

THERMISCHE ABFALLBEHANDLUNG – ROSTFEUERUNG^{*)}

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:

- Reduzierung von Volumen und Risikopotenzial des abzulagernden Abfalls durch Mineralisierung, Zerstörung organischer und Abscheidung eines Großteils anorganischer Schadstoffe
 - Energiegewinnung aus Abfällen
- *) Die Abgasreinigung als zu integrierender Prozessabschnitt wird separat beschrieben (siehe Datenblatt „Abgasreinigung“)

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton	X ¹	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	X ¹
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz	X ²	Bau- und Abbruchabfälle	X ¹
Altöl	X ³	Altfarben/-lacke	X	Altreifen	
Gefährliche Abfälle	X	teilweise, nur brennbare Fraktionen			
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	brennbare Stoffe			
Andere Abfallarten	X	brennbare Stoffe			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:

Der Abfall ist von groben Störstoffen (z.B. große Metallteile) zu befreien und darf keine radioaktiv strahlenden Bestandteile enthalten (Eingangsprüfung!), bei Sperrmüll ggf. Vorzerkleinerung

Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:

Verbrennungsrückstände/-schlacke kann nach einer weiteren Aufbereitung teils stofflich genutzt werden. Die Aufbereitung umfasst die Abtrennung von Metallen und Zerkleinerung/Homogenisierung, so dass das Material für Bauzwecke (z.B. Straßenbau) eingesetzt werden kann.

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:

Verbrennungsrückstände (Schlacken, Asche) sind für eine Ablagerung geeignet, bei der Abgasreinigung abgeschiedene Stoffe müssen jedoch wie gefährliche Abfälle gehandhabt werden und sind in besonderen Anlagen zu entsorgen, welche für die Stoffe geeignet und zugelassen sind. Bevorzugt wird die Verwertung in Versatzbergwerken oder die untertägige Ablagerung in Untertagedeponien (siehe Datenblatt „Deponie für gefährliche Abfälle“)

Nachsorgebedarf:

Die zur Entsorgung auf Deponien der erforderlichen Kategorie verbrachten Anteile vom Output-Material unterliegen dort den herkömmlichen Nachsorgeprozeduren

Besondere Schutzanforderungen:

Abgase aus der Verbrennung sind so zu behandeln und zu reinigen, dass keine erhöhten Gesundheitsrisiken oder nachteiligen Wirkungen auf Schutzgüter und die Umgebung entstehen und rechtliche Vorgaben eingehalten werden (siehe Datenblätter zu „Abgasreinigung“ und „Technologieorientierte Richtlinien der EU, insbesondere Richtlinie über Industrieemissionen“). Bei der Errichtung von Abfallverbrennungsanlagen ist insbesondere aus Lärmschutzgründen ein Mindestabstand zur nächsten Bebauung zu berücksichtigen.

¹ Stofflichen Verwertungswegen und dafür ggf. notwendigen (mechanischen) Vorbehandlungsschritten ist der Vorrang zu geben. Die Rostfeuerung sollte nur zur Behandlung der brennbaren Sortierreste dieser Abfälle angewandt werden

² Die Möglichkeit stofflicher Verwertungswege (Holzrecycling) ist vorab zu prüfen und insbesondere für unbehandelte, naturbelassene Altholzfraktionen zu bevorzugen. Spezielle Holzverbrennungsverfahren (Monoverbrennung) sind ebenfalls geeignet

³ nur in geringen Anteilen, Möglichkeiten der stofflichen Aufbereitung oder anderweitigen thermischen Verwertung (z.B. industrielle Mitverbrennung – siehe Datenblatt „Industrielle Mitverbrennung“) sind vorab zu prüfen und ggf. zu bevorzugen

