

Warum Hochtemperatur-Verbrennung von Deponiegasen?

Mit zunehmendem Wissensstand der letzten Jahre und verschärften Umweltgesetzen hat sich die Deponietechnik intensiv mit der Frage der problematischen Spurenstoffe im Deponiegas beschäftigt.

Beim Deponiegas steht die Belastung durch Schwefel, Chlor, Fluor, halogenierte Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle im Vordergrund, aber auch andere Spurenstoffe wie z.B. flüchtige organische Kohlenwasserstoffe stellen Umweltbelastungsfaktoren dar.

Die Hochtemperatur-Verbrennung ist prädestiniert, diese gefährlichen Risikofaktoren auf einwandfreie Weise sicher zu eliminieren.

Das "saubere" Deponiegas

In der Hausmüll-Deponie entwickeln Methan-Bakterien unter anaerobem Klima ein Gas, das sich schlussendlich aus den Hauptkomponenten Methan, Kohlendioxid und Wasserdampf zusammensetzt.

Ohne Entgasungsanlage würde dieses Gas an die Oberfläche dringen und sich mit der Luft vermischen oder sich in Hohlräumen wie Schächten und Senkungen ansammeln.

Mit Entgasungsanlage wird dieses Gas abgesaugt. Der Unterdruck im Deponiekörper lässt Umgebungsluft eindringen, weshalb das Deponiegas unterschiedliche Zusammensetzungen aufweist.

Typische Deponiegas-Zusammensetzung		I Vol.%	II Vol.%	III Vol.%
Methan	CH ₄	65	50..45	25
Kohlendioxid	CO ₂	35	45..35	20
Stickstoff	N ₂	-	4...16	45
Sauerstoff	O ₂	-	1...4	10
Wasserdampf (Feuchtigkeit)	H ₂ O	100 %	100 %	100 %

- I = natürliche Gasausströmung aus der Deponieoberfläche
- II = bei guter Zwangsentgasung und guter Deponie-Oberflächenabdichtung
- III = bei Übersaugung und ungenügender Deponie-Oberflächenabdeckung

Die Verbrennung dieser Deponiegas-Hauptkomponenten würde keine Probleme bereiten; auch bei Normaltemperatur-Verbrennung wären alle Abgasgrenzwerte gewährleistet.

Das wirkliche Deponiegas

In der zivilisatorischen Müllhalde finden sich neben den biologisch abbaubaren auch ganz andere Abfälle: Treibgase, Lösungs- und Kältemittel, bedruckte Plastikpackungen, Metalltuben, Batterien und was alles noch der "moderne" Haushalt entsorgt.

Eine durch umfangreiche Messreihen erhärtete Charakteristik weist die folgenden Spurenstoffe auf:

Typische Spurenstoffe in Deponiegasen			Durchschnitts-Werte	
			I mg/m ³	II mg/m ³
Schwefelverbindungen u.a. Mercaptane	* **	Σ S	200	150
Chlorverbindungen		Σ Cl	100	50
Fluorverbindungen		Σ F	20	10
halogenierte Kohlenwasserstoffe		HKW	50	25
aromat. halogenierte KW	***	AHKW	5...100	5...50
Schwermetalle: - Cadmium - Quecksilber - andere	****	Cd Hg Σ Met.	0..1 0..1 0..5	0..0,5 0..0,5 0..3

I = natürliche Gasausströmung aus der Deponieoberfläche

II = bei guter Zwangsentgasung und guter Deponie-Oberflächenabdichtung

* bei Ablagerungen gipshaltiger Abfälle kann die Schwefel-Konzentration um ein Mehrfaches höher liegen

** wichtigste Geruchskomponente im Deponiegas

*** im Deponiegas nachgewiesene Aromaten sind Benzol, Toluol, Xylol und andere

**** stark abhängig vom abgelagerten Müll sind die Konzentrationen der Schwermetalle Cadmium, Quecksilber, Blei, Zink usw.

