

Grundlagen der Fassung und Entsorgung von Deponiegas

Schulungen der DAS – IB GmbH
Stand: Juli 2005

Dipl. – Ing. Wolfgang H. Stachowitz

www.das-ib.de
stachowitz@das-ib.de

ZUSAMMENFASSUNG:

Als die Entsorgung von Deponiegas vor ca. 18 - 23 Jahren ins Problembewusstsein der Öffentlichkeit geriet, gab es noch keine Erfahrungen auf diesem Gebiet. Bis zum heutigen Stand der Technik hat sich viel getan, so dass Anfangsfehler wie die Überdimensionierung von Gasnutzungsanlagen aufgrund fehlender Basisdaten oder die Beschädigung von Gasfassungssystemen durch nicht einkalkulierte Setzungen weitgehend der Vergangenheit angehören. Aus der Sicht eines ehemaligen Anlagenbauers und heutigen Sachverständigen und Planers gibt es jedoch auch heute noch spezielle Problembereiche, die differenziertes Know-how erfordern. Der folgende Vortrag soll einen Überblick zur Entwicklung vermitteln und aktuelle Problembereiche aufzeigen.

1. DIMENSIONIERUNG VON DEPONIEGASANLAGEN

Als Basis für die angemessene Dimensionierung einer Deponiegasanlage ist eine möglichst genaue Gasprognose unverzichtbar. Im Gegensatz zu früher liegen dafür heute Gasprognoseprogramme vor, die nicht nur aufgrund rein mathematischer Modelle prognostizieren, sondern eine Fülle empirischer Daten einbeziehen. Sie liefern so relativ gute Annäherungswerte an die Wirklichkeit. Jede Prognose kann natürlich nur so gut sein wie die Qualität der eingegebenen Daten. Die von uns verwendeten Programme werden durch Erfahrungswerte aus dem Anlagenbau und Betrieb ständig weiter optimiert. Darüber hinaus ist es empfehlenswert, die zu erwartenden Gasmengen zunächst für einen definierten Zeitraum mit einer mobilen Fackelanlage zu testen, bevor stationäre Einrichtungen gebaut werden.

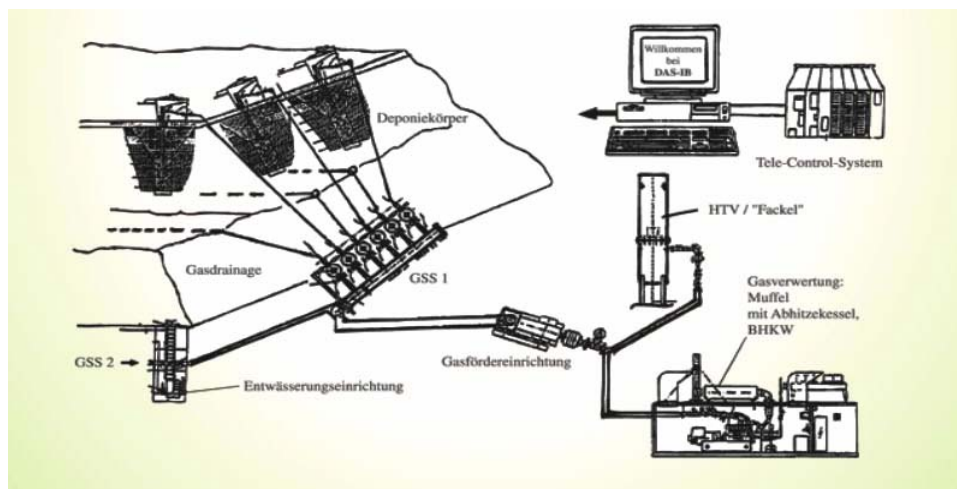


Bild 1 a – Deponiegas-Fassungssystem mit Gasbrunnen, Gassammelstation, Kondensatentwässerung, Kondensatschächten, Verdichter und „Fackel“, Gasnutzungseinrichtungen und Telecontrol-System