<p>Potentielle Gesundheitsrisiken: Die Freisetzung unbehandelter Abgase stellt ein hohes Gesundheitsrisiko für die Anrainerbevölkerung dar, dem jedoch durch Nutzung moderner Reinigungstechnik und Schutzvorkehrungen effektiv begegnet werden kann. Mit Abgasreinigungstechnologien nach heutigem Stand der Technik ausgerüstete Verbrennungsanlagen gelten als unbedenklich in Bezug auf Gesundheitsrisiken (siehe Datenblatt "<u>Abgasreinigung</u>").</p>	
<p>EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:</p>	
<p>Infrastrukturelle Gegebenheiten Zum wirtschaftlichen Betrieb von Abfallverbrennungsanlagen bedarf es einer Mindestkapazität (ca. 50.000 t/a). Schwerpunkte des Abfallanfalls (d.h. insbesondere auch in oder in unmittelbarer Nähe von Großstädten) sind daher bevorzugte Standorte. Hier liegen zumeist auch die benötigten infrastrukturellen Voraussetzungen, wie eine gute logistische Anbindung an Straße, Schiene oder Wasserweg sowie Abnahmemöglichkeiten für produzierten Strom/Dampf vor. Das Entstehen eines zusätzlichen Verkehrsaufkommens ist zu berücksichtigen.</p> <p>Klimatische Gegebenheiten: keine besonderen Anforderungen oder Einschränkungen</p> <p>Geeignete Finanzierungsmechanismen: Die Finanzierung der Abfallverbrennung sollte durch Erhebung von Gebühren beim Abfallerzeuger erfolgen. Mittels einer Verbrennungssteuer lässt sich darauf hinwirken, dass nur die nicht verwert- und recycelbaren Abfälle der Abfallverbrennung zugeführt werden</p>	
<p>TECHNISCHE DETAILS</p>	
<p>ALLGEMEINER ÜBERBLICK</p>	
<p>KURZ-BESCHREIBUNG</p>	<p>Die Rostfeuerung ist eine der gebräuchlichsten Verbrennungstechniken, die in der hier charakterisierten Form auch zur Massenverbrennung fester gemischter Siedlungs- und Gewerbeabfälle eingesetzt wird und dabei vom Anwendungsumfang die bislang weltweit führende Technik darstellt. Sie beinhaltet die Möglichkeit zur Energieerzeugung aus Abfällen (insbesondere auch Kraft-Wärme-Kopplung). Im Gegensatz zu anderen Verbrennungstechniken wird hier der Abfall auf einen Rost in der Verbrennungskammer aufgegeben.</p>
<p>GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Qualitätsanforderungen an den Input: <li style="padding-left: 20px;">- Heizwert: - > 6MJ/kg bis über 12 MJ/kg bei luftgekühlten Roststäben <li style="padding-left: 20px;">- 6MJ/kg bis zu 25 MJ/kg bei wassergekühlten Roststäben <li style="padding-left: 20px;">- Korngröße: < 300 mm in Ausnahmen bis 1000 mm - Einbindung einer Abgasreinigung (siehe Datenblatt „<u>Abgasreinigung</u>“) - vorzugsweise sollte bestehen: <ul style="list-style-type: none"> - Möglichkeit der Abgabe überschüssiger Wärme (Dampf oder Warmwasser) sowie über diesen Weg erzeugte Fernkälte an externe Abnehmer - alternativ oder ergänzend: Anschluss zur Stromeinspeisung in ein öffentliches Netz
<p>ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE</p>	<p>Output:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schlacke - Kesselasche - Abgas <p>Qualitätsanforderungen an Output :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schlacke: C < 3 Masse-%, in modernen Systemen liegt der Glühverlust bzw. TOC bei kleiner 0,5 Masse-%
<p>BESONDERE VORTEILE</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Senkung des Schadstoff- und Reaktionspotenzials und größtmögliche Volumenreduzierung des abzulagernden Abfalls durch verlässliche und erprobte Technik (Entsorgungssicherheit) - Möglichkeit der Nutzung des Energiegehalts von Abfällen zur Erzeugung von Strom und Wärme/Kälte - Rückgewinnung von Fe- und NE-Metallen aus der Aufbereitung von Aschen und Schlacken - Behandlung schadstoffhaltiger Fraktionen zur Entfrachtung von Verwertungskreisläufen
<p>SPEZIFISCHE NACHTEILE</p>	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Investitionskosten (insbes. zur Gewährleistung der Schutzanforderungen) - stellenweise sind Akzeptanzprobleme bei Anrainern vorhanden und zu überwinden

