

## ABGASREINIGUNG (INSB. REINIGUNG DER RAUCHGASE DER ABFALLVERBRENNUNG)

**EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:** -Reduzierung des Schadstoffausstoßes bei der Abfallverbrennung durch Behandlung der Abgase aus den Verbrennungsprozessen (Siehe auch Datenblätter zu verschiedenen Verbrennungsprozessen „Industrielle Mitverbrennung“, „Rostfeuerung“, „Wirbelschichtverbrennung“)

### CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

#### INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

|   |   |  |  |                         |  |
|---|---|--|--|-------------------------|--|
| Altglas                                       |   | Leichtverpackungen                     |  | Speise- und Grünabfälle |  |
| Papier/Pappe/Karton                           |   | Gemischte Haushaltsabfälle             |  | Sperrmüll               |  |
| Altlampen                                     |   | Alttextilien                           |  | Elektro(nik)altgeräte   |  |
| Altmetall                                     |   | Altholz                                |  | Bau- und Abbruchabfälle |  |
| Altöl   |   | Altfarben/-lacke                       |  | Altreifen               |  |
| Gefährliche Abfälle                           |   |  |  |                         |  |
| Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle |   |  |  |                         |  |
| andere behandelbare Stoffe                    | X | Abgas aus der Verbrennung von Abfällen |  |                         |  |

#### SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

##### **Notwendigkeit einer Vorbehandlung:**

Die bei Abfallverbrennungsprozessen entstehenden Abgase bedürfen aus Gründen des Immissionssschutzes einer Behandlung, die Abgasreinigung stellt daher eine notwendige prozessintegrierte Komponente dar

##### **Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:**

Bei der Abgasreinigung anfallende Rückstände können teilweise recycelt werden (z.B. REA-Gips).

##### **Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:**

Der wesentliche Teil der abgeschiedenen Stoffe und Abgasreinigungsrückstände muss auf Deponien für gefährliche Abfälle, vorrangig Untertagedeponien abgelagert werden. (siehe Datenblatt "Deponie für gefährliche Abfälle")

##### **Nachsorgebedarf:**

Für die Reaktionsprodukte der trockenen und quasitrockenen Abgasreinigung, welche toxische und auslaugbare Problemstoffe (Schwermetalle, Dioxine/Furane, PAK) enthalten sowie für die Eindampfrückstände der nassen Abgasreinigung entsteht ein Nachsorgeaufwand durch die fachgerechte Behandlung oder Entsorgung in Untertagedeponien oder durch Untertageversatz (siehe Datenblatt "Deponie für gefährliche Abfälle")

##### **Besondere Schutzanforderungen:**

Bei der Abgasreinigung abgeschiedene Abgasbestandteile 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 Abgasreinigung wird in Verbindung mit Abfallverbrennungsprozessen angewandt; die entsprechenden äußeren Einflussfaktoren und Beschränkungen sind somit den entsprechenden Datenblättern zu entnehmen (siehe auch Datenblätter zu verschiedenen Verbrennungsprozessen „Industrielle Mitverbrennung“, „Rostfeuerung“, „Wirbelschichtverbrennung“)

