

**DAS – IB GmbH**  
**DeponieAnlagenbauStachowitz**  
**LFG - & Biogas - Technology**

Biogas-, Klärgas- und Deponiegastechnologie:

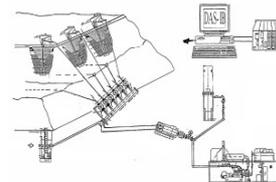
- Beratung, Planung, Projektierung
- Schulung von Betriebspersonal
- Sachverständigentätigkeit (u.a. § 29a nach BImSchG und öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger bei der IHK zu Kiel)

Technischer Sitz:  
Preetzer Str. 207  
D 24147 Kiel

Kaufmännischer Sitz /  
Rechnungsanschrift:  
Flintbeker Str. 55  
D 24113 Kiel

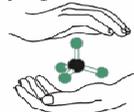
Tel. # 49 / 431 / 683814  
Fax # 49 / 431 / 2004137

www.das-ib.de  
email: nach Absprache



Internationale  
Bio- und Deponiegas  
Fachtagung  
& Ausstellung  
28. / 29. April 2009

Synergien nutzen und



voneinander lernen III

in Weimar  
Seminare  
27. April sowie 29. / 30.  
April 2009  
Bio- und Deponiegas  
Fachtagung

## Perspektive der Deponieschwachgasnutzung - Technik und Wirtschaftlichkeit

21. Kasseler Abfallforum und Bioenergieforum

22. IV. 2009

**Wolfgang Horst Stachowitz**

DAS – IB GmbH, LFG - & Biogas - Technology, Kiel

Stand: 30.1.2009

## **Zusammenfassung / Abstract / Keywords:**

In diesem Fachaufsatz und der Powerpoint – Präsentation vor Ort werden Definitionen für Schwachgas in Abhängigkeit des Heizwertes (und somit Methangehalt) benannt. In Abhängigkeit von diesem Schwachgas und der zugehörigen Feuerungsleistung werden für mehrere Anlagenstandorte, die im Rahmen von einer Diplomarbeit bzw. HAOI – Planungsleistungen betrachtet wurden, technische Lösungsmöglichkeiten verglichen. Abschließend werden Aussagen zum Betrieb (Technik und Wirtschaftlichkeit) der ausgeführten Anlagen auf den Standorten getroffen.

(Deponie)schwachgas, Feuerungs(wärme)leistung, Methangehalt, Schwachgasnutzung, Methangas, Heizwert, Gasverdichter, Fackel, Deponie, Altdeponie, Methan, Schwachgasfackel

## **1. Perspektive der Deponieschwachgasnutzung - Technik und Wirtschaftlichkeit anhand der Deponien Wörth, Mainz - Budenheim, Penig und Buckenhof**

### **1.1 Einleitung**

Mit zunehmendem Deponiealter stabilisiert sich der Abfall, der biologische Abbau verlangsamt sich und kommt schließlich zum Erliegen, entsprechend geht die Deponiegasbildung zurück. Während dieses Prozesses ändert sich die Zusammensetzung des Deponiegases, der Methananteil nimmt ab und die Anteile von Kohlendioxid, Stickstoff und Sauerstoff nehmen bei einer kontinuierlichen Gasabsaugung zu. Deponierestgas ist also in der Regel ein Gasgemisch mit reduziertem Heizwert (Schwachgas), bei dem das Mischungsverhältnis der brennbaren Anteile (vor allem Methan) zu den inerten Anteilen (insbesondere Kohlendioxid und Stickstoff) gering ist.

Mit sinkendem Heizwert (Feuerungswärmeleistung) und abnehmenden Gaserträgen kann irgendwann das Deponiegas nicht mehr im Gas-Ottomotor verstromt werden und muß über eine Hochtemperaturfackel entsorgt werden. Diese hat wiederum ihre technischen Grenzen, so daß in der Endphase von Deponien bei weiter sinkendem Heizwert andere Verfahren zur Deponiegasbeseitigung gewählt werden müssen.

Unter Schwachgas wird ein Gas-Gemisch mit reduziertem Heizwert (Produkt aus Methangehalt und Gasfördermenge) verstanden, d.h., das Mischungsverhältnis der brennbaren Anteile zu den inerten Anteilen ist gering.

Die Verfahren zur Schwachgasbehandlung lassen sich grundsätzlich in thermische und biologische Verfahren unterteilen. Bei den thermischen Verfahren wird das im Deponiegas enthaltene Methan unter Zuführung von Luftsauerstoff thermisch oxidiert. Dabei wird die thermische Zerfallsenergie von  $O_2 + CH_4$  zu  $CO_2 + H_2O$  ausgenutzt. Die biologischen Verfahren beruhen darauf, daß Bakterien das Methan und andere Inhaltsstoffe des Deponiegases als Energiequelle nutzen und somit unter definierten Bedingungen aufoxidieren bzw. daß der Deponiekörper durch eine forcierte aerobe Behandlung stabilisiert wird.

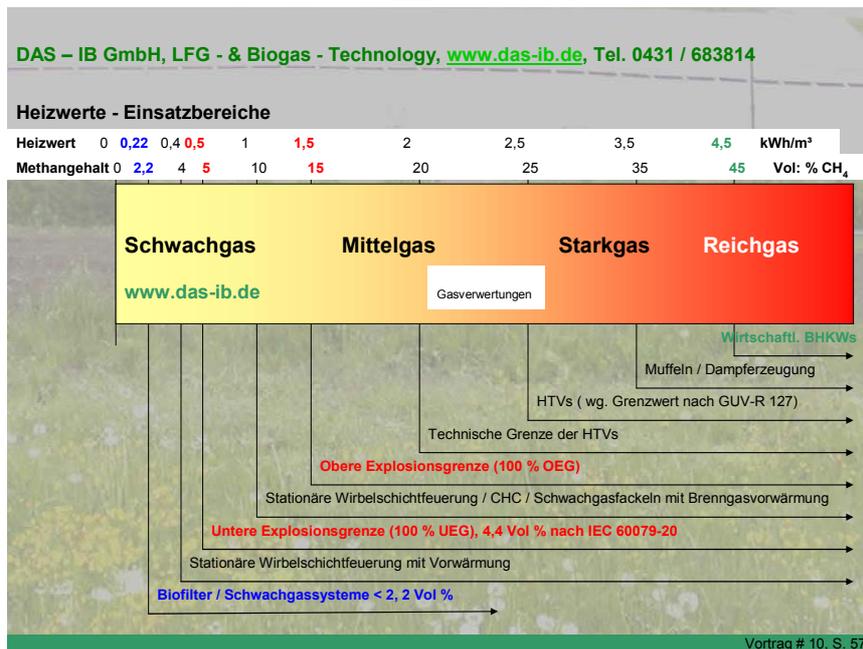


Abbildung 1: Gasnutzungen in Abhängigkeit des Heizwert im Rohgas

## 2. Überblick der Deponien - Deponieschachgasnutzung

Tab.1: Überblick Deponien

Deponie	Schwachgaskonzepte			
	Wörth	MZ Budenheim	Buckenhof	Penig
Bundesland	Bayern	Rheinland - Pfalz	Bayern	Sachsen
Ablagerungszeitraum	1981 - 1990	DA I und II 1965 - 1985	1964 - 1980	Alt 1967 - 1989 Neu 1990 - 2000
Ablagerungsfläche	ca. 38.000 m <sup>2</sup>	130.000 m <sup>2</sup>	80.000 m <sup>2</sup>	ges. ca. 160.000 m <sup>2</sup> Neu ca. 22000 m <sup>2</sup>
Ablagerungsmächtigkeit (Durchschnitt)	ca. 20 m	ca. 40 m		
Ablagerungsmenge	380.000 Mg	8.555.418 Mg	1.100.000 Mg	
Ablagerungsvolumen		5.2 Mio. m <sup>3</sup>	1,0 Mio. m <sup>3</sup>	
Abfallarten	Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll, Bauabfälle	Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll, Bauabfälle	Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll, Bauabfälle	Hausmüll, hausmüllähnliche mineralische Abfälle, Sperrmüll, Bauabfälle
Oberflächenabdichtung ab	1990	1985	1980	1989
Art	Abdeckschicht aus bindigem Boden	bindiger Boden und lagenweise Dichtungsboden		KDB, Kapillarschicht und bindiger Boden
Bereich	überall	überall	überall	alt
ab	2005	z.Z.		2000
Art	Oberflächenabdichtung	KDB		KDB, Kapillarschicht und bindiger Boden
Bereich	überall	überall		neu
Gasbrunnen	aktiv 9	31	Ursprünglich 24 Stück  Aktuell 9 Stück	Aktiv 4