2. GASFASSUNG

Ältere Gasfassungssysteme wurden in der Regel als einfache, preiswerte Rohrsysteme ohne weitere Einrichtungen wie Gassammelstationen gebaut. Es gab keine Möglichkeit, einzelne Gasbrunnen zu messen und zu optimieren. Die daraus resultierenden schlechten Gasfassungsraten und die hohen Kosten für Optimierungen des Gesamtsystems führten zu Änderungen der Bauweise. Heute werden die einzelnen Gasbrunnen mit Stichleitungen an eine Ringleitung angeschlossen. Die Anschlusspunkte sind - jederzeit zugänglich - in festen ober- oder unterirdischen Bauwerken (Gassammelstationen / GSS) untergebracht. Hier kann jeder Gasbrunnen individuell auf die für die Optimierung relevanten Werte wie Durchfluss, Unterdruck, Gaszusammensetzung und -temperatur untersucht und eingeregelt werden. Durch regelmäßige Kontrolle und Nachregelung werden optimale Gasfassungsraten erzielt.

2.1 Gasbrunnen (GB)

Die extremen natürlichen Setzungen im Deponiekörper entstehen durch die biologische Umwandlung fester Abfallbestandteile in Deponiegas. Konkret: Jeder Kubikmeter Deponiegas hat ca. 1 kg feste Masse abgebaut. Um dieser Tatsache zu begegnen und Kontrollen zu ermöglichen, sind beim Bau von Deponiegasbrunnen folgende Punkte zu berücksichtigen:

1. Teleskopierbarkeit der Gasbrunnenrohre, um Setzungen teilweise auszugleichen
2. Einbau eines flexiblen Kompensators zwischen Domschacht und abgehender Rohrleitung
3. Abgehendes Rohr: Durchmesser mindestens 110 mm bei 3-5 % Gefälle, um Wasserverschlüssen vorzubeugen
4. Ausreichende Mächtigkeit einer umgebenden Ton-Lehm-Schicht, um das Ansaugen von Luft aus Randbereichen und Seitenflächen zu verhindern
5. Setzen von Probemuffen und Handabsperreklappen an der richtigen Stelle im Gasweg
6. Berücksichtigung von Ein- und Auslaufstrecken für Durchflussmessungen
7. Einführungsöffnung für Kamerabefahrungen

2.2 Gassammelstationen (GSS)

In den Gassammelstationen werden die Stichleitungen von den Gasbrunnen an die Ringleitung angeschlossen. Für Probenahmen und Messungen (Gasanalyse, Temperatur, Druck, Durchfluss) sollten die Anschlüsse an geeigneter Stelle mit ½"- und ¾"-Muffen als Mindestausstattung ausgerüstet sein. Für die Durchflussmessung ist außerdem eine Ein- und Auslaufstrecke zu berücksichtigen, deren Länge mindestens dem 10fachen Rohrdurchmesser entspricht, um Verwirbelungen des Gasstroms und Fehlmessungen zu vermeiden. Handabsperklappen sind an der senkrechten Leitung, jedoch mit ihrer Achse nicht senkrecht auszuführen, um Korrosion sowie Kondensat- und Frostprobleme zu vermeiden.

In jeder Gassammelstation besteht die Möglichkeit, eine automatische Gasdruckentwässerung zu installieren. Sie saugt kleinere Wasserverschlüsse in Abhängigkeit von der Verdichterleistung automatisch ab. Empfehlenswert ist darüber hinaus der Einbau eines T-Stücks mit Blindflansch als Einführungsöffnung für mögliche Kamerabefahrungen.

2.3 Kondensatableitung

Deponiegas kommt mit ca. 100 %iger Feuchte aus einem bis zu 60 - 80 °C warmen Deponiekörper. Das Gas kühlt sich auf dem Weg vom Gasbrunnen zur Verdichterstation ab, wobei Kondensat ausfällt. Um Wasserverschlüsse zu vermeiden, sind alle Transportleitungen mit Gefälle zu verlegen und Entwässerungseinrichtungen zu installieren. Einfache Lösungen sind Siphons, die das Kondensat möglichst in die Deponie zurückführen, was jedoch nur bei basisgedichteten Deponien zu empfehlen ist. Alternativ sind Kondensatschächte als separate Bauwerke einzusetzen, die mit verschiedenen Abscheidern ausgerüstet werden können (Prall- Platten- Zyklon- oder Demisterabscheider). Das Kondensat kann dann z. B. mittels Pumpen oder Absaugwagen entsorgt werden.