| TECHNISCHE DETAILS                          |   |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
|---|---|-----------|--|-------------|----|-----|----|-----|----|----|---|-----------------|----|-----------------|---------|----|----|------------------------|-------------|---|-----|--------------------|--|
| ALLGEMEINER ÜBERBLICK                       |   |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
| KURZ-BESCHREIBUNG                           | <p>Abgasreinigungssysteme dienen der Verringerung des Gefahrenpotenzials von Emissionen und der Reduzierung der größtmöglichen Menge an Schadstoffen, die bei Abfallverbrennungsprozessen entstehen. Zu den typischen Luftschadstoffen aus thermischen Abfallbehandlungsanlagen zählen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- partikelförmige Schadstoffe (Staub),</li> <li>- Kohlenstoffmonoxid (CO),</li> <li>- Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>),</li> <li>- Schwefeloxide (SO<sub>x</sub>),</li> <li>- Halogenwasserstoffe (HCl, HF),</li> <li>- organische Schadstoffe (z. B. PCDD/F) und</li> <li>- Schwermetalle (z.B. Hg, Cd, As).</li> </ul> <p>Dazu sind die Abgasreinigungssysteme mit der Abgasführung der Verbrennungsanlagen verbunden. Man unterscheidet trockene, halbtrockene und nasse Abgasreinigungssysteme, wobei nasse Abgasreinigungssysteme abwasserfrei und abwassererzeugend betrieben werden können. Die Abgasreinigung erfolgt im Wesentlichen mit Hilfe von Techniken zur Abscheidung von Partikeln und sauren Abgasbestandteilen sowie technischen Maßnahmen zur Minderung von Stickoxiden. Technische Bestandteile sind u.a. Elektro- und Gewebefilter, Sprühtürme, Abgaswäscher sowie Katalysatoren durch die die im Abfallverbrennungsprozess entstehenden Abgase geleitet werden.</p> |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
| GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN                  | <p>Abgasreinigungssysteme müssen zugelassene Technik verwenden und sind Teil der Anlagene Genehmigung. In europäischen Anlagen darf das behandelte Abgas die Emissionsgrenzwerte der Europäischen Richtlinie über Industrieemissionen (siehe Datenblatt „<u>Technologieorientierte Regelungen</u>“) als Mindestanforderung nicht überschreiten.</p> <p>Tabelle 1: Grenzwerte für Abgase aus der Verbrennung</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4CAF50; color: white;">Parameter</th> <th style="background-color: #4CAF50; color: white;">Tagesmittelwert in mg/Nm<sup>3</sup> trocken (11 Vol.-% O<sub>2</sub> trocken)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesamtstaub</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>TOC</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>HCL</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>HF</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>SO<sub>x</sub></td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>NO<sub>x</sub></td> <td>200-400</td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Hg / Summe aus Cd + Tl</td> <td>0,05 / 0,05</td> </tr> <tr> <td>Summe aus Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>Dioxine und Furane</td> <td>0,1 ngl-TEQ/Nm<sup>3</sup> trocken (11 Vol.-% O<sub>2</sub> trocken)</td> </tr> </tbody> </table>           | Parameter | Tagesmittelwert in mg/Nm <sup>3</sup> trocken (11 Vol.-% O <sub>2</sub> trocken) | Gesamtstaub | 10 | TOC | 10 | HCL | 10 | HF | 1 | SO <sub>x</sub> | 50 | NO <sub>x</sub> | 200-400 | CO | 50 | Hg / Summe aus Cd + Tl | 0,05 / 0,05 | Summe aus Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V | 0,5 | Dioxine und Furane | 0,1 ngl-TEQ/Nm <sup>3</sup> trocken (11 Vol.-% O <sub>2</sub> trocken) |
| Parameter                                   | Tagesmittelwert in mg/Nm <sup>3</sup> trocken (11 Vol.-% O <sub>2</sub> trocken)  |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
| Gesamtstaub                                 | 10  |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
| TOC   | 10  |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
| HCL   | 10  |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
| HF  | 1   |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
| SO <sub>x</sub>                             | 50  |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
| NO <sub>x</sub>                             | 200-400   |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
| CO  | 50  |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
| Hg / Summe aus Cd + Tl                      | 0,05 / 0,05   |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
| Summe aus Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V | 0,5   |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
| Dioxine und Furane                          | 0,1 ngl-TEQ/Nm <sup>3</sup> trocken (11 Vol.-% O <sub>2</sub> trocken)  |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
| ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gemäß den Vorgaben (siehe bspw. Tabelle 1) gereinigtes Abgas, das über den Kamin ohne zu erwartende Beeinträchtigung für Mensch und Umwelt abgegeben werden kann</li> <li>- Reststoffe, die gemäß ihrer Schadstofffracht zu entsorgen sind:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kesselasche und Filterstäube,</li> <li>- Reaktionsprodukte aus der Abscheidung saurer Abgasbestandteile,</li> <li>- schwermetallhaltige Schlämme (aus nassen Abgasreinigungsverfahren),</li> <li>- beladene Adsorbentien (z.B. Aktivkohle),</li> <li>- REA-Gips</li> </ul> </li> </ul>  |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |
| BESONDERE VORTEILE                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Abgasreinigung ermöglicht eine Abfallverbrennung auf umweltverträgliche 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.</li> </ul>   |           |  |             |    |     |    |     |    |    |   |                 |    |                 |         |    |    |                        |             |   |     |                    |  |

