details												
Allgemeiner Überblick												
Kurzbeschreibung	Rauchgasreinigungssysteme dienen der Verringerung des Gefahrenpotenzials von Emissionen und der Eliminierung der größtmöglichen Menge an Schadstoffen, die bei Abfallverbrennungsprozessen entstehen. Dazu sind die Rauchgasreinigungssysteme mit dem Abgassystem der Verbrennungsanlagen verbunden. Man unterscheidet trockene, halbtrockene und nasse Rauchgasreinigungssysteme, wobei nasse Rauchgasreinigungssysteme abwasserfrei und abwassererzeugend betrieben werden können. Die Rauchgasreinigung erfolgt im Wesentlichen mit Hilfe von Rauchgasentschwefelungstechnologien, der Abscheidung von Staub und Schwebstoffen sowie Rauchgasentstickungstechniken. Technische Bestandteile sind u.a. Nachbrenneranlagen, Elektro- und Gewebefilter, Sprühnebel sowie Rauchgaswäscher durch die im Abfallverbrennungsprozess entstehenden Rauchgase geleitet werden.											

grundlegende Anforderungen	keine
zu erwartende Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> Für die Qualität des gereinigten Abgases existieren spezifische Anforderungen , so u.a. festgehalten in der Richtlinie 2000/76/EC des Europäischen Parlamentes und Rates vom 4. Dezember 2000 über die Verbrennung von Abfällen in der EU. ↗ siehe Abfallverbrennungsrichtlinie.
besondere Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Die Rauchgasreinigung ermöglicht eine Abfallverbrennung auf umwelt- und klimaverträgliche Art und Weise. Sie macht die Abfallverbrennung für die Bevölkerung akzeptabel und erlaubt es, sie großtechnisch als Abfallbehandlungsoption neben anderen Verfahrenswegen zu installieren und gleichzeitig als Option zur Energieerzeugung zu nutzen.
spezifische Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Die Rauchgasreinigung ist ein kostenintensiver Prozess.

Anwendungsdetails

Technische Umsetzung	Rauchgasreinigungssysteme konzentrieren sich insbesondere auf die Verringerung der Konzentration und Abscheidung folgender Schadstoffe aus dem Abgasstrom der Abfallverbrennung: Tabelle 1: Schadstoffkonzentration im Rohgas bei der Verbrennung																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schadstoff</th><th>Rohgaskonzentration resultierend aus der Verbrennung von Haushaltabfällen in modernen Anlagen [mg/m³]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Staub</td><td>1.000 - 3.000</td></tr> <tr> <td>HCl</td><td>1.000</td></tr> <tr> <td>HF</td><td>20</td></tr> <tr> <td>SO₂</td><td>100 - 500</td></tr> <tr> <td>Schwermetalle</td><td>2 - 5</td></tr> <tr> <td>NO</td><td>Wirbelschichtverbrennung 180 bis 250 mg/m³ Rostfeuerung: 250 bis 450 mg/m³</td></tr> <tr> <td>Dioxine/Furane</td><td>1 - 3 ng TE</td></tr> </tbody> </table>	Schadstoff	Rohgaskonzentration resultierend aus der Verbrennung von Haushaltabfällen in modernen Anlagen [mg/m³]	Staub	1.000 - 3.000	HCl	1.000	HF	20	SO ₂	100 - 500	Schwermetalle	2 - 5	NO	Wirbelschichtverbrennung 180 bis 250 mg/m³ Rostfeuerung: 250 bis 450 mg/m³	Dioxine/Furane	1 - 3 ng TE
Schadstoff	Rohgaskonzentration resultierend aus der Verbrennung von Haushaltabfällen in modernen Anlagen [mg/m³]																
Staub	1.000 - 3.000																
HCl	1.000																
HF	20																
SO ₂	100 - 500																
Schwermetalle	2 - 5																
NO	Wirbelschichtverbrennung 180 bis 250 mg/m³ Rostfeuerung: 250 bis 450 mg/m³																
Dioxine/Furane	1 - 3 ng TE																