Um das Einsaugen von Wasser in die Gastransportleitungen zu verhindern, ist beim Bau von Entwässerungseinrichtungen als minimaler Höhenunterschied zwischen der Gasleitung und der maximalen Wasseroberfläche der Saugdruck der Verdichteranlagen zu veranschlagen. Beispiel: Bei einem Gebläse mit 150 mbar Unterdruck sollten zwischen der maximalen Wasseroberfläche und dem Entgasungsrohr 150 cm Sicherheitsabstand liegen. Durch Füllstandsmessungen ist dieser Abstand zu überwachen, damit es nicht zu Beschädigungen der Anlagentechnik kommen kann (Wasserschäden). In wärmeren Ländern ist darüber hinaus eine Minimum-Wassersäulen-Überwachung zu installieren, die bei Unterschreitung des Minimums zum Abschalten der Maschinenteknik führt (Sauerstoffeinbruch, Ex-Gefahr).

2.4 Aufbau des Gasfassungssystems

Wie bereits oben beschrieben, wird die Gasfassung als System von Stich- und Ringleitungen um die Deponie herum ausgeführt. Neben den beschriebenen Mess- und Optimierungsarbeiten an den Leitungen und Brunnen ist es mindestens einmal im Jahr erforderlich, eine Oberflächenbegehung des Deponiekörpers mittels FID durchzuführen. Nur so lässt sich feststellen, ob es in bestimmten Bereichen zu unkontrollierten Ausgasungen kommt. An diesen Stellen können nachträglich weitere Gasbrunnen eingebracht werden. Grundsätzlich sollte der Gasbrunnen-Abstand bei der Erstinstallation 50 m nicht überschreiten, da der Einzugsbereich eines Brunnens erfahrungsgemäß etwa 20 bis 30 m beträgt.

3. MASCHINENTECHNIK

3.1 Gasverdichterstation

Eine Deponiegas-Verdichterstation (GVS) sollte je nach Anlagenort und Witterung in einem geschlossenen oder offenen Gebäude aufgestellt werden und neben Licht und ggfs. eine Heizung auch über eine CH₄ – Ex - Gaswarnanlage mit Be- und Entlüftung

verfügen, wenn es keine Möglichkeit gibt die Anlage dauernd „gasdicht“ auszuführen. Als minimale Ausstattung sind vorzusehen:

1. das eigentliche Absauggebläse
2. Absperrklappen und andere technische Einrichtungen zur Regulierung der Durchflussmenge (Bypässe, Frequenzumformer für die Antriebsmotoren der Gebläse)
3. Messgeräte: Gesamtdurchfluss, Saugdruck, Enddruck, Gastemperatur

Der Durchfluss kann auch indirekt über die Gleichung $p = f(F)$ und anhand einer entsprechenden Kurve des Herstellers z.B. Düsenvordruck der HTV ermittelt werden.

Für den Einsatz in Deutschland ist ein stationäres Gasanalysensystem zum Explosionsschutz seit Einführung der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) nicht mehr vorgeschrieben. Durch das notwendige Explosionsschutzdokument mit einer Risiko- und Gefahrenanalyse kann der „Arbeitgeber“ von GUV - / BGR – Regeln abweichen, wenn „seine“ Anlage andere „Sicherheitsvorkehrungen“ (wie z.B. kein EX – Gemisch im Normalbetrieb, gasdichte Ausführung etc.) besitzt. Diese „Hosenträger“ - und „Gürtel“ – Philosophie gab es sowie so nur in Deutschland, Österreich und teilw. in Belgien. Weitere Ausführungen zu diesem Thema finden Sie in den einleitenden Vorträgen und Darstellungen in diesem Buch. Das v.g. („Hosenträger“ - und „Gürtel“ – Philosophie) galt auch für eingesetzte Materialien, Armaturen und Baugruppen, für die nach deutschem Standard BAM- und PTB-Prüfnummern sowie Zertifikate erforderlich waren. Betreiber sollten jedoch in jedem Fall die einwandfreie Funktion (als Stichwort sei hier „FAIL – SAFE“ nach EN 954-1 und EN 60204-1 benannt) und das Material der eingesetzten Bauteile sorgfältig prüfen und auf keinen Fall Al-Ni-Ko-Metalle als Werkstoffe zulassen.