**SPEZIFISCHE NACHTEILE** - Die Abgasreinigung ist ein kosten- und nachsorgeintensiver Prozess.

**ANWENDUNGSDetails**

**TECHNISCHE UMSETZUNG** Abgasreinigungssysteme konzentrieren sich insbesondere auf die Verringerung von luftgetragenen Emissionen und Abscheidung folgender Schadstoffe aus dem Abgasstrom der Abfallverbrennung, so dass rechtsverbindliche Standards, wie bspw. in der EU, eingehalten werden können. Dazu sind die Abgasreinigungssysteme, wie in Abbildung 1 dargestellt, direkt mit der Feuerungsanlage verbunden.

Für die Abgasreinigung ergeben sich eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten der nachfolgend vorgestellten Einzelverfahren und Techniken, so dass eine an die brennstoff-, standort- und technologiespezifischen sowie wirtschaftlichen Faktoren angepasste Prozesskette für die Abgasreinigung zu wählen ist.

Abbildung 1: Beispielhaftes Verfahrensschema für eine Verbrennung mit angeschlossener Abgasreinigung

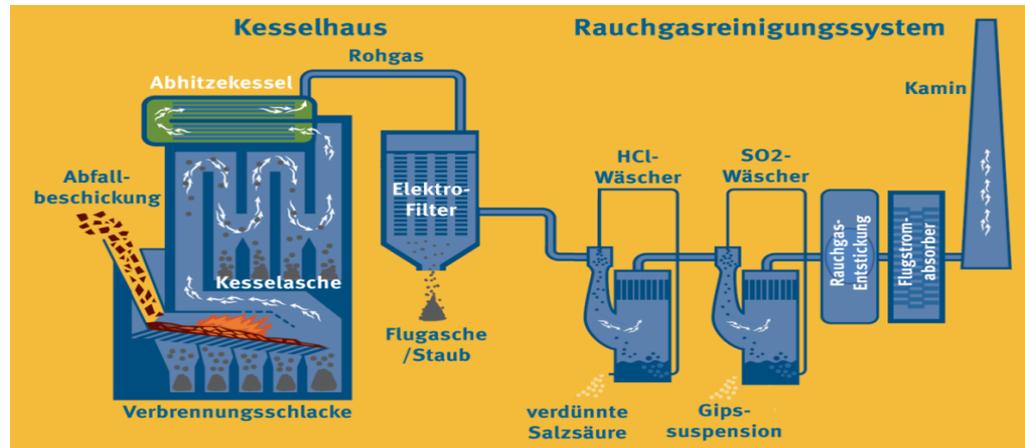


Tabelle 2: Schadstoffkonzentrationen im Rohgas bei der Verbrennung (Thomé-Kozmiensky, Löschau, 2014<sup>1</sup>)

| Schadstoff      | Rohgaskonzentration resultierend aus der Verbrennung von Haushaltsabfällen in modernen Anlagen [mg/Nm <sup>3</sup> trocken] |                   |
|-----------------|---|-------------------|
|                 | Schwankungsbreite   | Tagesmittelwert   |
| Staub           | 800–5.000   | 2.500             |
| HCl             | 200–2.500   | 1.500             |
| HF              | 2–100   | 15                |
| SO <sub>2</sub> | 200–1.000   | 600               |
| Schwermetalle   | 1–35  | 1–35              |
| NO              | Wirbelschichtverbrennung 180–250<br>Rostfeuerung < 450  | Rostfeuerung. 350 |
| Dioxine/Furane  | 1–3 ng TE   | 2 ng TE           |