Die folgende Tabelle zeigt einige der üblicherweise in Deponien nachgewiesenen organischen Stoffe (KW und AHKW):

Komponente	Formel	Gruppe	MAK mg/m ³	Typ.Konz. mg/m ³	Spitzen mg/m ³
Chlorfluormethan	CH ₂ ClF	A2		10	
Chlordifluormethan(R22)	CHClF ₂		1'800	5	
Dichlorfluormethan(R21)	CHCl ₂ F		45	5	
Dichlordifluormethan(R12)	CHCl ₂ F ₂		5'000	50	50
Trichlorfluormethan(R11)	CHCl ₃ F		5'600	10	
Trichlortrifluorethan(R113)	C ₂ Cl ₃ F ₃		3'800	2	
Chlorethen (VC)	C ₂ H ₃ Cl	A1		10	200
Dichlormethan	CH ₂ Cl ₂	B	360	20	1'000
1,1-Dichlorethen	C ₂ H ₂ Cl ₂	B	8		2
1,2-cis-Dichlorethen	C ₂ H ₂ Cl ₂		790	30	700
1,1,1-Trichlorethen	C ₂ H ₃ Cl ₃		1'080	2	400
Trichlorethen(Tri)	C ₂ HCl ₃		270	10	190
Tetrachlorethen(Per)	C ₂ Cl ₄	B	345	10	180
Benzol	C ₆ H ₆	A1		5	500
Toluol	C ₇ H ₈		380	100	1'700
Xylole	C ₈ H ₁₀		440	50	
Kohlenwasserstoffe	C _n H _{2n+2}			300	
Acetaldehyd	CH ₂ CHO	B	90	20	
Formaldehyd	CH ₂ O	B	0,6		
Schwefelwasserstoff	H ₂ S		15	100	20'000
Summe organischer Stoffe	-	-	-	500	20'000
Mercaptane	RSH		1	2	200

Einstufung Gruppe A1: krebsauslösend bei Menschen
 Gruppe A2: krebsauslösend im Tierversuch
 Gruppe B: begründeter Verdacht auf krebsauslösendes Potential

Die Verbrennung in Fackelbrennern mit offener Flamme und Temperaturen um 800 °C zerstört die HKWs und AHKWs nicht mit Sicherheit. Das Abgas wird toxisch.

Umweltschutz-Vorschriften

In den westlichen Industrienationen sind die Gefahren dieser Prozesse erkannt worden. Durch Behörden und spezialisierte Institute wurden verbindliche Grenzwerte für eine sachgerechte Verbrennung vorgegeben:

TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (Deutschland)
HMfUR	Hessisches Ministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit
LRV	Luftreinhalteverordnung der Schweiz

Stoffe im Abgas	angegeben als:	Grenzwerte		
		TA-Luft 1986 (1996) mg/m ³	HmfUR 1989 mg/m ³	LRV 1992 mg/m ³
Staub	-	5 (10)	5	20
Kohlenmonoxid	CO	100 (100)	100	60
Stickoxide (NO + NO₂)	NO_x	500 (200)	200	80
Schwefeldioxid	SO₂	500 (50)	500	50
Anorganische: - Chlorverbindungen	HCl	30 (10)	30	20
- Fluorverbindungen	HF	5 (1)	5	2
unverbrannte organische Kohlenstoffe	C org.	20 (10)	20	20
Metalle: - Cadmium und seine Verbindungen	Cd	-- (0,05)	--	0,1
- Quecksilber und seine Verbindungen	Hg	-- (0,05)	--	0,1
- andere insgesamt	Σ Met.	-- (0,5)	--	1
Dioxine/Furane, TE	PAH's	-- ng/m ³ (0,1) *	ng/m ³ 0,1 *	ng/m ³ --

Die Grenzwerte beziehen sich auf einen Restsauerstoffgehalt O_{2-Rest} von 3 Vol.% in trockenem Abgas, gültig für Brenneranlagen.