Zur Sicherheitstechnik zwei wesentliche Hinweise:

1. Eine evtl. vorgesehene Überwachung auf eine Ex – Atmosphäre (hier: Methan / Luftgemisch) sollte mittels eines Rohgasanalysators auf CH₄ erfolgen (IR –

Messprinzip). Dieses Signal kann später auch für eine Gasverwertung in einem Gasmotor aufgeschaltet werden.

- Anhand des Explosionsschutzdreiecks (Bild 1 b) kann nach Meinung des Autors sicher ausgeschlossen werden, dass in einer Gasfeuerungsanlage (Brenner, Gasmotoren) ständig explosionsfähiges Gemisch gefördert werden kann.

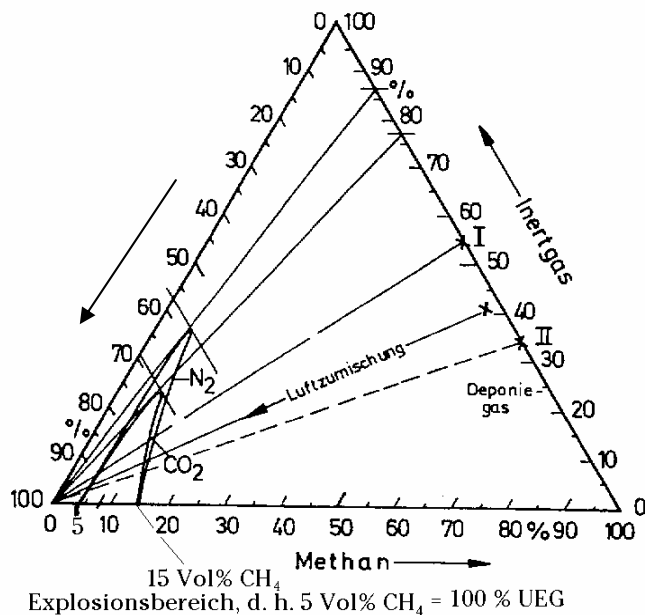


Bild 1 b – Dreistoffdiagramm für den Explosionsbereich von Methan/Luft/CO₂-Gemischen und von Methan/Luft/N₂-Gemischen, angegeben in Volumenanteilen der Gemischkonzentration bezogen auf das Gesamtgemisch (Quelle: Rettenberger, G. / Tabasaran, O., Forschungsbericht: 103 02 207 Teil 1)

Auf ein Gasanalysessystem innerhalb der Gasverdichterstation kann ggfs. verzichtet werden, wenn eine indirekte Analyse über andere technische Einrichtungen erfolgt. Hierzu zwei Beispiele:

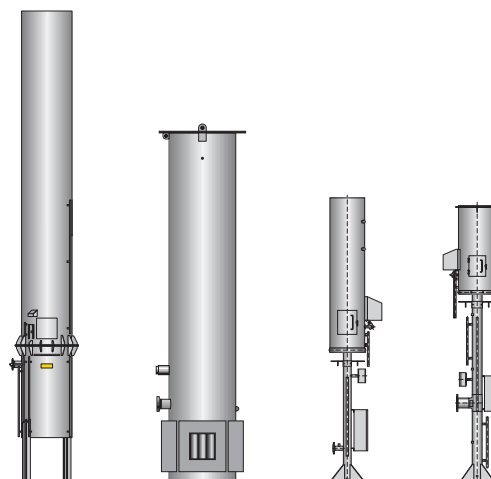
- Deponiegasmotoren sind für den Betrieb mit Methangehalten von mindestens 35 - 40 Vol.-% CH₄ ausgelegt. Bei Vollast benötigen sie meist sogar 50 Vol.-% Methan. Diese Systeme schalten bei niedrigeren Methangehalten aus technischen Gründen selbsttätig ab.
- Fackelanlagen verschiedener Hersteller können je nach Dimensionierung der Brenner automatisch Methangehalte zwischen ± 5 bis 10 Vol.-% abdecken. Bei höheren Werten schalten diese Systeme aufgrund der Flammenüberwachung (UV-Sonde) automatisch ab.