### 2.1 Deponie Wörth

#### 2.1.1 Besonderheiten der Deponie Wörth

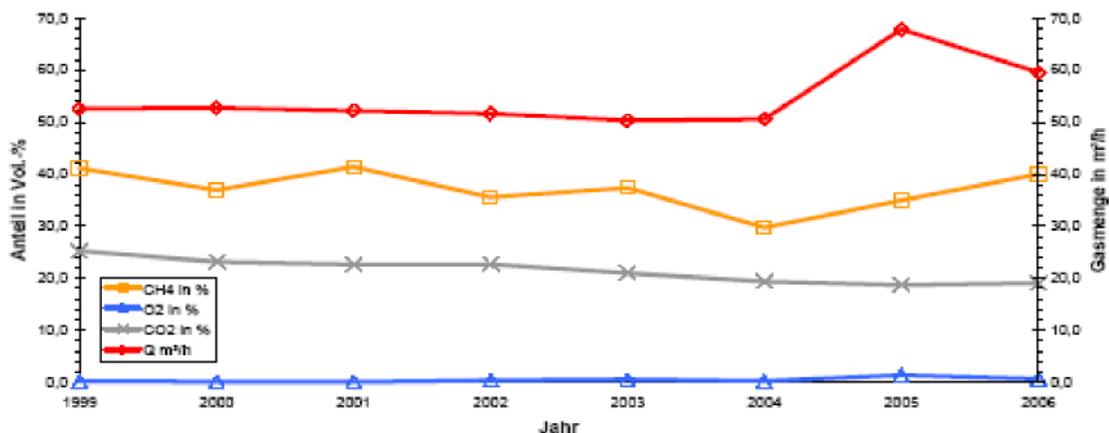
Die Deponie Wörth des Landkreises Miltenberg wurde in einer ehemaligen Tongrube errichtet.

Durch Setzungen bildeten sich Senken in der Deponieoberfläche, was zu einer hohen Infiltration von Niederschlag in den Deponiekörper führte. Teilweise wurden in der Deponie Sickerwasser-Stauhorizonte bis zu einer Höhe von ca. 14 m festgestellt, in Teilbereichen war / ist die Deponie jedoch annähernd trocken.

Die Sickerwasserfassung erfolgt über ein Drainagesystem sowie in Teilbereichen über Sickerwasserschächte mit Pumpentwässerung.

Da durch den Einbau einer Oberflächenabdichtung die Rahmenbedingungen für die Deponiegasproduktion und -fassung entscheidend verändert werden, sollte die Konzeption der Maßnahmen zur Gasbehandlung erst nach Abschluß der Arbeiten zur Oberflächenabdichtung erstellt werden, welche die DAS - IB GmbH aus Kiel für die Ingenieurgesellschaft für Bauwesen und Umwelttechnik mbH (ibu) im Jahre 2007 als Subunternehmer erstellt hat.

## 2.1.2 Deponiegasdaten (Ist-Zustand)



**Abbildung 2: Entwicklung der gefaßten Gasmenge und -qualität auf Basis der Jahresmittelwerte. Quelle: Darstellung DAS - IB auf Grundlage „Gaswerte Wörth 1999 - 2006“.**

1990 wurde im Mittel ca. 450 m<sup>3</sup>/h Deponiegas mit einem Methangehalt von 42 Vol % gefaßt. Aufgrund rückläufiger Gaserträge sind zurzeit nur noch 9 von 12 Gasbrunnen aktiv.

Bis Ende 2008 wurde das gefaßte Deponiegas, etwa 50 m<sup>3</sup>/h, diskontinuierlich über eine Hochtemperaturverbrennung (HTV) entsorgt.

Die an den einzelnen Gasbrunnen gemessenen Deponiegaswerte zeigten, daß sich die Deponie in der Endphase der Gasproduktion befindet.

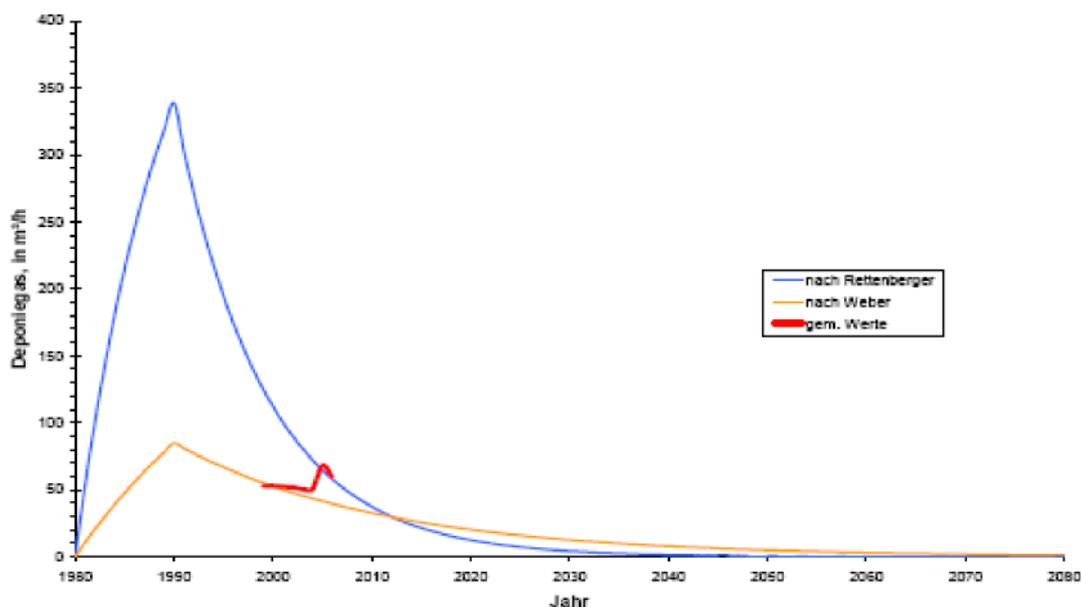
Bis Ende 2008 bestand das Deponiegas im Wesentlichen durchschnittlich aus ca. 39 Vol % Methan und ca. 20 Vol % Kohlendioxid, der Sauerstoffgehalt liegt dabei unter 0,3 Vol %.

### 2.1.3 Deponiegasdaten (voraussichtliche Entwicklung)

Für die Prognose der Entwicklung der Gasmengen werden üblicherweise unterschiedliche Modelle herangezogen. Ein Vergleich der prognostizierten Gaserträge der Deponie Wörth, nach dem Modell von Rettenberger und Tabasaran (RETTENBERGER 1992) und dem Modell von Weber (WEBER 1990), sowie den tatsächlich gemessenen Daten ist in Abbildung 3 dargestellt.

Da das Modell von Weber für offene Deponien bessere Ergebnisse erzielt und das Modell von Rettenberger bessere Ergebnisse für abgedichtete Deponien prognostiziert (vgl. SCHNAPKE 2006), kann davon ausgegangen werden, dass sich die Deponiegasmengen nun nach der installierten Oberflächenabdichtung auf der Deponie Wörth eher gemäß dem neuen Gasprognosemodell nach Rettenberger verhalten werden. Dies bedeutet, daß die Gaserträge schneller fallen werden, als dies bisher der Fall war.

Es wird darauf hingewiesen, dass aufgrund der Datenlage eine genaue Prognose nicht möglich war und die ermittelten Werte nur zur groben Orientierung dienten. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass innerhalb der nächsten 10 bis 15 Jahre der Deponiegasertrag auf 25 m<sup>3</sup>/h sinken wird, bezogen auf einen Methangehalt von 50 Vol % und eine kontinuierliche Absaugleistung.



**Abbildung 3: Entwicklung der Deponiegaserträge nach verschiedenen Modellen im Vergleich zu den gemessenen Werten**

Eine Extrapolation der Gasmeßwerte der Jahre 1999 bis 2006, in Abbildung 4 dargestellt, zeigt, daß der Anteil an Methan im Deponiegas in den nächsten 10 bis 15 Jahren nicht unter 25 Vol % fällt.