ANWENDUNGSDETAILS

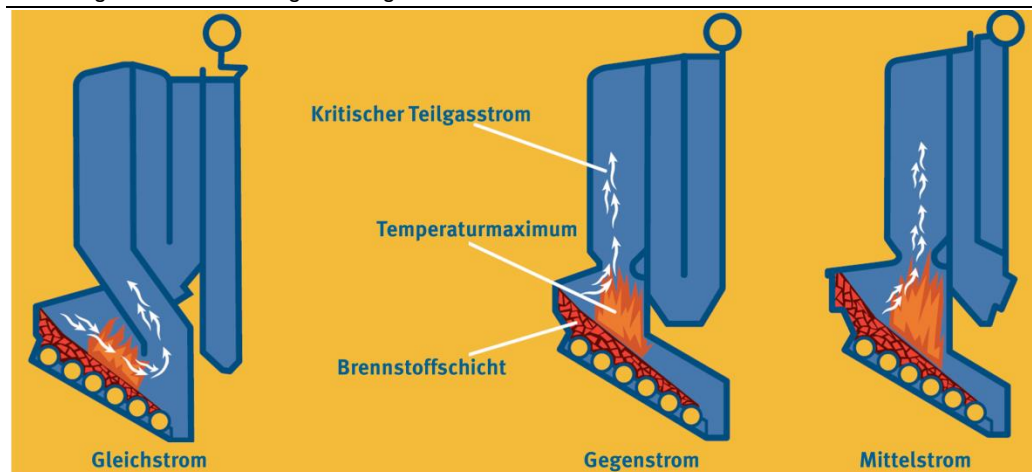
TECHNISCHE
UMSETZUNG

Die Beschickung des Rostes mit dem zu verbrennenden Abfall sowie die Verbrennung erfolgt bei der Rostfeuerung kontinuierlich rund um die Uhr während der Abfall nur diskontinuierlich (meist zu Tagzeiten) an der Anlage angeliefert wird. Deshalb ist vor die Rostfeuerung immer ein Tiefbunker geschaltet. Dies gewährleistet neben dem Vorhalten eines ständig verfügbaren Vorrates auch eine Abfallvermischung mit dem Ergebnis der Homogenisierung (Einstellung auf einen annähernd stabilen Heizwertbereich) vor der Verbrennung.

Effektiv erfolgt die Verbrennung mittels Rostfeuerung bei Temperaturen zwischen 850–950°C. Am Ende des sich langsam bewegenden Rostes fallen die Verbrennungsrückstände in den mit Wasser gefüllten Schlackeabzug. Das beim Verbrennungsprozess entstehende Abgas wird der Nachbrennzone zugeführt, wo es bei Temperaturen um 850°C ausbrennt. Im anschließenden Dampfkessel wird das Abgas auf 200–400°C gekühlt. Dabei wird meist überhitzter Dampf (max. 40 bar, 400°C) erzeugt. Der Dampf kann zur Erzeugung von elektrischem Strom, Prozessdampf oder von Heißwasser für Fernwärmezwecke genutzt werden.

Derzeit sind verschiedene Systeme der Rostfeuerung am Markt etabliert. Die Unterschiede bestehen in der Führung des Verbrennungsgases und dem Transport des Abfalls auf dem Rost. Es existieren drei prinzipielle Arten der Abgasführung.