Für die Verwertung in Gasmotoren und -turbinen sind andere, höhere Grenzwerte zu berücksichtigen.

*) Der Grenzwert für Dioxine/Furane für die Verbrennung von Deponiegas lehnt sich an die Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnlich brennbare Stoffe 17. BImSchV (Bundesimmissionsschutz-Verordnung). Der Grenzwert des Summenäquivalentwertes TE ist 0,1 ng/m³ Abgas bei 11 Vol.% O_{2-Rest} resp. 0,18 ng/m³

bei 3 Vol. % O_{2-Rest}

NB 0,1 ng/m³ = 10⁻¹⁰ g/m³ = 0,0000000001 g/m³ !

Die Tabelle widerspiegelt die Entwicklungsrichtung der Grenzwert-Setzungen: die neusten Vorgaben (TA-Luft 1996 und LRV 92) sind die am schärfsten bemessenen und setzen zu praktisch allen im Abgas vorkommenden Stoffe eine Norm!

Die heute praktizierte Hochtemperatur-Verbrennung orientiert sich deshalb mit Vorteil an den strengsten Vorschriften. Die Grenzwerte sollen mit Sicherheit eingehalten werden können.

Die Definition des Hochtemperatur-Verfahrens für Deponiegase

Die Hochtemperatur-Verbrennung zeichnet sich dadurch aus, dass sie hochmolekulare Verbindungen - darunter fallen die polyzyklischen Aromaten und andere komplexe KW-Verbindungen - "zerstört".

Ausschlaggebend für diesen Prozess sind sowohl Höhe und Verteilung der Temperatur als auch die Wirkungsdauer dieser Temperatur.

Hochtemperatur-Verbrennung kann, auf Deponiegas bezogen, definiert werden als

**Verbrennung bei mindestens 1000 °C,
mindestens 0,3 Sekunden Verweilzeit,
keine "kalten" Zonen im Brennraum**

Mit diesen Bedingungen wird sichergestellt, dass die Grenzwerte im Abgas eingehalten oder unterschritten werden.

Anforderungen an Fackelbrenner- und Brenneranlagen

Um unter allen Betriebsbedingungen die sichere Einhaltung der Grenzwerte zu gewährleisten, wurden die physikalischen Anforderungen wie folgt definiert:

- Erzeugung und Haltung einer konstanten Brennraumtemperatur $> T_{Br} - 1000 \text{ °C}$
- genügend Verweilzeit t_{verw} bei der definierten Verweilzeittemperatur;
in der Regel ist $t_{verw} > 0,3 \text{ s}$
- vollständiger Ausbrand