Dazu sind die Abgasreinigungssysteme, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, direkt mit der Feuerungsanlage verbunden:



Bildquelle: <http://www.zvaws.de/verbrennung.html>

Abb. a: Verfahrensschema für die Verbrennung mit Abgasreinigung

Mittels der Rauchgasreinigung können folgenden Schadstoffe soweit reduziert werden, dass die rechtsverbindlichen Standards z.B. in der EU einzuhalten sind:

- C_{organisch}
- SO_x
- Dioxine
- Schwermetalle
- CO
- NO_x teilweise
- Furane teilweise
- Staub

Fortsetzg. technische Umsetzung	<p>(i) Staub</p> <p>Der Staub beinhaltet vorwiegend flüchtige Schwermetalle sowie große Menge an organischen Verbindungen. Der Gehalt an Dioxinen/Furanen ist besonders hoch. Zur Beseitigung von Staub werden hauptsächlich Gewebefilter oder Elektrofilter eingesetzt. Eine Übersicht über die prinzipielle Charakteristik dieser beiden Technologien bietet die folgende Tabelle:</p>																		
	Tab. 2: Charakterisierung der verschiedenen Filtersysteme zur Rauchgasreinigung																		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th><th style="text-align: center;">Elektrofilter</th><th style="text-align: center;">Gewebefilter</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Reingaskonzentration</td><td style="text-align: center;">$< 5 \text{ mg/m}^3$</td><td style="text-align: center;">$< 1 \text{ mg/m}^3$</td></tr> <tr> <td>Investitionsbedarf * in Bezug auf 100.000 sm^3/h</td><td style="text-align: center;">Annähernd 1,6-1,8 Mio. Euro</td><td style="text-align: center;">1 Mio. Euro bei 220°C 0,9 Euro bei 160°C</td></tr> <tr> <td>Vorteile</td><td style="text-align: center;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ gute Reingasqualität ▪ geringe Behandlungskosten </td><td style="text-align: center;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ sehr gute Reingasqualität ▪ geringer Investitionsbedarf </td></tr> <tr> <td>Nachteile</td><td style="text-align: center;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ hoher Investitionsbedarf ▪ fördert die De-Novo-Synthese von Dioxinen und Furanen </td><td style="text-align: center;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ gute Reingasqualität ▪ hohe Behandlungskosten wegen des Druckverlustes und der Notwendigkeit des Filterwechsels </td></tr> <tr> <td>Rückstände</td><td style="text-align: center;">Staub</td><td style="text-align: center;">Staub</td></tr> </tbody> </table>		Elektrofilter	Gewebefilter	Reingaskonzentration	$< 5 \text{ mg/m}^3$	$< 1 \text{ mg/m}^3$	Investitionsbedarf * in Bezug auf 100.000 sm^3/h	Annähernd 1,6-1,8 Mio. Euro	1 Mio. Euro bei 220°C 0,9 Euro bei 160°C	Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ▪ gute Reingasqualität ▪ geringe Behandlungskosten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sehr gute Reingasqualität ▪ geringer Investitionsbedarf 	Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hoher Investitionsbedarf ▪ fördert die De-Novo-Synthese von Dioxinen und Furanen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ gute Reingasqualität ▪ hohe Behandlungskosten wegen des Druckverlustes und der Notwendigkeit des Filterwechsels 	Rückstände	Staub	Staub
	Elektrofilter	Gewebefilter																	
Reingaskonzentration	$< 5 \text{ mg/m}^3$	$< 1 \text{ mg/m}^3$																	
Investitionsbedarf * in Bezug auf 100.000 sm^3/h	Annähernd 1,6-1,8 Mio. Euro	1 Mio. Euro bei 220°C 0,9 Euro bei 160°C																	
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ▪ gute Reingasqualität ▪ geringe Behandlungskosten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sehr gute Reingasqualität ▪ geringer Investitionsbedarf 																	
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hoher Investitionsbedarf ▪ fördert die De-Novo-Synthese von Dioxinen und Furanen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ gute Reingasqualität ▪ hohe Behandlungskosten wegen des Druckverlustes und der Notwendigkeit des Filterwechsels 																	
Rückstände	Staub	Staub																	
	* Einbau nicht berücksichtigt, da diese Kosten von den Bedingungen vor Ort abhängig sind																		
	<p>(ii) Saure Schadgase HCl, SO_2, HF</p> <p>HCl, SO_2 und HF können aus dem Rauchgas mittels trockener, quasitrockener und nasser Systeme entfernt werden. Die hauptsächlichen Verfahren von nass- und quasitrockenen Systemen sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dreistufiger Wäscher, Entfernung von Kalk und HCl (nass) ▪ Dreistufiger Wäscher mit der Verdampfung von Wasser mittels Sprühtröckner im heißen Rauchgas (nass) ▪ Sprühadsorption (quasitrockene Sorption) 																		
	<p>Neben diesen drei Verfahrenswegen können trockene Rauchgasreinigungssysteme genutzt werden. Dieses System ist durch das Versprühen von Kalkmilch aus Brandkalk oder Kalkhydrat in den Rauchgasstrom gekennzeichnet. Dieses Rauchgas durchläuft zuvor eine Kühlung. Die verschmutzte Kalkmilch wird mittels Gewebefilter abgetrennt. Mit der trockenen Rauchgasreinigung können ebenfalls geringe Konzentrationen der Schadstoffe im Reingas erreicht werden. Von Nachteil ist, dass durch die beschriebenen Systeme gefährliche Abfälle entstehen. Andererseits fällt der geringste Investitionsaufwand an.</p>																		
	<p>(iii) Stickoxide</p> <p>Im Falle, dass die Entstehung von Stickoxiden nicht durch verbrennungstechnische Maßnahmen verhindert werden kann, existieren im Wesentlichen zwei Prozesse für die Entfernung von Stickoxiden aus dem Rauchgas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ SNCR-Verfahren (Selective Non Catalytic Reduction) sowie ▪ SCR-Verfahren (Selective Catalytic Reduction) <p>Das <u>SNCR-Verfahren</u> erreicht eine Eliminationsrate des NO_x von 50-60% durch das Einsprühen von Nitrogenverbindungen (besonders Harnstoff oder Ammoniak) mittels Düsen in den heißen Rauchgasstrom (950°C).</p>																		