3.2 „Fackel“anlagen/Hochtemperatur-Verbrennung (HTV)

Für die thermische Entsorgung von Deponiegas wurden in frühen Jahren offene Verbrennungsanlagen (die eigentlichen "Fackeln") mit weithin sichtbarer Flamme eingesetzt. Diese Anlagen halten keinerlei Abgaswerte ein. Sie wurden im Laufe der Zeit durch geschlossene Bauformen abgelöst, zunächst unisoliert, später mit isolierter Brennkammer.

In Hochtemperatur-Verbrennungsanlagen (HTV), nach dem heutigen Stand der Technik, werden Temperaturen bis zu 1.200 °C erreicht (TA – Luft 2002: 1.000°C und 0,3s Verweilzeit ab Flammenspitze). Die Brennkammer einer solchen Hochtemperatur-Fackel ist mit ca. 100 mm Keramikfasern isoliert. Sie ermöglicht definierte Verweilzeiten der Rauchgase. Bei fast allen Herstellern darf als Stand der Technik außerdem eine konstante Temperaturregelung der heißen Abgase mittels Thermoelement, Regler und Zuluftregulierung festgestellt werden.

International sind zur Zeit verschiedene Forderungen für die Verbrennungsbedingungen aktuell. Die deutsche TA-Luft forderte 1.200 °C (bis 1. Okt. 2002). In der "UK Guidance of Best Practise Flaring of Landfill Gas" sind 1.000 °C festgeschrieben. Die TA – Luft folgt ab 1. Oktober 2002. Die verschiedenen



„Fackeltypen“ sind in Bild 2 dargestellt.

HTV: Hochtemperatur-Verbrennung, mit Ventilator

HTN/MTN: Hoch-/Mitteltemperatur-Verbrennung, mit Naturzug

MTU: Mitteltemperatur, ohne Isolierung

NTO: Niedertemperatur, mit offener Verbrennung

Bild 2

Für den Betreiber ist es wichtig zu wissen, dass der Begriff "Verweilzeit" bei den Herstellern von Fackelanlagen unterschiedlich definiert wird. Man findet z. B. Definitionen wie „ab Brennerkrone“ oder "mitten in der Flamme" oder "oberhalb der maximalen Flammenlänge". Dadurch ist auch zu erklären, dass die Verbrennungsanlagen verschiedener Hersteller unterschiedliche Höhen aufweisen. Die Durchmesser hängen von den Verbrennungstemperaturen ab. Je schlanker und höher eine Hochtemperatur-Fackel ist, desto höher ist die Verbrennungstemperatur im gesamten Regelbereich und desto länger ist die Verweilzeit der Abgase ab Flammenspitze. Mit größerem Durchmesser nimmt die Verbrennungstemperatur im Teillastbetrieb ab. So reduziert sich z. B. im Kleinlastbetrieb (< 70 % Leistung) die Verbrennungstemperatur auf ca. 80 %. Bei 30 % der Leistung verringert sich die Temperatur auf 50 %.



Bild 3 – Isolierung einer HTV (Quelle: Sta für Haase, Neumünster) rechts im Bild

Der Betreiber sollte außerdem auf die Befestigung für die Keramikisolierung achten. Relativ kostengünstig in der Herstellung sind Lösungen mit so genannten "Clips". Diese fallen jedoch bei längerem Vollastbetrieb der Anlage durch Verzundern ab und müssen dann nachgerüstet werden, was die laufenden Betriebskosten erhöht. Von Außen verschraubte Isolierungen haben diesen Nachteil nicht.

Ein Dach (Fackelhut) zur Abdeckung der Brennkammer sollte keinesfalls installiert werden. Die Emissionen werden dadurch umgelenkt und können am Aufstellungsort stärker immitieren. Außerdem werden durch den Widerschein Vögel und Insekten angelockt, die dann elend verbrennen. Verschiedene Hersteller haben deshalb

Brennersysteme entwickelt, die resistent gegen Schnee- und Regeneinfall sind und auch problemlos ohne Fackelhut gestartet werden können.