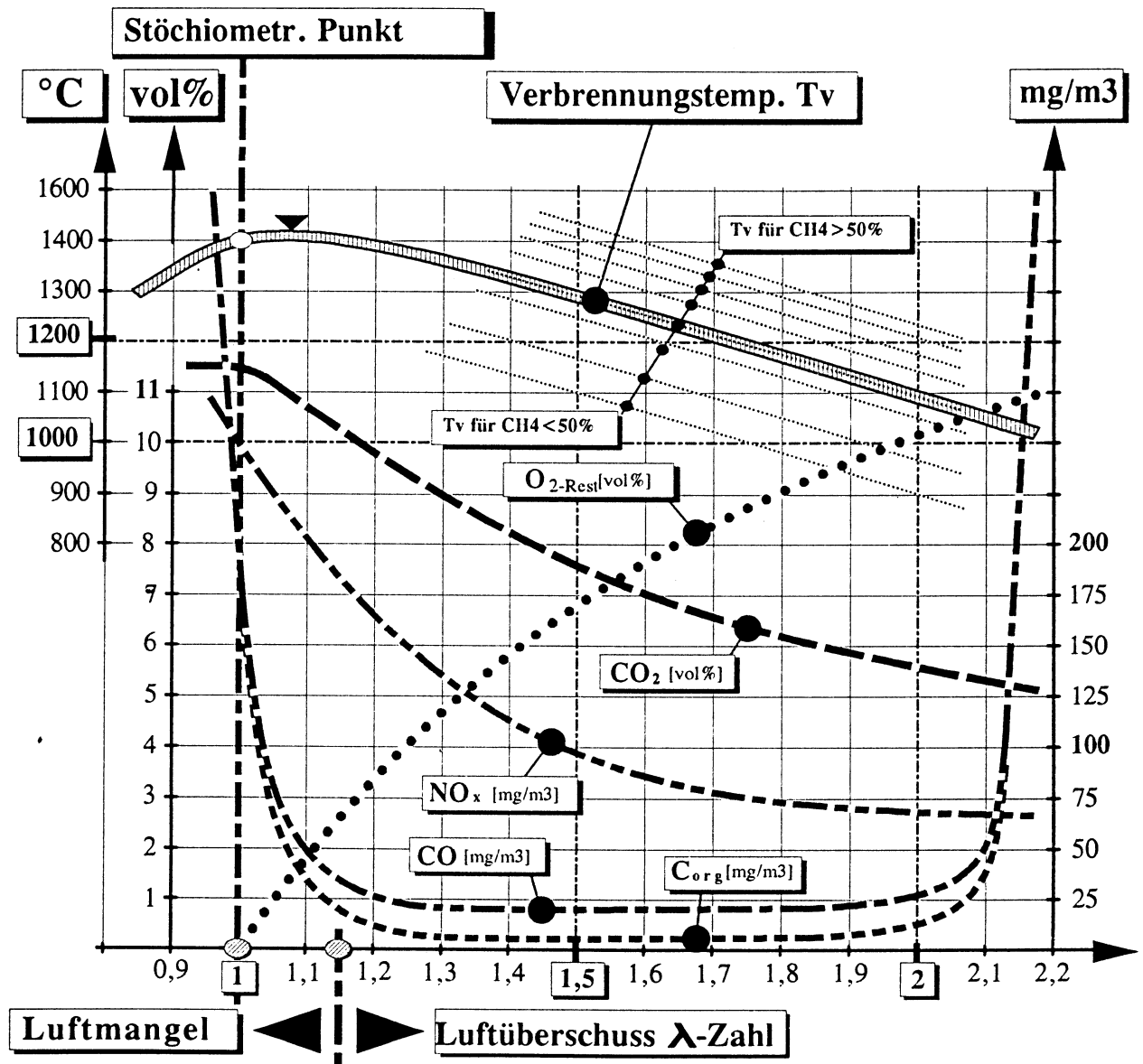
Daher gelten für uns die konstruktiven und thermodynamischen Anweisungen:

- annähernd adiabatische Verbrennung; dazu ist der Brennraum mit einer extrem wärme-durchgangshemmenden Innenisolation versehen
- Verbrennung im optimalen Luftüberschussbereich
- optimale Vermischung von Deponiegas und Verbrennungsluft
- homogene Temperaturverteilung im Brennraum, Vermeidung von Kaltzonen im Verbrennungsvorgang, wenig Temperaturabfall zur Aussenwand hin
- Innenverbrennung: das Flammenende muss auch bei Vollastbetrieb unterhalb der Brennraumoberkante liegen, damit eine genügend grosse Ausbrandzone verbleibt
- rasch reagierende automatische Regelung des optimalen Gas-/Luftgemisches, um konstante Verhältnisse bei Volumenstrom- und Heizwertschwankungen zu halten

Unter diesen Voraussetzungen lässt sich die folgend dargestellte Verbrennungscharakteristik erreichen.