Fortsetzg. technische Umsetzung	<p>Beim <u>SCR-Verfahren</u> werden die Stickoxide unter Zugabe von Ammoniakwasser an einem Katalysator zu Stickstoff und Wasserdampf umgesetzt. Die Stickoxide werden katalytisch bei einer Temperatur von 170°C bis 380°C zerstört. Die Eliminationsrate liegt bei über 80 %. Beim SNCR- wie auch beim SCR-Verfahren entstehen keine Rückstände.</p> <p>Beide Verfahren sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst dargestellt.</p>	
Tab. 3: Charakterisierung der Prozesse für die Beseitigung von Stickoxiden		
Konzentration von NOx im Rohgas	$< 150 \text{ mg/m}^3$	$< 70 \text{ mg/m}^3$
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ▪ preisgünstig ▪ gute Reingaskonzentrationen ▪ Einschränkung der De-Novo-Synthese von Dioxinen und Furanen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sehr gute Reingaskonzentrationen ▪ kann zur direkten Zerstörung von Dioxinen und Furanen genutzt werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ teuer ▪ anfällig gegenüber Chemikalien, welche den Katalysator „vergiften“
<p><u>(iv) Schwermetalle und Dioxine</u></p> <p>Dioxine, Furane und Schwermetalle, welche durch den Wäscher gehen, können aus dem Rauchgas durch Aktivkohle bzw. -koks oder ein Gemisch aus Kalkhydrat und Aktivkoks eliminiert werden. Als verlässlicher Prozess hat sich insbesondere die Flugstromadsorption (Zusatz von Aktivkoks – Kalk und eine Mischung dessen mit dem Rauchgas) durchgesetzt, aufgrund höherer Kosten und schwierigerem Handlings wird das Verfahren der Festbettadsorption weniger oft genutzt. Die Hauptmerkmale beider Prozesse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:</p>		
Tab. 4: Adsorptionsprozesse für Schwermetalle und Dioxine bei der Rauchgasreinigung		
Konzentration im Reingas	Flugstromadsorption	Festbettadsorption
Dioxin	$<< 0,1 \text{ ng TE}$	$<< 0,1 \text{ ng TE}$
Schwermetalle	$< 0,1 \text{ mg}$	$< 0,1 \text{ mg}$
Temperatur	max. 150 °C	max. 150 °C
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sehr gute Reingaskonzentration ▪ vertretbare Kosten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sehr gute Reingaskonzentration ▪ unempfindlich gegenüber Konzentrationsschwankungen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gefahr des Durchbrechens (bei hoher Beladung) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Brandgefahr ▪ teuer ▪ hohe CO-Emissionen während des Anfahrens
Rückstände	Aktivkohle oder -koks	Aktivkohle oder -koks
<p>Aktivkohle/-koks bindet Schwermetalle (vor allem Hg und Cd) sowie Dioxine und Furane, es kommt auch zu Schwefel und Chloranreicherungen in geringerer Menge. In der Regel erfolgt eine Rückführung in den Verbrennungsraum und zwar solange, wie Quecksilber und Cadmium abgeschieden werden. Schwermetalle, Dioxine und Furane werden neuerdings auch durch Zugabe spezieller Kalk-Kohle Gemische direkt bei der Verbrennung eliminiert, eine nachträgliche Abscheidung ist dann überflüssig.</p>		