Abbildung 1: Varianten der Abgasführung



Für die Varianten Gleichstrom, Gegenstrom und Mittelstrom zeigt die Abbildung das Verhältnis der Haupttransportrichtungen von Abfall und Abgas.

- Gleichstromsysteme sind vorteilhaft bei Abfällen mit hohen Heizwerten ($> 9 \text{ MJ/kg}$). Das unvollständig verbrannte Abgas wird zum Passieren der Zone mit den höchsten Temperaturen gezwungen, so dass ein verbesserter Ausbrand von Abgas und Schlacke erfolgt. Somit kann eine Nachbrennkammer in einer separaten technischen Ausführung überflüssig sein.
- Gegenstromsysteme sind eher vorteilhaft bei Abfällen mit geringen Heizwerten. Trocknung und Feuerung des Abfalls werden gestützt durch die hohe Abgastemperatur. Als mögliches Risiko ist eine schlechte Durchmischung des Abgases zu nennen, so dass sich eine Nachverbrennung absolut notwendig macht.
- Mittelstromsysteme sind ein geeigneter Kompromiss wenn Abfälle mit einem großen Heizwertspektrum zu behandeln sind-

Die Rostsysteme transportieren den Abfall so, dass eine gute Durchmischung und das Durchlaufen verschiedener Temperaturzonen gewährleistet werden. Es existieren drei zu unterscheidende Systeme:

- Bei den Vorschubrosten transportieren die Roststäbe den Abfall. Eine schräge Rostfläche ist nicht erforderlich, wengleich es von einigen Herstellern angeboten wird. Mittels Beschleunigung der Rostbewegung kann die Transportgeschwindigkeit erhöht werden. Auf diesem Weg wird eine Kontrolle der Verweilzeit im Ofen ermöglicht und Anpassungen an Schwankungen bei der Aufgabe des Abfalls auf dem Rost sind möglich. Der Vorschubrost ist gegenwärtig das bedeutendste Rostsystem in neuen Anlagen.

	<ul style="list-style-type: none"> - Bei <u>Rückschubrosten</u> erfolgt der Transport des Abfalls mit Hilfe der Schwerkraft. Eine geneigte Oberfläche ist notwendig, weil der Abfall und der Rost sich in entgegengesetzte Richtungen bewegen. Rückschubrostböden sind beispielsweise für eher feuchte Abfälle geeignet. Bei beiden Rostarten können wassergekühlte Roststäbe eingesetzt werden. - Bei <u>Walzenrosten</u> sorgt eine Kombination aus Gravitation aufgrund geneigter Rostoberfläche und Walzenbewegung für den Transport des Abfalls. Die Walzenbewegung transportiert den Abfall abwärts. Eine schnellere Rotation der Walzen führt zu einem schnelleren Transport, aber nicht zu einer besseren Durchmischung.