Die Abscheidung der in Tabelle 2 gelisteten Schadstoffe erfolgt folgendermaßen:

a) Staub

Der Staub beinhaltet vorwiegend flüchtige Schwermetalle sowie große Mengen an organischen Verbindungen. Der Gehalt an Dioxinen/Furanen ist besonders hoch. Zur Abscheidung von Staub werden hauptsächlich Gewebefilter oder Elektrofilter eingesetzt. In Einzelfällen finden aber auch noch Massenkraftabscheider (Schwerkraftabscheider, Zyklone, Multizyklone) zur Vorabscheidung von Partikeln und Nassabscheider (Venturiwäscher) Anwendung. Eine Übersicht über die prinzipielle Charakteristik der Verfahren bietet die folgende Tabelle:

<sup>1</sup> Immissionsschutz, Band 4. TK Verlag Neuruppin, 2014

Tabelle 3: Charakteristika von verschiedenen Entstauberverfahren (Thomé-Kozmiensky, Löschau, 2014<sup>1</sup>)

| Staubabscheider                          | erreichbarer Gesamtabscheidegrad | erreichbarer Reingasstaubgehalt | abscheidbare Korngröße $x_p$ | Anwendung                     |
|--|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Einheit                                  | %                                | mg/Nm <sup>3</sup> tr.          | µm                           | -                             |
| Schwerkraftabscheider                    | <60                              | 1.000                           | >10                          | Vorentstaubung für Grobstäube |
| Fliehkraftabscheider: Zyklon/Multizyklon | 80/95                            | 300/150                         | >5/>5                        | Vorentstaubung für Grobstäube |
| Elektroabscheider trocken                | 80–99,9                          | 25                              | >1                           | Entstaubung                   |
| Elektroabscheider nass                   | 90–99,9                          | <5                              | >0,05                        | Feinstaub-/Aerosolabscheidung |
| Staubabscheider                          | erreichbarer Gesamtabscheidegrad | erreichbarer Reingasstaubgehalt | Abscheidbare Korngröße $x_p$ | Anwendung                     |
| Einheit                                  | %                                | mg/Nm <sup>3</sup> tr.          | µm                           |                               |
| Filternder Abscheider Gewebefilter       | >99,9                            | <2                              | >0,1                         | Entstaubung                   |
| Nassabscheider Venturiwäscher            | >99,9                            | <5                              | >0,05                        | Feinstaub-/Aerosolabscheidung |

b) Saure Schadgase HCl, SO<sub>2</sub>, HF

HCl, SO<sub>2</sub> und HF können aus dem Abgas mittels trockener, quasi trockener und nasser Verfahren entfernt werden, wobei die Reststoffe bei Nassverfahren in gelöster Form oder suspendierter Form (bspw. verdünnte Salzsäure, Gips suspension) und bei quasitrockenen und trockenen Verfahren in trockener Form anfallen (bspw. Natriumchlorid). Zu den quasitrockenen Verfahren werden die Sprühabsorption mit Kalkmilch (Kalkhydrat als Suspension) und das konditioniert-trockene Verfahren mit Kalkhydrat oder Natriumbikarbonat in Pulverform gezählt. Folgende Tabelle stellt verschiedene Parameter der Verfahren gegenüber.

Tabelle 4: Abgasreinigungskonzepte zur Minderung saurer Schadgase (Thomé-Kozmiensky, Löschau 2014<sup>1</sup>)

| Parameter                        | Nassverfahren  |  | Sprühabsorber                                      | konditioniert-trockene Verfahren                   | trockene Verfahren                              |   |
|----------------------------------|--|--|--|--|---|---|
|                                  | H <sub>2</sub> O<br>Ca(OH)<br>oder CaCO <sub>3</sub> | H <sub>2</sub> O<br>NaOH               |  |  | Ca(OH) <sub>2</sub>                             | Ca(OH) <sub>2</sub>                     |
| Sorptionsmittel                  | flüssig (Suspension)                                 | flüssig (Lösung)                       | flüssig (Suspension)                               | fest (Pulver)                                      | fest (Pulver)                                   |   |
| Aggregatzustand Sorptionsmittel  | Sättigungstemperatur (etwa 50–60 °C)                 |  | Kohle: ~70°C<br>Biomasse: ~100°C<br>Abfall: ~140°C | Kohle: ~70°C<br>Biomasse: ~100°C<br>Abfall: ~140°C | Kesselaustrittstemperatur                       |   |
| Abgaskonditionierung             | durch Sorptionsmitteleindüsung                       |  | durch Sorptionsmitteleindüsung                     | durch zusätzliche Wassereindüsung                  | keine   |   |
| Hauptreaktionsprodukte           | HCl<br>CaSO <sub>4</sub>                             | HCl<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | CaCl, CaSO <sub>4</sub> ,<br>CaSO <sub>3</sub>     | CaCl, CaSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>3</sub>        | CaCl,<br>CaSO <sub>4</sub><br>CaSO <sub>3</sub> | NaCl<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
| Aggregatzustand Reaktionsprodukt | flüssig (Suspension/ Lösung)                         |  | fest (Staub)                                       | fest (Staub)                                       | fest (Staub)                                    |   |