Stofffluss und -mengen	Die möglichen Reduktionsraten der verschiedenen Schadstoffe im Rauchgas sind in Verbindung mit den verschiedenen Technologien oben dargestellt.												
Anwendungsbereich	Die Rauchgasreinigung wird bei allen Verbrennungsprozessen angewandt (↗ siehe Datenblätter für Verbrennungsprozesse; Datenblatt-Nr. (WT/I-02_GCO , WT/I-03_FBC , WT/I-01_ICC) und muss entsprechend der gesetzlichen Vorschriften in allen Abfallverbrennungsanlagen integriert sein.												
Zusammenhänge und Kombinierbarkeit mit anderen Techniken	Technologien zur Rauchgasreinigung können an jedes Verbrennungssystem angebunden werden.												
Orientierungswerte für die Anwendung													
Ressourceneinsatz													
Energiebilanz	wird bestimmt durch den jeweiligen Verbrennungsprozess und die daraus resultierenden Emissionen												
CO ₂ -Relevanz													
Benötigte Hilfsmittel oder Zusatzstoffe	<ul style="list-style-type: none"> - Kohle, Kalziumhydroxid (zur Absorption saurer Schadgase): ca. 10-15 kg/t Abfallinput - Koks aus Braunkohle (zur Absorption von Schwermetallen und Dioxinen): <0,8 kg/t Abfallinput - Ammoniakwasser (25%) (zur Absorption von NO_x): ca. 5-10 kg/t Abfallinput - Wasser 												
Personalbedarf	Rauchgasreinigungssysteme erfordern keinen zusätzlichen Personalbedarf beim Betrieb von Verbrennungsanlagen, allerdings entsteht ein zusätzlicher Entsorgungsaufwand bei dem es zu Personaleinsatz kommt												
Flächenbedarf	Der zusätzliche Flächenbedarf für Rauchgasreinigungssysteme ist marginal und durch die zum Anlagenbetrieb vorgesehenen Flächen i.d.R. abdeckbar												
Nachsorgeaufwand	Für die Reaktionsprodukte der trockenen und quasitrockenen Rauchgasreinigung, welche toxische und auslaugbare Problemstoffe (Schwermetalle, Dioxine/Furane, PAK) enthalten sowie für die Eindampfrückstände der nassen Rauchgasreinigung kommt es zu einem Nachsorgeaufwand durch die fachgerechte Behandlung oder Entsorgung in Sonderabfalllagern (z. B. Untertage, Sonderabfalldeponien). ↗ Siehe Datenblatt Sonderabfalldeponie, Datenblatt-Nr. WD/D-04_HAL												
Kosten													
Investitionskosten	<p>Trockene und quasitrockene Rauchgasreinigungsanlagen haben die niedrigsten Investitionskosten. Die nasse Rauchgasreinigung weist bei den Investitionskosten einen weiten Bereich auf. Allerdings ist eine relativ einfach aufgebaute nasse Rauchgasreinigungsanlage nur unwesentlich teurer als eine quasitrockene Rauchgasreinigung.</p> <p>Die Investitionskosten pro Anlage betragen durchschnittlich:</p> <p>(Annahme: Verbrennungsanlage mit einem Durchsatz von 200.000 t/a; einfache Rauchgasreinigung (trocken))</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">▪ Baukosten:</td> <td style="width: 60%;">4.500.000 EUR</td> </tr> <tr> <td>▪ Ausrüstung:</td> <td>13.000.000 EUR</td> </tr> <tr> <td>▪ Nebenkosten, Finanzierung:</td> <td>3.500.000 EUR</td> </tr> </table> <p>(Annahme: Verbrennungsanlage mit einem Durchsatz von 200.000 t/a; komplexe Rauchgasreinigung (nass))</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">▪ Baukosten:</td> <td style="width: 60%;">7.500.000 EUR</td> </tr> <tr> <td>▪ Ausrüstung:</td> <td>20.000.000 EUR</td> </tr> <tr> <td>▪ Nebenkosten, Finanzierung:</td> <td>5.500.000 EUR</td> </tr> </table>	▪ Baukosten:	4.500.000 EUR	▪ Ausrüstung:	13.000.000 EUR	▪ Nebenkosten, Finanzierung:	3.500.000 EUR	▪ Baukosten:	7.500.000 EUR	▪ Ausrüstung:	20.000.000 EUR	▪ Nebenkosten, Finanzierung:	5.500.000 EUR
▪ Baukosten:	4.500.000 EUR												
▪ Ausrüstung:	13.000.000 EUR												
▪ Nebenkosten, Finanzierung:	3.500.000 EUR												
▪ Baukosten:	7.500.000 EUR												
▪ Ausrüstung:	20.000.000 EUR												
▪ Nebenkosten, Finanzierung:	5.500.000 EUR												