<p>STOFFFLUSS UND -MENGEN</p>	<p>Input:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Siedlungsabfälle - Wasser (Dampfgenerator, Kühlung), der Frischwasserbedarf liegt im Minimum bei 1 m³/h je Mg/h Durchsatz. <p>Output:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 200–350 kg Schlacke/Mg Input - 25–40 kg Aschen/Stäube aus Kessel und Abgasreinigung pro Mg Input (Quelle VDI 3460) - 4.500–6.000 m³ Abgas/Mg Input - Wasser (vom Dampfgenerator)
<p>ANWENDUNGSBEREICH</p>	<p>Für den wirtschaftlichen Betrieb liegt die erforderliche Kapazität bei einem Minimum von 50.000 Mg/a = 6,5 Mg/h Durchsatz, maximale Auslegungen kommen auf etwa 225.000 Mg/a = 30 Mg/h Durchsatz pro Linie wobei es keine Limitierung für die Anzahl der Linien gibt. Die größten Anlagen haben derzeit Gesamtkapazitäten von 800.000 bis 1.000.000 Mg/a aufzuweisen.</p> <p>Neue wassergekühlte Rostsysteme erlauben inzwischen die Verbrennung von hochkalorischen Abfallgemischen bis etwa 16 MJ/kg. Früher wurde der Heizwert in der Regel unter ca. 12 MJ/kg gehalten, da ansonsten die Wärmebelastung der luftgekühlten Rostsysteme zu hoch ging und eine Beschädigung bzw. eine starke Verkürzung der Lebensdauer des Rostes die Folge sein konnte.</p>
<p>ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN</p>	<p>Der Rostfeuerung können prinzipiell alle Maßnahmen und Prozesse einer Abfallbehandlung vorgeschaltet werden, sie erfüllt dann die Aufgabe alle brennbaren Stoffe die nicht mehr anderweitig genutzt oder behandelt werden können energetisch zu nutzen und zu mineralisieren. Von Vorteil sind zudem Synergien mit nahegelegenen Verfahren/Industrien, welche eine hohen Bedarf an thermischer Energie haben und diese von den Verbrennungsanlagen abnehmen oder die Erbringbarkeit einer Grundlastversorgung von Fernwärme(kälte)-Netzen.</p> <p>In jedem Fall muss das Verfahren mit einer Abgasreinigung kombiniert werden, da das bei der Verbrennung entstehende Abgas gesundheitsgefährdende Stoffe in großem Ausmaß enthält (siehe Datenblatt „<u>Abgasreinigung</u>“).</p>
<p>ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ</p>	
<p>ENERGIEBILANZ</p>	<p>Energiebilanz anhand eines Beispiels (Stand 2010, nach <u>Alwast, Riemann</u>⁴)</p> <p>Input:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Siedlungsabfall 100 % - Hilfsenergie, z.B. Erdgas < 3 % des Inputs an Siedlungsabfall <p>Output:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abgas und Feuerungsverluste: 18% - Dampf: 82%, davon <ul style="list-style-type: none"> - 1,6% Eigenbedarf an Dampf - bis zu 29% Elektrizität, davon