Verbrennungscharakteristik nach Luftüberschuss und Verbrennungstemperatur

Im nachfolgenden Diagramm sind die Zusammenhänge zwischen Luftüberschusszahl Lambda, Prozesstemperatur und Verbrennungsprodukte bei der Verbrennung von Deponiegas dargestellt:



Lambda	= Luftüberschusszahl	NO_x	= Stickoxide ($NO + NO_2$) im Abgas
T_v	= Verbrennungstemperatur	CO	= Kohlenmonoxid im Abgas
O_2 -Rest	= Restsauerstoffgehalt im Abgas	C_{org}	= unverbrannter organischer Kohlenwasserstoff
CO_2	= Kohlendioxid im Abgas		

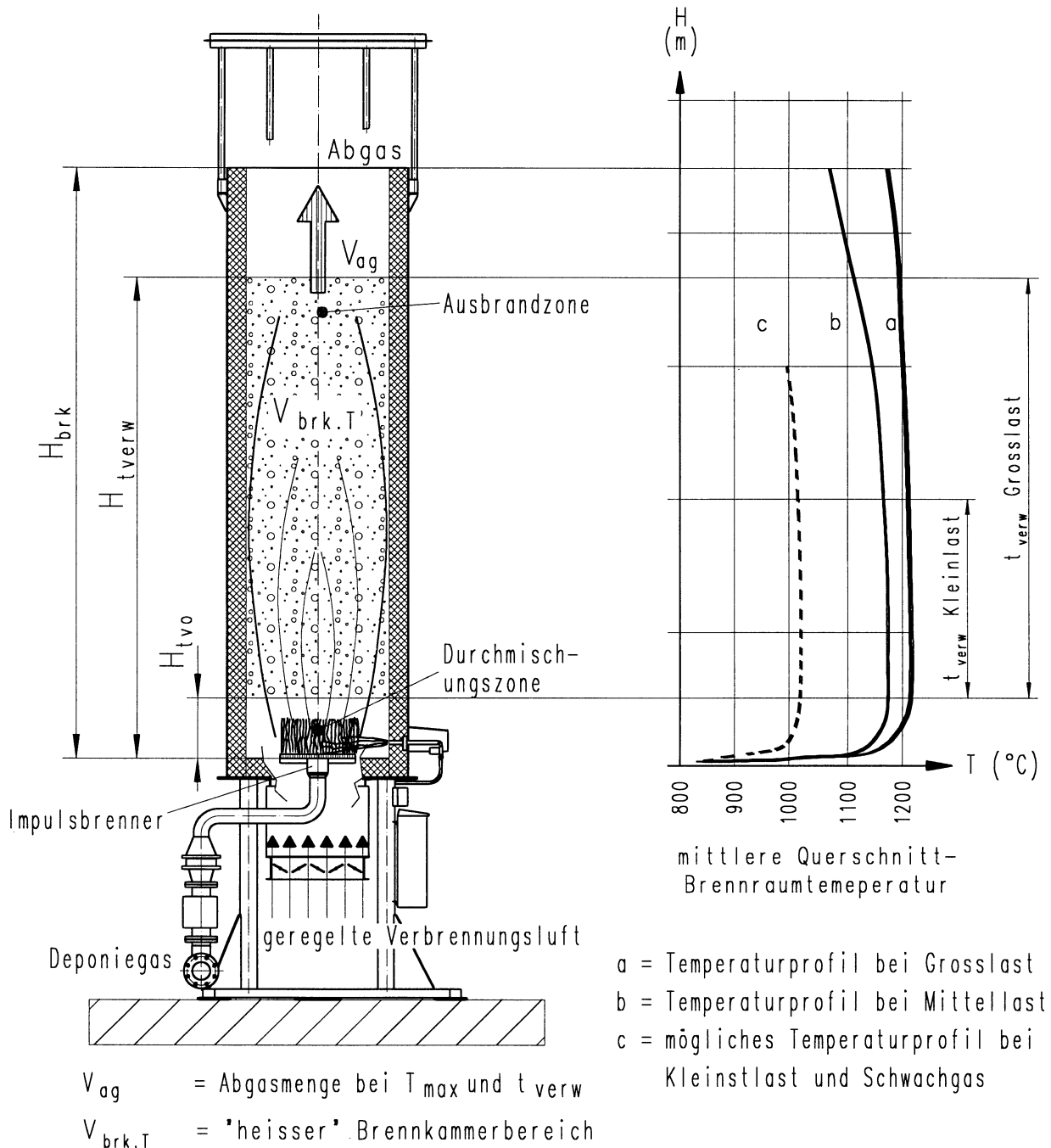
Daraus ist zu erkennen, dass der geringste Schadstoffausstoß bei Verbrennung im Bereich von $\lambda = 1,5 \dots 2$ gegeben ist.