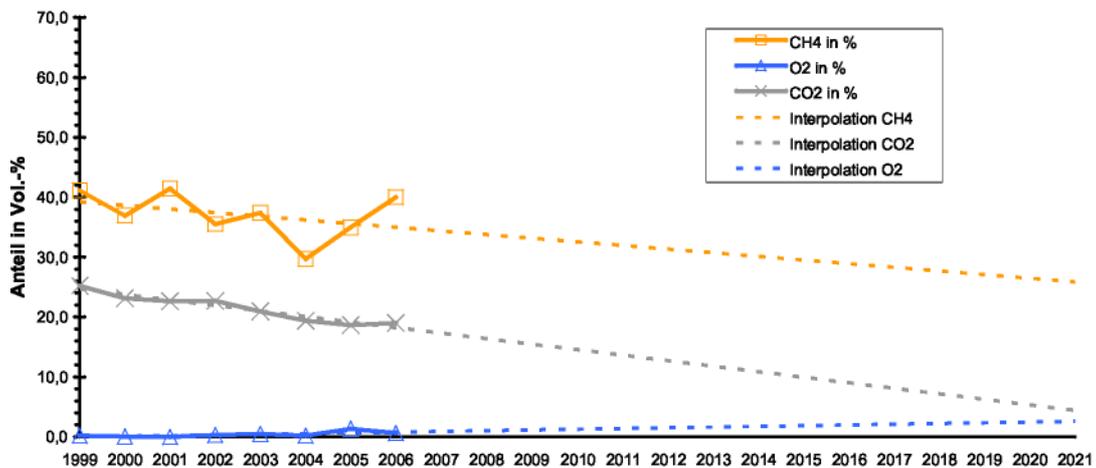
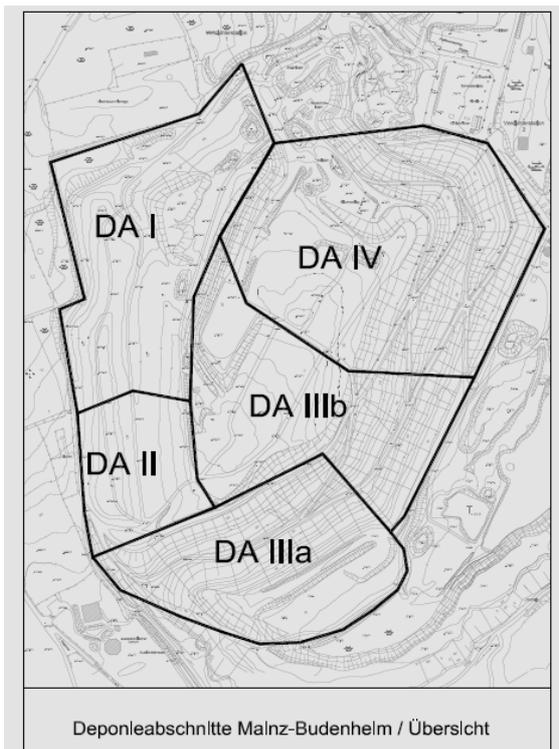


Abbildung 4: Extrapolierte Anteile am Deponiegas der Gase CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub>

Um der Verpflichtung einer umweltgerechten Beseitigung des anfallenden Deponiegases nachzukommen, ist daher für die Zukunft eine geeignete Deponiegasbehandlung vorzusehen, welche auch Methangehalte von < 25 Vol % und bei  $\leq 50 \text{ m}^3/\text{h}$  entsorgt. Diese wurde im Dezember 2008 installiert, dazu jedoch später.

## 2.2 Deponie Mainz Budenheim

### 2.2.1 Besonderheiten Deponie Mainz Budenheim



- Die Deponie des „Entsorgungsbetrieb der Stadt Mainz“ besteht aus 4 Deponieabschnitten mit einer Gesamtfläche von ca. 210.000 m<sup>2</sup> und einer Gesamteinlagerungsmenge von 11.742.462 Mg
- Die DA I und II werden durch 1982, 1993 und 2006 installierte Vertikalbrunnen abgesaugt.
- Für die Ableitung der abgesaugten Deponiegase besteht eine separate Gassammelleitung, welche an die jeweiligen Verdichter angeschlossen ist und zu den Entsorgungseinheiten (BHKW, Muffel, Fackel) führt.
- Für die DA I und II wurde in der Nachsorgephase ein Freizeit- und Erholungsgebiet (Golfplatz) geplant, welches z.Zt. gebaut wird. Die ersten 9 von 18 Golfbahnen sind fertig (Stand Ende 2008).

**Abbildung 5: Übersicht Deponieabschnitte [Entsorgungsbetrieb Mainz 2007]**

Sowohl eine liegende Muffel als auch eine Notfackel sind z.Zt nicht mehr in der Lage, das Deponieschwachgas aufgrund des zu geringen Methangehaltes bzw. der zu geringen Deponiegasmenge zu verwerten.

Die DAS – IB GmbH wurde im Herbst 2007 beauftragt, eine Konzeption zur Schwachgasbehandlung für das in den DA I und II entstehende Deponiegas und für den Umbau der vorhandenen Technik zu erstellen. Die Konzepte zur Umsetzung wurden der AGin in zwei Bearbeitungsphasen im Dez. 2007 und Jan. 2008 übergeben.

### **2.2.2 Deponiegasdaten (IST – Zustand)**

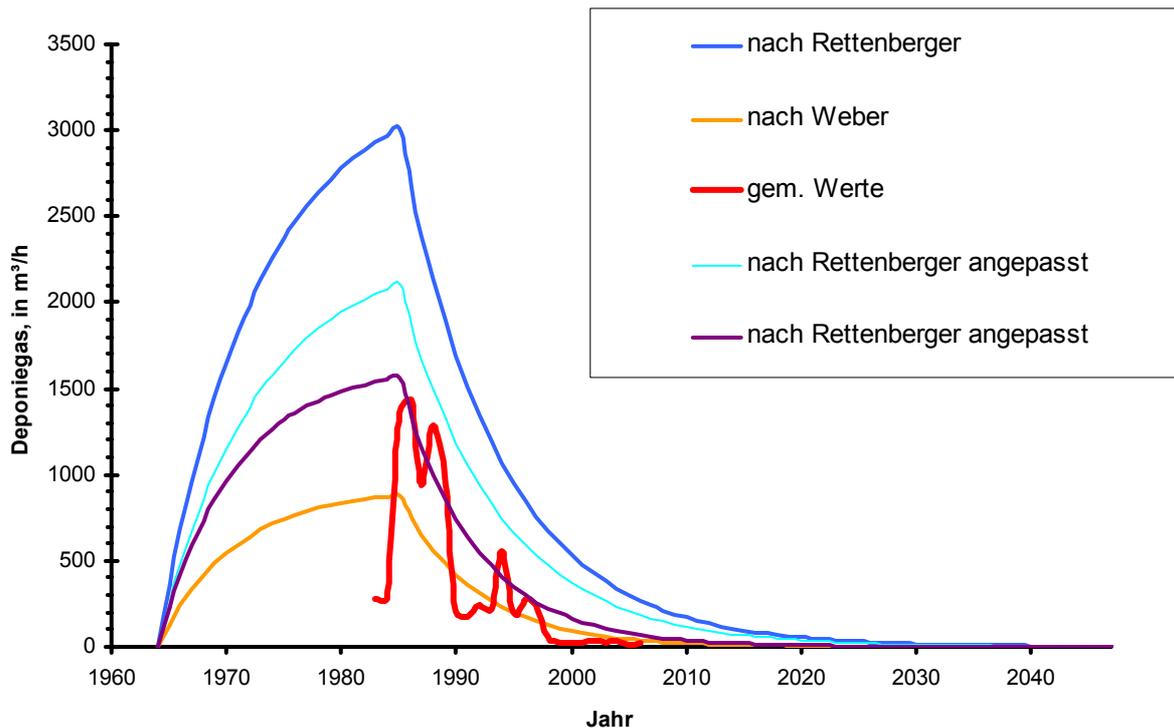
Für den Zeitraum 1983 bis 2006 ist der Verlauf der Absaugmengen insgesamt sehr stark fallend (vgl. Abb. 6).

Die Deponiegasmenge (aus DA I und II) im Jahre 2006 liegt bei 230.200 m<sup>3</sup> bzw. 26,64 m<sup>3</sup>/h.

Aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten, ist nur eine grobe Einschätzung der qualitativen Deponiegaszusammensetzung möglich. Bei Betrachtung des Verlaufs der Deponiegaszusammensetzung in Abhängigkeit von der Zeit nach Rettenberger & Mezger (1992), befindet sich die Deponie MZ - Budenheim mindestens in der Phase V (Langzeitphase), eher aber in einer späteren Phase VI (Luft eindringphase) der insgesamt IX Phasen.

### **2.2.3 Deponiegasdaten (voraussichtliche Entwicklung)**

Für die Deponie Budenheim wurde wie bei der Deponie Wörth auf verschiedene Deponiegas-Prognose-Modelle mit Anpassungen an den Standort, durch eigene Erfahrungen sowie die Kombinationen der Modelle miteinander angewandt.



**Abbildung 6: Entwicklung der Deponiegaserträge nach verschiedenen Modellen im Vergleich zu den gemessenen Werten**

Wir konnten feststellen, daß die angewendeten und angepaßten Modelle nicht ohne weiteres in der Lage sind, den „gemessenen Verlauf“ wiederzugeben.

Wir sind zudem immer vom „schlechtesten Fall“ ausgegangen, d.h. der kürzeste Zeitraum, in der der Methangehalt < 10 Vol % wird. Bei der Deponie MZ - Budenheim wäre das nach einem Modell von Rettenberger 2016. Wir gehen davon aus, daß innerhalb der nächsten 8 Jahre der Deponiegasertrag nicht auf < 10 m³/h sinken wird, bezogen auf einen Methangehalt von ca. 25 Vol % und einer kontinuierlichen Absaugleistung.

Um der Verpflichtung einer umweltgerechten Beseitigung des anfallenden Deponiegases nachzukommen, ist daher für die Zukunft eine geeignete Deponiegasbehandlung vorzusehen. Die hierfür in Frage kommende Technik ist a) die sogenannte Schwachgastechnik, die auf die Verwertung / Entsorgung von niederkalorischen Gasgemische spezialisiert ist oder b) verbesserte HTVs mit ggfs. einem Stützgasbetrieb.

## 2.3 Deponie Buckenhof

### 2.3.1 Besonderheiten Deponie Buckenhof

Die Deponie Buckenhof unterliegt der Stadt Erlangen und wurde von 1964 bis 1980 betrieben.

In diesem Zeitraum wurden ca. 1.000.000 m<sup>3</sup> Abfälle abgelagert. [UMWELTAMT STADT ERLANGEN 1990]

Laut Sperl 2004 [ZVA Erlangen 2007] beträgt die verfüllte Abfallmenge 1,1 Mio. t, wovon 550.000 t gasproduktionsrelevant sind.

Seit Herbst 2005 betreut der ZVA ER-ERH die Deponieentgasungsanlage im Auftrag der Stadt Erlangen.

Ursprünglich wurden 24 Gasbrunnen zur Fassung des Deponiegases betrieben und ab Ende 1986 ca. 300 - 400 m<sup>3</sup>/h Deponiegas gefaßt.

Die rückläufigen Gaserträge, hervorgerufen durch zunehmende biologische Inaktivität, führten dazu, daß bei einer Messung am 30. VII. 2007 nur noch 9 Gasbrunnen einen Gasertrag von mehr als 3 m<sup>3</sup>/h Deponiegas je Gasbrunnen hatten.

Das gefaßte Deponiegas, welches sich von Januar bis August 2007 auf ca. 40 m<sup>3</sup>/h belief, wurde über eine Deponiegasfackel diskontinuierlich entsorgt.

Bis Mitte 2006 fand keine kontinuierliche Absaugung statt.

Mit Beginn der kontinuierlichen Absaugung stiegen die Werte zeitweise auf mehr als 80 m<sup>3</sup>/h, fielen jedoch im Winter 2006/07 bis auf 30 m<sup>3</sup>/h ab.

Die Deponie ist abgedeckt und rekultiviert.

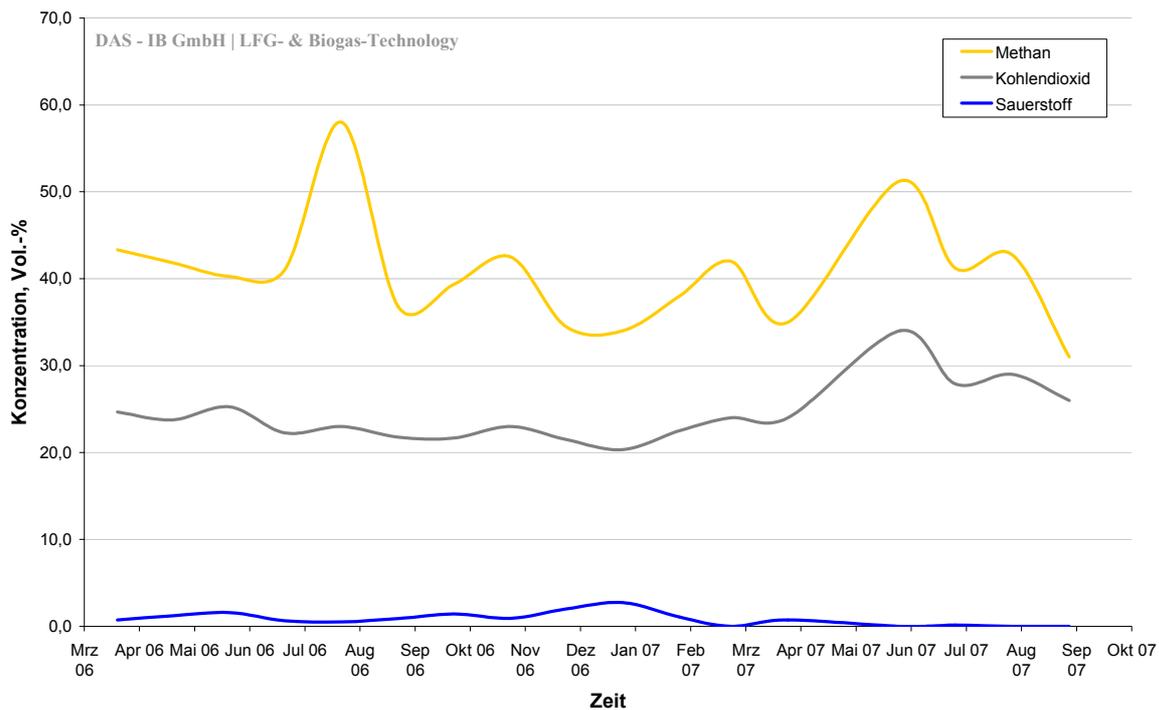
### 2.3.2 Deponiegasdaten (IST - Zustand)

Nach Baumaßnahmen an den Brunnenköpfen und Rohrleitungen im Mai und im Juni 2007 wurden Werte um die 40 m<sup>3</sup>/h mit einem Methangehalt von rund 40 Vol % erreicht. Die nach den Baumaßnahmen geförderten Spitzenmengen gehen auf Staugas zurück, welches u.a. durch die Gasqualität zu diesen Zeitpunkten (siehe Abbildung 7) bestätigt wird.