⁴ Verbesserung der umweltrelevanten Qualitäten von Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen, Texte 50/2010, Umweltbundesamt (Hrsg.), <http://www.uba.de/uba-info-medien/4025.html>.

	<p>→81% Stromabgabe →19% Eigenbedarf - bis zu 69% Abwärme</p> <p>Eine kombinierte Erzeugung und Bereitstellung von elektrischer und thermischer Energie ist anstrengenswert. Die Regel hierbei ist jedoch, dass eine Erhöhung der Dampfabgabe für die Wärmenutzung jeweils eine Verringerung des Erzeugungspotenzials an elektrischer Energie nach sich zieht. Typische Kombinationen durchschnittlicher Anlagen sind z.B.: 5 % elektrischer Strom plus 35 % Wärmeabgabe oder 10 % elektrischer Strom plus 20 % Wärmeabgabe. Standortbezogen lassen sich mit modernen Anlagen deutlich bessere Werte erbringen.</p>
CO ₂ -RELEVANZ	- der Anteil regenerativer Bestandteile im Abfall (in Europe durchschnittlich 50 %) ermöglicht im Vergleich zur Energieerzeugung aus fossilen Brennstoffen eine positive CO ₂ -Bilanz
HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE	- Heizöl oder Erdgas für das An- und Abfahren der Anlage sowie für die Stützfeuerung bei absinkender Temperatur in der Nachverbrennung - Für die Abgasreinigung: Adsorbentien und weitere Reagenzien (u.a. Kalk und Harnstoff, Details und Mengen siehe Datenblatt " <u>Abgasreinigung</u> ")
PERSONALBEDARF	- Für den 24h/7Tage-Betrieb mind. 15 ausgebildete Personen je Linie und Tag, einschließlich wenigstens 1 Ingenieur und 2 Vorarbeiter, zusätzlich Personal für Verwaltung und Eingangskontrolle, Linienzahl beeinflusst Personalbedarf weniger als installierte Abgasreinigungstechnik - insbes. für das technische Leitungspersonal wird speziell qualifiziertes Personal benötigt
FLÄCHENBEDARF	Der minimal erforderlich Flächenbedarf liegt in einem Bereich von ca.: - 10.000 m ² bei einem Durchsatz von 50.000 Mg/a bzw. - 30.000 m ² bei einem Durchsatz von 200.000 Mg/a
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONSKOSTEN	- schwanken stark in Abhängigkeit der angewandten Prozesstechnik und können bei einem Anlagenneubau zwischen ca. EUR 50 Mio. und EUR 200 Mio. (und darüber) liegen. Im Mittel betragen in Deutschland die spezifischen Investitionskosten von 10 Vergleichsanlagen mit Neuerrichtungsdatum ab 2005 ca. 350 EUR/Mg Durchsatz pro Jahr bis ca. 600 EUR/Mg Durchsatz pro Jahr (inklusive Abgasreinigung). Weitere Vergleichswerte liefern die unten angeführten Referenzdokumente.
BETRIEBSKOSTEN	- schwanken teils erheblich und lagen in Deutschland im Jahr 2010 zwischen 34 EUR/Mg und 102 EUR/Mg im Vergleich von 6 Verbrennungsanlagen - Reparatur und Wartung: - für jedes Bauteil ca. 1 % der Investitionskosten/a - Maschinen und Elektrotechnik ca. 3–4 % der Investitionskosten/a - Personalkosten: abhängig vom lokalen Arbeitsmarkt Weitere Vergleichswerte liefern die unten angeführten Referenzdokumente.
MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN	- durch die Einspeisung von elektrischem Strom und Dampf/Warmwasser
MASSE-SPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	- orientierend im Bereich von 80–150 EUR/Mg (inklusive Abgasreinigung) - große Anlagenkapazitäten, eine einfache Abgasreinigung und gute Erlössituation für abgegebenen Strom/Dampf verbessern i.d.R. die Kostensituation

SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN	<p>Die Verbrennung fester Siedlungsabfälle unter Nutzung von Rostfeuerungstechniken hat eine weltweite Verbreitung. Deutschland nutzt allein annähernd 100 Anlagen (Stand 2016) die Abfallstoffe mithilfe dieser Feuerungstechnik verbrennen. Ausgewählte Beispiele sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Magdeburg Rothensee (650.000 Mg/a, 4 Linien) www.mhkw-rothensee.de - Hamburg Borsigstraße (320.000 Mg/a; 2 Linien) www.mvr-hh.de - TREA Breisgau (175,000 Mg/a, 1 Linie) www.eew-energyfromwaste.com <p>In großem Maßstab werden Anlagen mit dieser Technik auch genutzt in:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Frankreich, Schweiz, Niederlande, Österreich, Italien, China, Japan und Skandinavien.
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER <i>(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)</i>	<p>Hersteller für Anlagen und Anlagenkomponenten von Anlagenteilen oder Komplettanlagen mit Rostfeuerungstechnik sind zum Beispiel:</p> <ul style="list-style-type: none"> - MARTIN GmbH für Umwelt- und Energietechnik, München www.martingmbh.de - Steinmüller - Babcock Environment GmbH, Gummersbach www.steinmueller-babcock.com - Oschatz GmbH www.oschatz.com - Hitachi Zosen Inova Kraftwerkstechnik GmbH, Landsberg www.hz-inova.com
ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE	
<p>Wesentliche Referenzdokumente sind z.B. verfügbar in Form der: <u>VDI 3460 und BVT-Merkblatt über beste verfügbare Techniken der Abfallverbrennung/Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration</u></p> <p>Weitere Informationen und Auflistungen von relevanten Anlagen sind erhältlich durch die:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ITAD – Interessengemeinschaft der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. www.itad.de - CEWEP – Confederation of European Waste-to-Energy Plants www.cewep.com 	