3.3 Gasnutzung

Für eine Deponiegasnutzung kommen im Prinzip Gasmotoren, Dampfmaschinen oder Gasturbine in Frage. Wie wirtschaftlich eine solche Nutzungsanlage für einen Deponiebetreiber letztlich sein kann, sollte nach kaufmännischen und ökologischen Kriterien abgewogen werden. Es sei jedoch an dieser Stelle deutlich darauf hingewiesen, dass eine Nutzungsanlage derzeit in keinem Land der Erde wirtschaftlich ist, wenn die Investitionskosten für die Gasfassung und die Nutzungseinrichtungen als Basis für die Kalkulation herangezogen wird.

Klammert man jedoch die Gasfassung aus, da diese aus ökologischen Gründen ("global warming") ohnehin installiert werden muss und betrachtet nur die Investitionskosten für die Nutzungseinrichtungen, dann sind Gasnutzungsanlagen unter bestimmten Voraussetzungen wirtschaftlich zu betreiben. Diese Voraussetzungen betreffen einerseits die Gasqualität und andererseits die mögliche Vermarktung der Abwärme und des erzeugten Stroms.

Die meisten Probleme bezüglich der Gasqualität entstehen durch zu hohe Fluor-, Chlor- oder Siloxanverbindungen im Rohgas. Eine Gasreinigung auf der Basis von Kältetechnik oder Aktivkohleverfahren kann diese Probleme lösen.

Die Energiebilanz einer Gasnutzungsanlage fällt dann am günstigsten aus, wenn sowohl die Abwärme aus dem Abgas und dem Motorkühlwasser als auch der Strom möglichst ohne größere Leitungsverluste zum Eigenbedarf genutzt werden können. Die wirtschaftlich einfachste Variante ist, lediglich den Strom ins EVU-Netz einzuspeisen. Nach diesen Gegebenheiten ist auch die Anlagentechnik auszuwählen: Gasturbinen, Gasmotoren, Dampfmaschinen und -turbinen mit nachgeschalteter liegender Muffel und Wärmeauskopplung stehen zur Wahl.

In einigen europäischen Ländern sind für Gasmotoren Abgasgrenzwerte einzuhalten. Dies kann unter Umständen die Auswahl der Motoren und ihre Wirtschaftlichkeit einschränken. Beispielsweise leistet ein Motor der Reihe Jenbacher JES 320 unter den Abgas-Bedingungen der deutschen TA-Luft 826 kW_{el.}. Bei freien Abgaswerten leistet der gleiche Motor ca. 1.006 kW_{el.}.

Fehler!



Bild 4: Deponiegas – JES – Containeranlagen der Clarke Energy Ltd. in Wales

Gasturbinen werden relativ selten eingesetzt. Da sie mit höheren Drücken (10 - 30 bar) fahren, sind auf der Verdichterseite höhere Investitionen erforderlich. Außerdem arbeiten Gasturbinen mit einem kleineren elektrischen Wirkungsgrad als Gasmotoren. Selbst bei großen Anlagen von 60-100 MW, realisiert in England, Australien und Korea, wurden und werden in der Regel Gasmotoren statt Gasturbinen installiert.



Bild 5: Deponiegas - Microgasturbinen in Californien, USA (turbotec)

Die Kombination Dampfkolbenmotor/Dampfturbine ist nur sinnvoll, wenn hoch belastetes Deponiegas, das für eine Nutzung in Motoren nicht geeignet ist, mittels Hochtemperatur-Verbrennung entsorgt werden muss. Dann ist der Umweg über Abwärmekessel zur Dampferzeugung die einzig mögliche Alternative, die auch schon mehrmals realisiert wurde. Die Wirkungsgrade sind allerdings dementsprechend niedrig.



Bild 6: Dampfkessel und Deponiegasbrenner, 10 MW th , 20 bar

3.4 Schwachgasnutzung.

Zur Definition des so genannten Schwachgases siehe Bild 7.