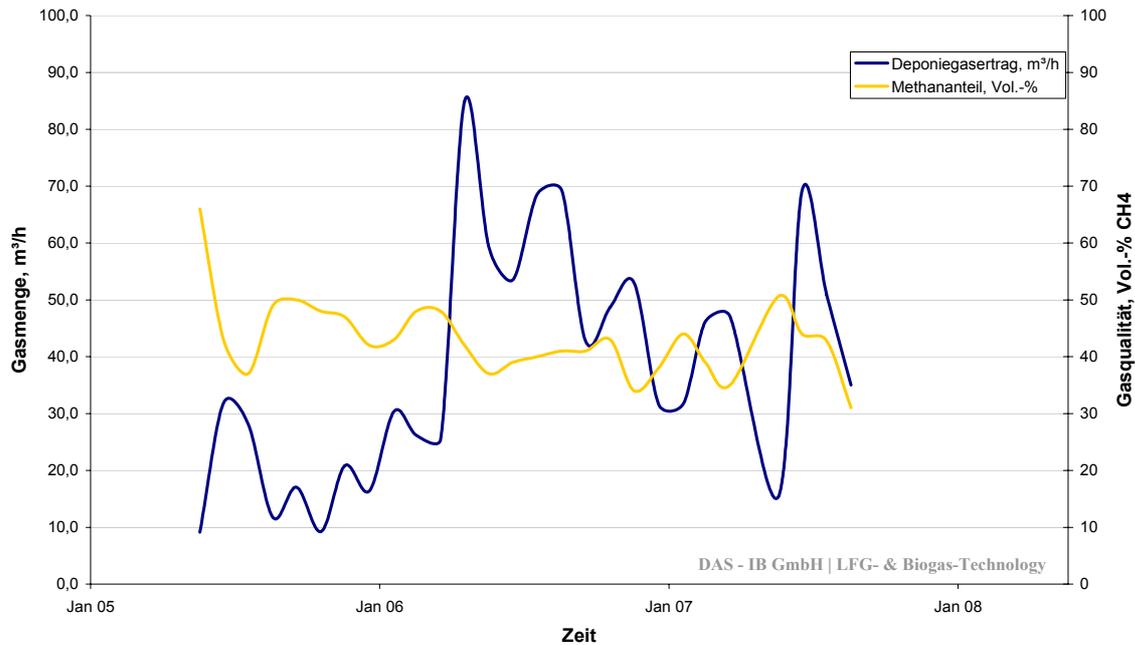
Im Juli 2007 bestand das Deponiegas durchschnittlich aus 40,8 Vol % Methan und 28,3 Vol % Kohlendioxid. Der Sauerstoffgehalt liegt dabei unter 0,3 Vol %.

Die Abbildung 8 zeigt den Zusammenhang zwischen gefaßter Gasmenge und Gasqualität.

Wird der abgesaugte Volumenstrom erhöht, sinkt mit einer gewissen Verzögerung der Methangehalt des Deponiegases. Eine Reduzierung der Volumenströme führt dann im Gegenzug wieder zu steigenden Methangehalten.



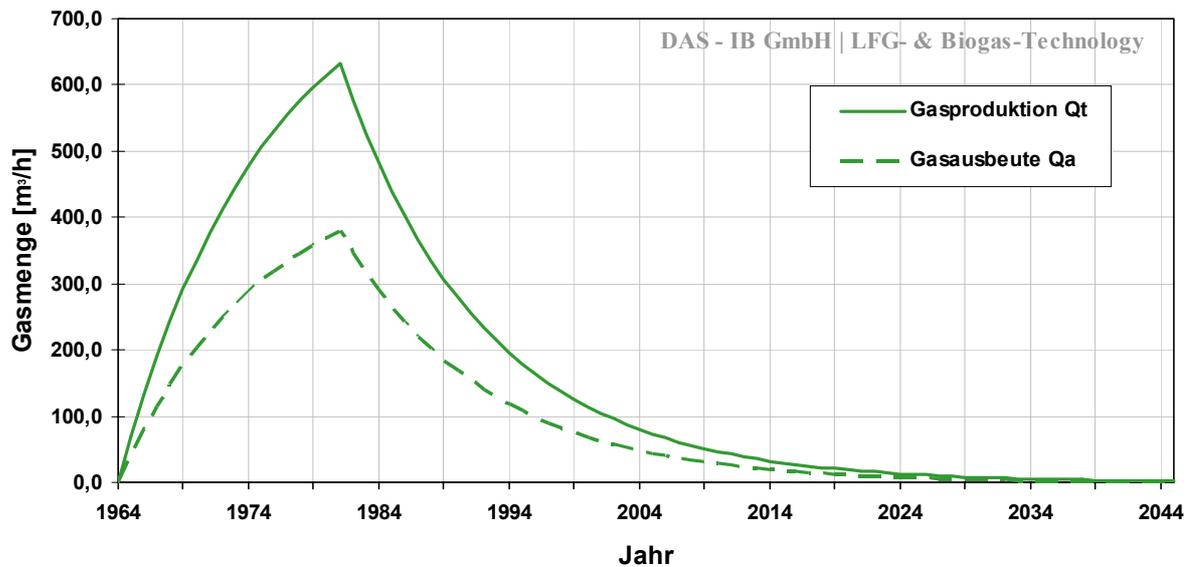
**Abbildung 7: Verlauf der Deponiegaszusammensetzung der Deponie Buckenhof auf der Basis von Monatsmittelwerten einzelner Messungen. Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage „Messwerte Deponiegasqualität und -quantität“.**



**Abbildung 8: Entwicklung der gefaßten Gasmenge und -qualität auf Basis von Monatsmittelwerten. Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage „Meßwerte Deponiegasqualität und -quantität“.**

### 2.3.3 Deponiegasdaten (voraussichtliche Entwicklung)

Für die Prognose der Entwicklung der Gasmengen für die Deponie Buckenhof werden ebenfalls die Modelle von Tabasaran / Rettenberger (RETTENBERGER 1992) und das Modell von Weber (WEBER 1990) herangezogen. Da die Deponie, wie zu Anfang erwähnt, nicht über eine Oberflächenabdeckung nach DepV verfügt, greift hier das Modell von Weber zur Gasprognose.



**Abbildung 9: Prognostizierte Deponiegasproduktion und -ausbeute (bei einer angenommenen Effizienz des Fassungs-systems von 60 % und einem CH<sub>4</sub>-Gehalt von 50 Vol.-%) der Deponie Buckenhof, basierend auf dem Modell Weber.**

Aufgrund des Vergleiches der prognostizierten Deponiegaserträge und der tatsächlich gefaßten Deponiegasmengen kann davon ausgegangen werden, daß der Deponiegasertrag innerhalb der nächsten 10 Jahre auf schätzungsweise 20 m<sup>3</sup>/h sinken wird, bezogen auf einen Methangehalt von 40 Vol % und eine kontinuierliche Absaugleistung.

Die Entwicklung des Methananteils im Deponiegas kann aus den Prognosen über Mengenentwicklung nicht hergeleitet werden, da weitere Einflußfaktoren, wie beispielsweise der übersaugungsbedingte Anteil der Umgebungsluft am Deponiegas und das Verhalten der Biologie nicht abzuschätzen sind.

Um der Verpflichtung einer umweltgerechten Entsorgung des anfallenden Deponiegases nachzukommen, ist daher für die Zukunft eine geeignete Deponiegasverwertung oder -behandlung vorzusehen.

## 2.4 Deponie Penig

### 2.4.1 Besonderheiten Deponie Penig

Betreiber der Deponie war ab 1991 der Landkreis Rochlitz bzw. ab 1994 der Landkreis Mittweider.

Seit 1996 unterliegt der Betrieb und die Stilllegung sowie die Nachsorge des Standortes dem Abfallwirtschaftsverband Chemnitz (AWVC).

Der Deponiestandort gliedert sich in einen Alt- und in einen Neubereich, wobei der Altbereich von 1967 bis 1989 betrieben wurde.

Im Anschluß daran wurde von 1990 bis 1997 der Neubereich erschlossen und zur Abfallablagerung genutzt.

In diesem Zeitraum wurden im Neubereich insgesamt ca. 250.000 t Abfälle aus dem Einzugsgebiet des Landkreises Mittweider abgelagert.

Der Deponiestandort liegt ca. 1 km nördlich der Stadt Penig auf dem Gelände einer ehemaligen Kiessandgrube.

Das Gelände der Grubendeponie umfaßt insgesamt (Alt- und Neukörper) ca. 16 ha, wobei der Neubereich eine Fläche von 2,2 ha hat.

Der Standort befindet sich in einer Höhe von 273 m ü. HN im nördlichen und bis 234 m ü. HN im südlichen Bereich.

Vor Beginn der Abfallablagerung im Neubereich wurde der dort vorhandene Boden soweit abgetragen, daß im Untergrund überwiegend bindiges Material anstand. Hydrologisch betrachtet ist nicht mit ausgeprägten Grundwasserleitern zu rechnen.

Da lediglich der Neubereich der Ablagerung Gegenstand unserer Untersuchung ist, beschreibt im Folgenden der Begriff „Deponie Penig“ ausschließlich den Neubereich der Ablagerung.

## 2.4.2 Deponiegasdaten (Ist - Zustand)

Der Neukörper der Deponie hat 5 Gasbrunnen, wovon heute noch 4 besaugt werden.

Die Verbrennung des Deponiegases über die Hochtemperatur-Fackel erfolgt diskontinuierlich. Im Deponiegas reichert sich während der Stillstandphase ein Methan-Anteil von 75 Vol % an. Bei der anschließenden Verbrennung über die HTV sinkt dieser Wert jedoch rapide ab, bis nach kurzer Zeit der Methan-Anteil für eine Verbrennung nicht mehr ausreicht.