Profil des Brennraumes am Beispiel eines Fackelbrenners

Der Brennraum ist auf der ganzen Länge mit einer grosszügig dimensionierten hochtemperaturbeständigen Isolation mit extrem tiefer Wärmedurchgangszahl ausgekleidet.

Dank der Konzeption des Brenners wird die Flamme grossflächig verteilt. Entsprechend wird auch die Temperatur gleichmässig auf den Brennraumquerschnitt verteilt und sehr rasch erreicht.

Das folgende Diagramm zeigt das Temperatur- und Verweilzeitprofil bei Gross- und Kleinlastbetrieb.



Emissionen - Abgasmessungen

Autorisierte Messinstitute in der Schweiz (Ciba-Geigy), Deutschland (TÜV-Rheinland), Österreich und Frankreich führten Messreihen durch.

Die Mittelwerte der Abgase, bezogen auf 3 Vol.% O₂-Rest, sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt:

Stoffe im Abgas	angegeben als	Grenzwerte TA – Luft 1986 (1996)		LRV Schweiz 1992	gemessene Werte	
		mg/m ³	()		Hofstetter HT-Fackelbrenner	Hofstetter Horizontal- HAT Brennkammer
		mg/m ³		mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
Staub		5	(10)	20	< 5	< 5
Kohlenmonoxid	CO	100	(100)	60	5..20	5..15
Stickoxid (NO+NO₂)	NO_x	500	(200)	80	40..80	20..50
Schwefeldioxid	SO₂	500	(50)	50	* 20..50	* 20..50
anorg. Chlorverbindungen	HCl	30	(10)	20	* 5..10	* 5..10
anorg. Fluorverbindungen	HF	5	(1)	2	* 0..1	* 0..1
unverbr. org. Kohlenstoff	C_{org}	20	(10)	20	2..8	< 1
Dioxine/Furane	PAHs	ng/m ³ --	ng/m ³ (0,1)	ng/m ³ --	ng/m ³ << 0,01	ng/m ³ << 0,01

* Die Konzentrationen von Schwefeldioxid und anorganischen Chlor- und Fluorverbindungen sowie Schwermetallen im Abgas, sind abhängig von den vorhandenen Mengen im Rohgas. Mittels Analyse des Rohgases können diese bereits in der Planungsphase bestimmt werden. Sind sie bekannt, wird empfohlen, vorsorglich eine Emissionsberechnung durchzuführen. Hofstetter AG verfügt hierfür über ein entsprechendes Rechenprogramm. Damit kann bestimmt werden, ob eine Vorbehandlung des Rohgases nötig ist.

Mit den oben aufgeführten Abgas-Messwerten wird aufgezeigt, dass die zuvor definierte HT-Verbrennung die vollständige und emissionsarme Verbrennung von Deponiegas ermöglicht. Die verschärften Grenzwerte der Luftreinhaltevorschriften können eingehalten, z.T. sogar massiv unterschritten werden.

Unsere technischen Unterlagen vermitteln Ihnen einen tieferen Einblick.

Bitte anfordern bei:

Hofstetter Umwelttechnik AG
CH-3324 Hindelbank

Telefon +41 34 411 8611
Telefax +41 34 411 8610

info@hofstetter.ch
http://www.hofstetter.ch