c) Stickoxide

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 Abgas:

- SNCR-Verfahren (Selective Non Catalytic Reduction) sowie
- SCR-Verfahren (Selective Catalytic Reduction)

Das SNCR-Verfahren erreicht als Gasphasenreaktion eine Eliminationsrate des NO<sub>x</sub> von 50-60% (in neueren Anlagen und unter optimalen Voraussetzungen bis zu 85%) durch das Einsprühen von Nitrogenverbindungen (besonders Harnstoff oder Ammoniak) mittels Düsen in den heißen Abgasstrom (850–1100°C, vorzugsweise 950°C). Zur Abscheidung von 1 kg Stickoxid wird dabei rund 1 kg Ammoniak benötigt.

Beim SCR-Verfahren (katalytische Reduktion) werden die Stickoxide unter Zugabe von Ammoniakwasser an einem Katalysator zu Stickstoff und Wasserdampf umgesetzt. Die Stickoxide werden katalytisch bei einer Temperatur von 180°C bis 450°C zerstört, wobei der optimale Temperaturbereich zwischen 350 °C und 400°C liegt. Die Eliminationsrate liegt bei über 90–92 %, wobei sich der Ammoniakbedarf zur Reduktion am Katalysator theoretisch auf 0,388 kg je reduziertem Kilogramm Stickoxid beläuft. Beim SNCR- wie auch beim SCR-Verfahren entstehen keine Rückstände, allerdings ist der sogenannte Ammoniakschlupf zu beachten und auf das gesetzlich (in Deutschland derzeit 17. BImSchV) festgelegte Maß zu begrenzen. Beide Verfahren sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 5: Charakterisierung der Prozesse für die Beseitigung von Stickoxiden

|  | SNCR  | SCR  |
|--|---|--|
| NO <sub>x</sub> Konzentration im Reingas | < 150 mg/m <sup>3</sup>   | < 80 mg/m <sup>3</sup>   |
| Vorteile                                 | preisgünstig<br>gute Reingaskonzentrationen<br>Einschränkung der De-Novo-Synthese von Dioxinen und Furanen  | sehr gute Reingaskonzentrationen<br>kann zur direkten Zerstörung von Dioxinen und Furanen genutzt werden   |
| Nachteile                                | bei Kesseln mit schwankender Temperaturverteilung kann das Temperaturfenster, in dem das Reduktionsmittel eingedüst werden muss, verpasst werden<br>liegen zu hohe NO <sub>x</sub> -Ausgangswerte im Rohgas vor, reicht SNCR-Anlage nicht aus, um geforderte Reingaswerte zu erzielen | hohe Kosten durch Instandhaltung des Katalysators<br>Wartung/Kontrolle notwendig durch Staubbelastung und damit verbunden Senken der Aktivität<br>anfällig gegenüber Abgasbestandteilen (z.B. Schwermetallen), welche den Katalysator „vergiften“ und damit in seiner Funktion beeinträchtigen |

d) Schwermetalle und Dioxine

Dioxine, Furane und Schwermetalle, welche durch den Wäscher gehen, können aus dem Abgas 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/Natriumbikarbonat und eine Mischung dessen mit dem Abgas) 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.