Während der Verbrennungsphase besteht ein konstanter Volumenstrom von 10 - 15 m<sup>3</sup>/h Deponiegas.

Aufgrund der diskontinuierlichen Betriebsweise steht das Deponiegas lange mit dem Wasser im Deponiekörper im Kontakt. Dies führt dazu, daß das Kohlenstoffdioxid im erhöhten Maße absorbiert werden kann, sodaß ein relativ hohes CH<sub>4</sub> / CO<sub>2</sub> Verhältnis von rund 2,9 vorherrscht [SCHNAPKE 2006].

Für das Jahr 2009 ist der Bau einer Photovoltaik-Anlage geplant, um die freistehenden Flächen der Deponie sinnvoll zu nutzen.

## Deponiegasdaten (voraussichtliche Entwicklung)

Bei der Betrachtung der Entwicklung der Deponie Penig bis 2030 dient als Quelle u.a. die Diplomarbeit von Frau Schnapke aus dem Jahr 2006. Die Gasprognosen basieren sowohl

auf der Berechnung nach Tabasaran / Rettenberger (RETTENBERGER 1992), als auch nach Weber (WEBER 1990).

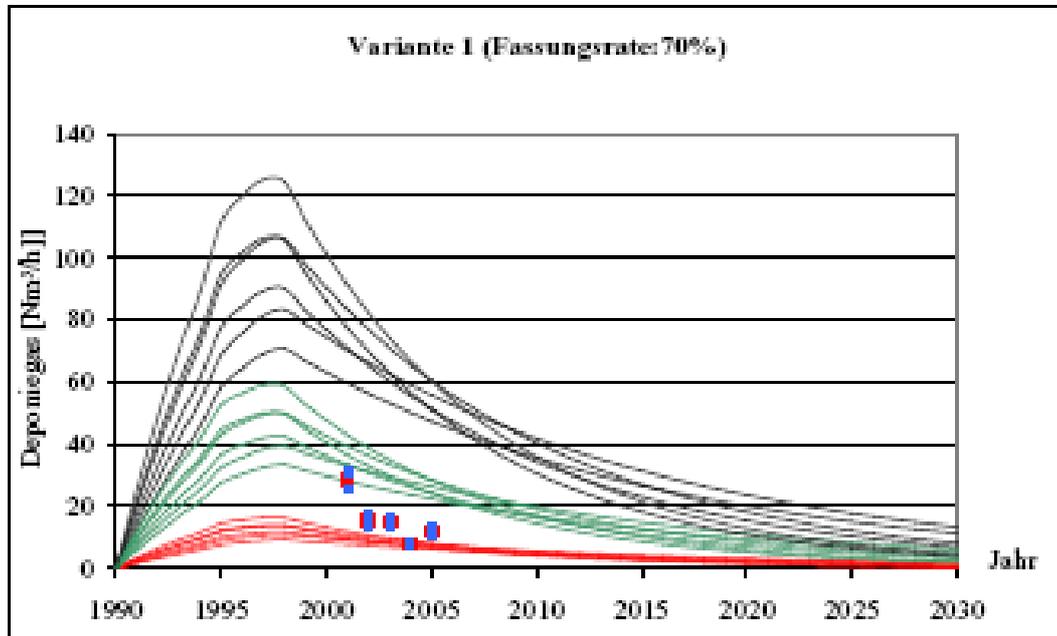


Abbildung 10: Gasprognose nach Tabasaran / Rettenberger für die Deponie Penig

Die Abbildung 10 stellt die Gasprognose nach Tabasaran / Rettenberger (RETTENBERGER 1992) dar.

Die rot markierten Funktionsgraphen beschreiben die Ergebnisse für einen Wassergehalt von 30 %. Die grünen Funktionsgraphen stehen für Gasvolumenströme bei einem Wassergehalt von 40 % und die schwarzen für Gasvolumenströme bei einem Wassergehalt von 50 %.

Hierbei ist zu erkennen, daß das Maximum der Gasproduktion im Jahr 1998 lag, drei Jahre bevor eine Oberflächenabdichtung aufgebracht wurde.

Zudem ist ersichtlich, daß der Wassergehalt im Deponiekörper zwischen 30 und 40 % als realistisch anzunehmen ist.

Folgend wird die Gasprognose nach dem Modell von Weber aufgezeigt.

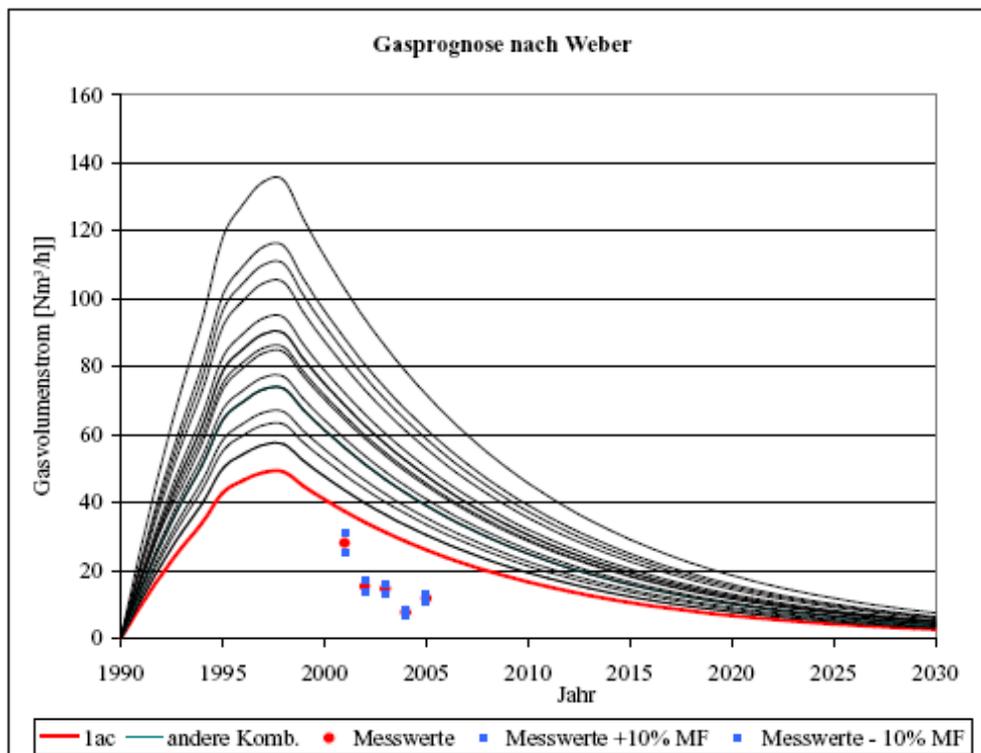


Abbildung 11: Gasprognosen nach Weber für die Deponie Penig

Die Abbildung 11 zeigt die Gasprognosen nach Weber (WEBER 1990) für die Deponie Penig

Auch hier fällt das Maximum der Gasproduktion auf das Jahr 1998.

Die Parameterkombination mit der größten Annäherung an die tatsächlich gemessenen Gasvolumenströme ist im Diagramm als roter Funktionsgraph dargestellt.

Bei den beiden Modellen ist zu beachten, daß Gaswerte auf der Deponie lediglich in einem Zeitraum von 5 Jahren gemessen wurden, von 2001 bis 2005. Dies bedeutet, daß aufgrund des kleinen Zeitraumes theoretisch keine verlässliche Datenbasis für einen Vergleich vorhanden ist. Zudem muß berücksichtigt werden, daß die Messungen in einem Zeitraum nach der Oberflächenabdeckung erfolgten. Dies hat Einfluß auf die Halbwertszeit des Abfalls, da es nach Aufbringung einer Oberflächenabdichtung durch Wassermangel zu einer Art „Trockenstabilisierung“ kommt und damit zu einer Verlängerung der Halbwertszeit des Abfalls.

Nach Betrachtung beider Modelle und Beachtung unterschiedlicher Rahmenbedingungen und Fehlerfaktoren läßt sich folgende Prognosetabelle für die Gasvolumenströme bis 2030 für die Deponie Penig darstellen.