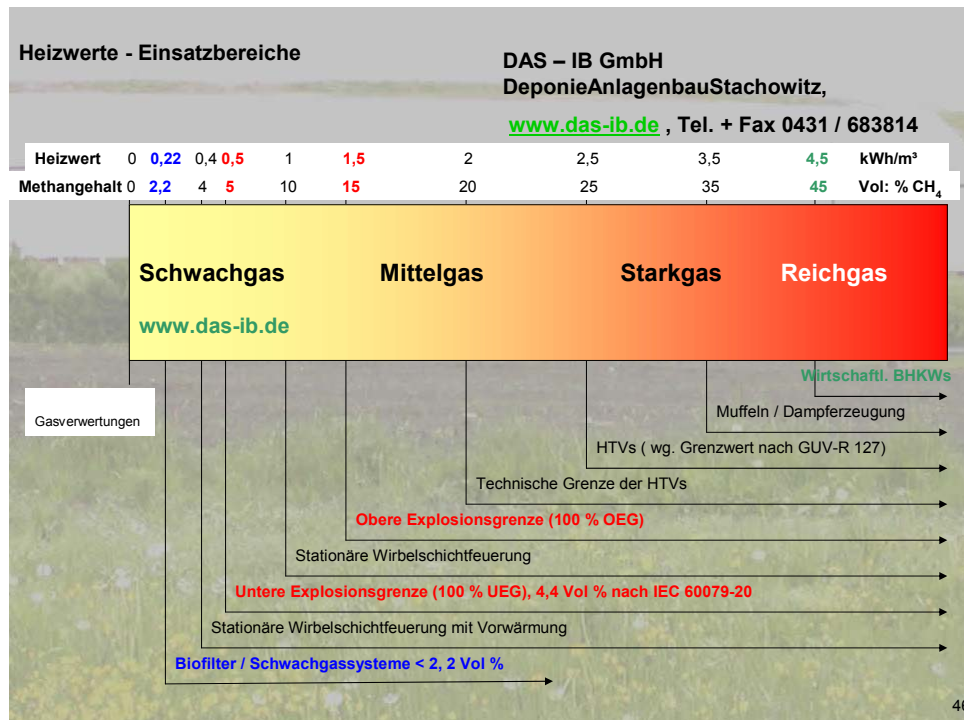


Bild 7 – Betriebsbereiche von Gasverwertungsanlagen

Die Gasproduktion einer alten Deponie nimmt kontinuierlich ab. Nach ca. 20 - 30 Jahren reichen Methangehalt und Gasfassungsrate (in der Klimazone Westeuropa) nicht mehr aus, um das Gas direkt zu verbrennen. Entsorgt werden muss es trotzdem. Zunächst sind dann Hochtemperatur-Verbrennungsanlagen mit Stützgas (z. B. Erdgas) sinnvoll oder ein intermittierender Betrieb der HTV, deren weiterer Betrieb sich aber mit weiter sinkenden Gasmengen und -qualitäten wirtschaftlich nicht mehr vertreten lässt. Im Endstadium werden häufig Biofilter eingesetzt, die in herkömmlicher Bauweise zwar desodorieren, das umweltrelevante Methan aber nicht abbauen und deshalb zum "global warming" beitragen. Biofilter spezieller Bauart, die doch das Methan aufoxidieren, bedürfen hoher Investitions- und Betriebskosten, um die notwendigen Feuchtgehalte und Temperaturen ständig aufrecht zu halten.

Die Alternative ist die regenerativ thermische Behandlung in einer VocsiBox® (Haase) / Depotherm® (UMAT) bzw in einer (nicht)katalytischen Oxydation (pro2). Hier wird das

Schwachgas über ein ca. 1.000 °C heißes, nicht katalytisches Reaktorbett bzw. über einen Katalysator geleitet und vollständig oxidiert. Die Energie für den Prozess kommt aus dem im Rohgas enthaltenen Schadstoffen bzw. wird von außen – je nach System - zugeführt. Der Prozess in der VocsiBox[®] verläuft nach einmaligem Aufheizen des Reaktors ab = 0,3 Vol.-% Methangehalt im Rohgas autotherm.