Tabelle 6: Adsorptionsprozesse für Schwermetalle und Dioxine bei der Abgasreinigung

|                           | Flugstromadsorption   | Festbettadsorption   |
|---------------------------|---|--|
| Konzentration im Reingas: |   |  |
| - Dioxin                  | << 0,1 ng TE  | << 0,1 ng TE   |
| - Schwermetalle           | < 0,1 mg  | < 0,1 mg   |
| Temperatur                | max. 150 °C   | max. 150 °C  |
| Vorteile                  | sehr gute Reingaskonzentration<br>vertretbare Kosten                      | sehr gute Reingaskonzentration<br>unempfindlich gegenüber Konzentrationsschwankungen |
| Nachteile                 | Gefahr des Durchbrechens (bei hoher Beladung)                             | Brandgefahr<br>teuer<br>hohe CO-Emissionen während des Anfahrens                     |
| Rückstände                | Aktivkohle oder -koks teilweise mit Kalk oder Natriumbikarbonat vermischt | Aktivkohle oder -koks  |

|   |  |
|---|--|
|   | 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.   |
| STOFFFLUSS UND -MENGEN                                  | Die möglichen Reduktionsraten der verschiedenen Schadstoffe im Abgas sind in Verbindung mit den verschiedenen einsetzbaren Techniken oben dargestellt.   |
| ANWENDUNGSBEREICH                                       | - Die Abgasreinigung muss entsprechend der gesetzlichen Vorschriften in allen Abfallverbrennungsanlagen unterschiedlicher Bauart integriert sein. (siehe Datenblätter zu verschiedenen Verbrennungsprozessen; " <u>Rostfeuerung</u> ", " <u>Wirbelschichtverbrennung</u> ", " <u>Industrielle Mitverbrennung</u> ")  |
| ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN | - Techniken zur Abgasreinigung können an jedes Verbrennungssystem (einschließlich der nicht Abfälle einsetzenden thermischen Anlagen) angebunden werden.   |
| ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ |  |
| ENERGIEBILANZ   | - wird bestimmt durch den jeweiligen Verbrennungsprozess und die daraus resultierenden Emissionen  |
| CO <sub>2</sub> -RELEVANZ                               |  |
| HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE                              | - Natriumbikarbonat, Kalkstein oder Kalkhydrat zur Absorption saurer Schädgase<br>- Kohle, Koks aus Braunkohle zur Absorption von Schwermetallen u. Dioxinen: <0,8 kg/Mg Abfallinput<br>- Harnstoff oder Ammoniakwasser (25%) zur Minderung von NO <sub>x</sub><br>- Wasser  |
| PERSONALBEDARF  | - Abgasreinigungssysteme erfordern keinen zusätzlichen Personalbedarf beim Betrieb von Verbrennungsanlagen, allerdings entsteht ein zusätzlicher Entsorgungsaufwand bei dem es zu Personaleinsatz kommt  |
| FLÄCHENBEDARF   | - Der zusätzliche Flächenbedarf für die Einrichtungen zur Wärmenutzung (Kessel) und Abgasreinigungssysteme ist im Vergleich zum eigentlichen Verbrennungssystem erheblich. Möglich Maßnahmen zur Nachrüstung der Abgasreinigung sollten bei der Bemessung der Flächen berücksichtigt werden.   |
| ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN            |  |
| INVESTITIONSKOSTEN                                      | <p>Trockene und quasitrockene Abgasreinigungsanlagen haben die niedrigsten Investitionskosten. Die nasse Abgasreinigung weist bei den Investitionskosten einen weiten Bereich auf. Allerdings ist eine relativ einfach aufgebaute nasse Abgasreinigungsanlage nur unwesentlich teurer als eine quasitrockene Rauchgasreinigung.</p> <p>Pro Anlage können die erforderlichen Investitionen (Basis Preisrecherche 2008) durchschnittlich betragen:</p> <p>(Annahme: Verbrennungsanlage mit einem Durchsatz von 200.000 Mg/a; <u>einfache</u> Abgasreinigung (trocken))</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Baukosten: 4.500.000 EUR</li> <li>- Ausrüstung: 13.000.000 EUR</li> <li>- Nebenkosten, Finanzierung: 3.500.000 EUR</li> </ul> <p>(Annahme: Verbrennungsanlage mit einem Durchsatz von 200.000 Mg/a; <u>komplexe</u> Abgasreinigung (nass))</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Baukosten: 7.500.000 EUR</li> <li>- Ausrüstung: 20.000.000 EUR</li> <li>- Nebenkosten, Finanzierung: 5.500.000 EUR</li> </ul> <p>Am Beispiel einer Trockensorption in verschiedenen Ausführungen belaufen sich die Investitionskosten auf ca. 8 Mio. EUR ((mit SNCR) – 12 Mio. EUR).</p> |