Jahr	Deponiegas <sub>orig.</sub> [Nm <sup>3</sup> /h]	Jahr	Deponiegas <sub>orig.</sub> [Nm <sup>3</sup> /h]
2006	11,0	2019	3,0
2007	9,9	2020	2,7
2008	9,0	2021	2,5
2009	8,1	2022	2,2
2010	7,4	2023	2,0
2011	6,7	2024	1,8
2012	6,0	2025	1,6
2013	5,5	2026	1,5
2014	4,9	2027	1,3
2015	4,5	2028	1,2
2016	4,0	2029	1,1
2017	3,7	2030	1,0
2018	3,3		

Tab.2: Gasvolumenströme der modifizierten Gasprognose für die Deponie Penig  
[Schnapke 2006]

### 3. Thermische Verfahren zur Deponieschwachgasbehandlung

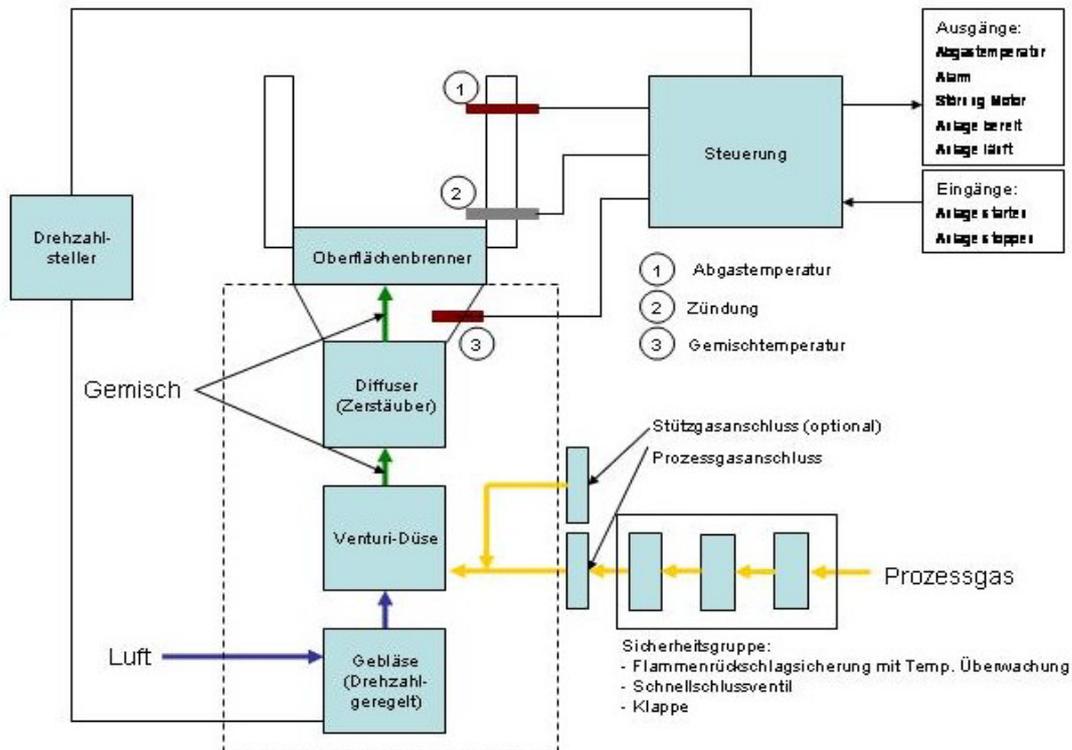
Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, daß Deponiegas mit einem Methangehalt von über 25 Vol % über „normale“ Hochtemperaturfackeln zuverlässig entsorgt wird. Bei geringeren Methangehalten muß zusätzliche Energie zugeführt werden, damit eine vollständige Oxydation des Methans erreicht wird oder eine andere Technik (Schwachgastechnik) verwendet werden.

Derzeit geben die verschiedenen Hersteller hier unterschiedliche Mindestqualitäten und Quantitäten für das Rohgas mit minimaler Feuerungsleistung an. Wir gehen daher davon aus, daß bei weiterer und stärkerer Marktnachfrage noch Optimierungen (technisch + kaufmännisch) durch die Hersteller möglich sind.

### 3.1 Kohlenstoff - Converter

Der Kohlenstoff - Converter (CHC) von LAMBDA ist ein Oberflächenbrenner auf Basis eines Metallgewebes. Deponiegas wird mit Luft gemischt und über einen Zerstäuber durch ein heißes Metallgewebe gedrückt, an dessen Oberfläche die Oxidation des Deponiegases erfolgt.

CHC - Anlagen können zwischen ca. 17 und 170 m<sup>3</sup>/h Deponiegas beseitigen, bei einem Methangehalt von über 8 Vol % funktioniert das Verfahren autotherm. Optional kann Stützgas zur Beseitigung von geringeren Methangehalten verwendet werden. [PARRAGI, ESCHEY UND HAUBRICHS 2008]



**Abbildung 12: Funktionsschema des LAMBDA Kohlenstoff - Converters (CHC), die Gasförderung und -analyse muss bauseits gestellt werden [PARRAGI, ESCHEY UND HAUBRICHS 2007]**

Seit Mitte 2008 bietet die Firma UMAT (neu: Roediger BioEnergie GmbH) ebenfalls eine bauähnliche Schwachgasfackel an. Der wesentliche Unterschied zu LAMBDA besteht nach Herstellerangaben in der Verwendung von Keramikbauteilen anstatt des Edelstahlbrennereinsatz.



Photo 1: Schwachgasfackel Roediger BioEnergie – Werksphoto



Photo 2: CHC – Anlage, Fabr. LAMBDA – Photo ZVA Erlangen

## 3.2 Schwachgasfackeln

Die Schwachgasfackeln von C-nox, C-deg und HAASE können autotherm, d.h. ohne Stützgas oder Deponiegas bis unter 10 Vol % Methan verbrennen. Ermöglicht wird dies durch die regenerative Vorwärmung der Verbrennungsluft mittels Abgas-Luft-Wärmetauscher. Unterhalb von 10 Vol % Methan kann der Betrieb durch Stützgaszugabe gewährleistet werden.

Diese Schwachgasfackeln können in der Größe (d.h. thermische Leistung) individuell an den Standort angepaßt werden.

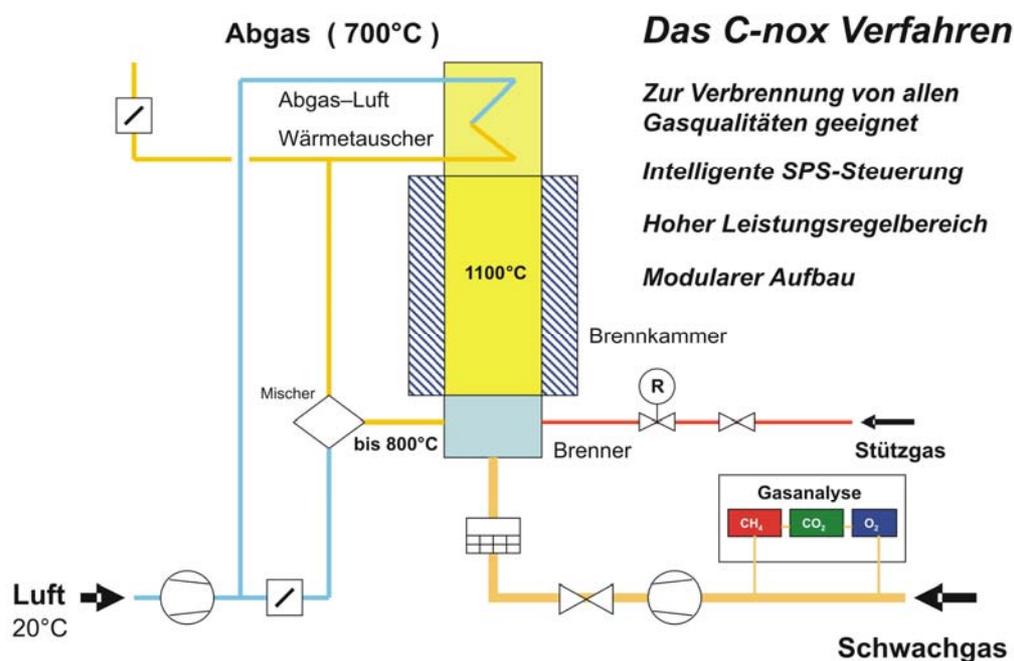


Abbildung. 13: Funktionsschema der C-nox Schwachgasfackel [HEGEMANN UND KÜGLER 2007]



Photo 3: HAASE Schwachgasfackel, eigenes Photo

### 3.3 Stationäre Wirbelschichtfeuerung

Grundlage des Verfahrens von ES+S ist die Wirbelschichtverbrennung, bei der das Deponiegas in ein fluidisiertes Wirbelbett aus heißen mineralischen Partikeln geleitet wird, an deren Oberfläche sich die Oxidation der organischen Inhaltsstoffe des Deponiegases vollzieht. Die Deponiegasentsorgung ist mit diesem Verfahren bis zu einem Methangehalt von 7 Vol % möglich [ES+S 2007 UND 2008].