Betriebskosten	Betriebskosten <ul style="list-style-type: none"> ▪ laufende Kosten: abhängig von den Marktpreisen der eingesetzten Materialien ▪ Reparatur- und Wartungskosten: für jedes Bauelement ca. 1 % der Anschaffungskosten; für Maschinen und Elektronik ca. 3-4 % der Anschaffungskosten
Möglichkeit von Einnahmen	durch den Verkauf des bei der Rauchgasreinigung entstehenden Gipeses
Massespezifische Gesamtkosten	In den Gesamtkosten, welche für die Abfallverbrennungsprozesse dargestellt sind, enthalten. (↗ Siehe Datenblätter für Verbrennungsprozesse; Datenblatt-Nr. WT/I-02_GCO , WT/I-03_FBC , WT/I-01_ICC)
<u>Andere relevante Aspekte</u>	
	-
<i>Sonstige Details</i>	
<u>Marktübersicht</u>	
Referenzanwendungen	↗ Siehe Datenblätter für Verbrennungsprozesse; Datenblatt-Nr. (WT/I-02_GCO , WT/I-03_FBC , WT/I-01_ICC)
Anerkannte Hersteller und Dienstleister <i>(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)</i>	Beispiele für Anbieter von entsprechenden Anlagenkomponenten und Komplettlösungen für die Rauchgasreinigung sind: LAB GmbH, Stuttgart http://www.lab-stuttgart.de MARTIN GmbH für Umwelt- und Energietechnik, München http://www.martingmbh.de ENVIROTHERM GmbH, Essen http://www.envirotherm.de Fisia Babcock Environment GmbH, Gummersbach www.fisia-babcock.com
<u>Anmerkungen und weitere Referenzdokumente</u>	
Firmenlinks und weitere Informationen sind erhältlich über: Interessengemeinschaft der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e. V. http://www.itad.de/	