|  | <p>Investitionskosten für SCR und SNCR Verfahren können sich wie folgt gestalten :</p> <p>Tabelle 7: Investitionskosten für ein SCR und SNCR – Verfahren (Beckmann, 2011<sup>2</sup>)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>SNCR Verfahren</th> <th>NO<sub>x</sub>-Reingaskonzentration</th> <th>mg/Nm<sup>3</sup> tr.</th> <th>200</th> <th>150</th> <th>100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>Investitionskosten</td> <td>EUR</td> <td>265.000</td> <td>280.000</td> <td>525.000</td> </tr> <tr> <th>SCR Verfahren</th> <th>NO<sub>x</sub>-Reingaskonzentration</th> <th>mg/Nm<sup>3</sup> tr.</th> <th>150</th> <th>100</th> <th>50</th> </tr> <tr> <td></td> <td>Investitionskosten</td> <td>EUR</td> <td>2.280.000</td> <td>2.308.000</td> <td>2.365.000</td> </tr> </tbody> </table>  | SNCR Verfahren         | NO <sub>x</sub> -Reingaskonzentration | mg/Nm <sup>3</sup> tr.                           | 200        | 150       | 100        |  | Investitionskosten | EUR                         | 265.000  | 280.000                  | 525.000    | SCR Verfahren | NO <sub>x</sub> -Reingaskonzentration | mg/Nm <sup>3</sup> tr. | 150 | 100 | 50 |  | Investitionskosten | EUR | 2.280.000 | 2.308.000 | 2.365.000 |
|--|--|------------------------|---------------------------------------|--|------------|-----------|------------|--|--------------------|-----------------------------|----------|--------------------------|------------|---------------|---------------------------------------|------------------------|-----|-----|----|--|--------------------|-----|-----------|-----------|-----------|
| SNCR Verfahren   | NO <sub>x</sub> -Reingaskonzentration  | mg/Nm <sup>3</sup> tr. | 200                                   | 150  | 100        |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
|  | Investitionskosten   | EUR                    | 265.000                               | 280.000  | 525.000    |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| SCR Verfahren  | NO <sub>x</sub> -Reingaskonzentration  | mg/Nm <sup>3</sup> tr. | 150                                   | 100  | 50         |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
|  | Investitionskosten   | EUR                    | 2.280.000                             | 2.308.000  | 2.365.000  |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| BETRIEBSKOSTEN   | <p>- laufende Kosten sind abhängig von den Marktpreisen der eingesetzten Materialien. Folgende Tabelle präsentiert Orientierungswerte für Betriebsmittel, die in Abhängigkeit des Marktes Schwankungen unterlegen sind.</p> <p>Tabelle 8: Beispiele für spezifische Betriebsmittelkosten (Beckmann, 2011<sup>2</sup>)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>Preis</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Natriumbicarbonat (98 Ma.-% NaHCO<sub>3</sub>)</td> <td>230 EUR/Mg</td> </tr> <tr> <td>Aktivkoks</td> <td>420 EUR/Mg</td> </tr> <tr> <td>Ammoniakwasser (25 Ma.-% NH<sub>3</sub>)</td> <td>100 EUR/Mg</td> </tr> <tr> <td>Verdünnungswasser (Deionat)</td> <td>4 EUR/Mg</td> </tr> <tr> <td>Reststoff zur Entsorgung</td> <td>135 EUR/Mg</td> </tr> </tbody> </table> <p>- Reparatur- und Wartungskosten: für jedes Bauelement ca. 1 % der Anschaffungskosten; für Maschinen und Elektronik ca. 3–4 % der Anschaffungskosten</p> <p>- Am Beispiel einer Trockensorption in verschiedenen Ausführungen belaufen sich die Betriebskosten auf ca. 1,5–2,3 Mio. EUR pro Jahr</p> | Parameter              | Preis                                 | Natriumbicarbonat (98 Ma.-% NaHCO <sub>3</sub> ) | 230 EUR/Mg | Aktivkoks | 420 EUR/Mg | Ammoniakwasser (25 Ma.-% NH <sub>3</sub> ) | 100 EUR/Mg         | Verdünnungswasser (Deionat) | 4 EUR/Mg | Reststoff zur Entsorgung | 135 EUR/Mg |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| Parameter  | Preis  |                        |                                       |  |            |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| Natriumbicarbonat (98 Ma.-% NaHCO <sub>3</sub> )   | 230 EUR/Mg   |                        |                                       |  |            |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| Aktivkoks  | 420 EUR/Mg   |                        |                                       |  |            |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| Ammoniakwasser (25 Ma.