Schwachgas-Entsorgungsanlagen operieren unterhalb der Explosionsgrenze von O₂/CH₄-Gemischen, d. h. bei Methangehalten im Mischbetrieb von 2 - 3 Vol.-%. Aus sicherheitstechnischen Gründen wird das Mischgas in der Regel durch die Hinzugabe von Luft auf ca. 1 Vol.% Methan gebracht.

Die VocsiBox[®] bzw. das katalytische Verfahren (Bild 8) sind zurzeit die letzten Innovationen neben kleinen sog. „Microgasturbinen“ (Bild 5) in einer langen Reihe von technischen Entwicklungen zur Entsorgung und Nutzung von Deponiegas. Abschließend sei noch erwähnt, dass über die Web-Site www.das-ib.de eine kostenlose Deponiegasprognose abgerufen werden kann.



Bild 8: VocsiBox, Deponie Steinau (re) und das katalytische Verfahren der pro2 (li)

REFERENZEN:

Bundesministerium für Umweltweltschutz und Reaktorsicherheit der Bundesrepublik Deutschland, Bundesemissionsschutzgesetz: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA-Luft, 27. Febr. 1986; Hinweis ab 1. Oktober 2002 trat eine neue TA – Luft in Kraft

Bundesverband der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand – BAGUV: Sicherheitsregeln für Deponien, GUV-R 127 (Ausgabe Febr. 2001)

Butz, Wolfgang: Neue rechtliche Entwicklungen, Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Deponiegas 2001

Clarke Energy NEWS: Issue No. 3 Summer 2000

Dammann, B.; Streese, J.; Stegmann, R.: Microbial oxidation of methane from landfills in biofilters, Sardinia 2003, 11th Int. Landfill Symposium

Der Bundesminister für Forschung und Technologie: Gasabsauge- und Gasverwertungsanlagen an Mülldeponien, FuE-Vorhaben 1430293, Juli 1986

Deutz MWM: Mindesteigenschaften von Brenngasen für Gasmotoren

div. Autoren: Schwachgasentsorgung von Altablagerungen gemäß TASI, Symposium März 1999 in Offenbach (Tagungsband)

Glüsing, Jens und Stachowitz, Wolfgang Horst: Entgasung von Altablagerungen gemäß TASI, TerraTech 1/1999

Hegemann, Joachim und Stachowitz, Wolfgang Horst: Gase sicher entsorgen, Industrieservice 11/2000

Jenbacher AG: Specifications for Jenbacher gas engines

Jenbacher AG: Technische Datenblätter zum Deponiegasmotor JES 320

Rettenberger, G.; Tabasaran, O.: Untersuchung zur Entstehung, Ausbreitung und Ableitung von Zersetzungsgasen, Umweltbundesamt 12/1982, Forschungsbericht 10302207 Teil I

Schweizer Luftreinhalteverordnung: Emissionsgrenzwerte, Kap. 714

Smith, Richard: Guidance on best practice flaring of landfill gas in the UK, Sardinia 99, 7th Int. Landfill Symposium

Stachowitz, Wolfgang Horst: UK Launch of the VocsiBox[®], Dec. 2000, Conference in Gravesend (Kent)

Stachowitz, Wolfgang Horst: Gasentsorgung bei Altdeponien, Wasserwirtschaftliches Kolloquium beim Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik an der Universität Hannover, 8th Dec. 2000

Stachowitz, Wolfgang Horst und Herz, Jürgen: Integrierte Deponiegas-Nutzungsanlage auf der Deponie Budenheim, WLB 10 / 1996

Stachowitz, Wolfgang Horst div. Vorträge z.B. Sardinia 2001, 2003, 2005, UK waste 2004, Tagungen / Lehrgänge von DAS – IB GmbH 2002 - 2005

Streese, J; Dammann, B; Stegmann, R.: Behandlung von Deponiegas in Biofiltern zum Abbau von Methan und Spurengasen, Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Deponiegas 2001 und Deponietechnik 2004 Hamburg

UK Environment Agency: March 1999, Interim internal technical guidance for best practice flaring of landfill gas

Weber Dr., Burkhard: Gasprognosemodell, div. Quellen

Wilkins, Graham Thomas: M. Phil. Thesis 2000, The development of a strategy for Biffa Waste Services to reduce its atmospheric emissions of landfill methane