-% NH <sub>3</sub> )   | 100 EUR/Mg   |                        |                                       |  |            |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| Verdünnungswasser (Deionat)  | 4 EUR/Mg   |                        |                                       |  |            |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| Reststoff zur Entsorgung   | 135 EUR/Mg   |                        |                                       |  |            |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN  | <p>- durch den Verkauf des bei der Abgasreinigung entstehenden Gipses und der Salzsäure (beides in gereinigter Form)</p>   |                        |                                       |  |            |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| MASSE-SPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN   | <p>- in den Gesamtkosten, welche für die Abfallverbrennungsprozesse dargestellt sind, enthalten (siehe Datenblätter für die verschiedenen Verbrennungsprozesse „<u>Industrielle Mitverbrennung</u>“, „<u>Rostfeuerung</u>“, „<u>Wirbelschichtverbrennung</u>“)</p>   |                        |                                       |  |            |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| <b>SONSTIGE DETAILS</b>  |  |                        |                                       |  |            |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| <b>MARKTÜBERSICHT</b>  |  |                        |                                       |  |            |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| REFERENZ-ANWENDUNGEN   | <p>- siehe Datenblätter für die verschiedenen Verbrennungsprozesse „<u>Industrielle Mitverbrennung</u>“, „<u>Rostfeuerung</u>“, „<u>Wirbelschichtverbrennung</u>“</p>  |                        |                                       |  |            |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER  | <p>Beispiele für Anbieter von entsprechenden Anlagenkomponenten und Komplettlösungen für die Abgasreinigung sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LAB GmbH, Stuttgart <a href="http://www.labgmbh.de">www.labgmbh.de</a></li> <li>- MARTIN GmbH für Umwelt- und Energietechnik, München <a href="http://www.martingmbh.de">www.martingmbh.de</a></li> <li>- ENVIROTHERM GmbH, Essen <a href="http://www.envirotherm.de">www.envirotherm.de</a></li> <li>- Hitachi Zosen Inova Kraftwerkstechnik GmbH, Landsberg <a href="http://www.hz-inova.com">www.hz-inova.com</a></li> <li>- Steinmüller-Babcock Environment GmbH, Gummersbach <a href="http://www.steinmueller-babcock.com">www.steinmueller-babcock.com</a></li> </ul>   |                        |                                       |  |            |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| <b>ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE</b>   |  |                        |                                       |  |            |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |
| <p>Weitere Informationen und Auflistungen von relevanten Anlagen sind erhältlich durch die:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ITAD – Interessengemeinschaft der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. <a href="http://www.itad.de">www.itad.de</a></li> <li>- CEWEP – Confederation of European Waste-to-Energy Plants <a href="http://www.cewep.com">www.cewep.com</a></li> </ul> |  |                        |                                       |  |            |           |            |  |                    |                             |          |                          |            |               |                                       |                        |     |     |    |  |                    |     |           |           |           |

<sup>2</sup> Beckmann: Beschreibung unterschiedlicher Techniken und deren Entwicklungspotentiale zur Minderung von Stickstoffoxiden im Abgas von Abfallverbrennungsanlagen, Umweltbundesamt 2011, <http://www.uba.de/uba-info-medien/4196.html>