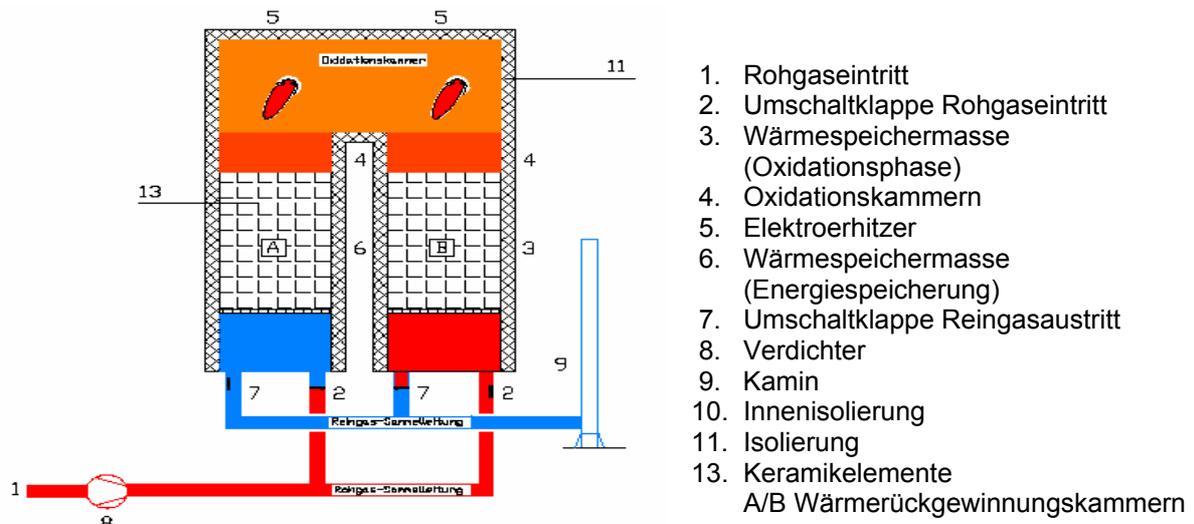


Abbildung. 15: Verfahrensschema der Nachverbrennung im DEPOTHERM®-Reaktor (Druckbetrieb) [UMAT 2005]

### 3.5 Pro2 IC - Modul

Die Schwachgasentsorgungsanlage von Pro2 in Containerbauweise mit Rekuperativer-Thermischer-Oxidation (IC-Modul) kann in einem Bereich von 10 - 40 Vol % Methan eingesetzt werden [PRO2 2007].

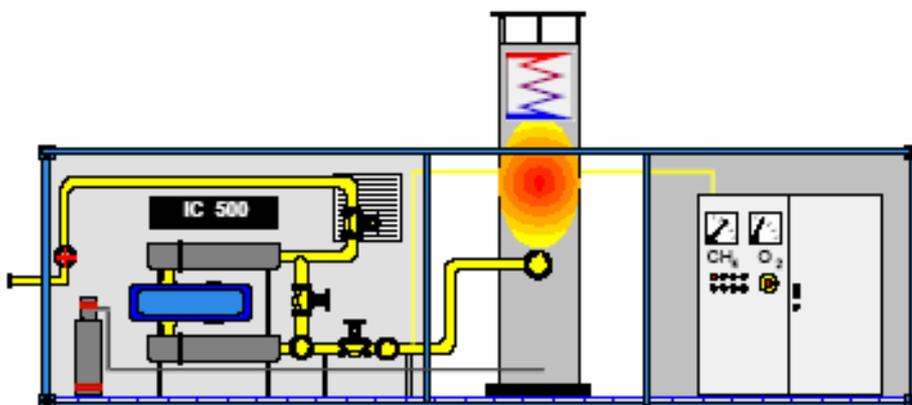


Abbildung. 16: Schematischer Schnitt durch das IC-Modul von PRO2 [PRO2 2006]

## **4. Biologische Verfahren zur Deponieschwachgasbehandlung**

### **4.1 In-Situ-Stabilisierung**

Bei diesem Verfahren wird durch das Einbringen von Luft in den Deponiekörper der aerobe Abbau der Restorganik des abgelagerten Abfalls angeregt und eine Stabilisierung des Abfalls in kürzerer Zeit bewirkt.

Vorteilhaft ist, daß i.d.R. nach der erfolgten In-Situ-Stabilisierung (nach 3 bis 5 Jahren) keine Deponiegase mehr anfallen und die Nachsorgezeiträume für Sickerwasser um mehrere Jahrzehnte verkürzt werden sollen.

Die Kosten einer solchen Behandlung werden von HEYER, HUPE, UND STEGMANN 2007 auf 0,5 bis 3 € / m<sup>3</sup> Deponievolumen beziffert, bzw. 0,5 bis 1 € / m<sup>3</sup> Deponievolumen für große Deponien [HEYER 2008]. Die höchsten spezifischen Kosten fallen demnach bei kleinen Altdeponien ohne bestehende Infrastruktur an.

Angeboten werden solche Verfahren u.a. von CDM - Consult GmbH (vergl. Internationale Bio- und Deponiegas Fachtagung am 28. / 29. April 2009 in Weimar) und dem Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft Prof. Dr. Stegmann und Partner (IfAS) in Hamburg.

### **4.2 Biofilter**

Die Wirkungsweise von Biofiltern beruht darauf, daß Mikroorganismen Methan und andere Inhaltsstoffe des Deponiegases als Energiequelle nutzen können und auf diese Weise das Deponiegas reinigen.

Biofilter können sowohl aktiv als auch passiv betrieben werden. Voraussetzung für gute Reinigungsleistungen ist, eine geringe Methanbelastung des Deponiegases (unterhalb der Unteren Explosionsgrenze), eine gute Feuchte- und Sauerstoff-

versorgung des Filterbettes sowie eine zuverlässige pH- und Temperaturführung [STACHOWITZ 2007].

Dabei muß jedoch beachtet werden, dass die Auslegung eines Biofilters zur Methanoxidation nicht der eines Biofilters zur Geruchsminimierung entspricht. Die wenigsten Hersteller von Biofiltern sichern jedoch zurzeit eine Methanoxidation zu. Zukünftig werden solche Verfahren jedoch gerade für die Oxidation von Deponiegas mit sehr geringen Methankonzentrationen an Bedeutung gewinnen. [SCHNAPKE 2006]

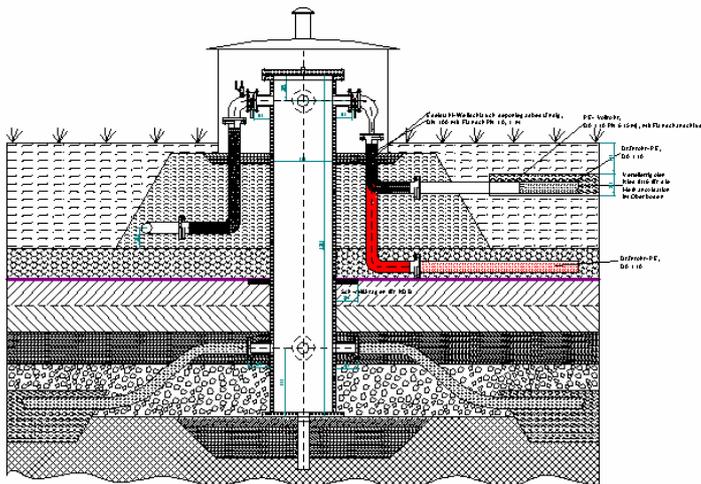


Abb. 17: Rekultivierungsschicht als Biofilter

Quelle: ähnlich [Seyfert, SEF Energietechnik GmbH, Tagungsbuch Dessau 2008]

#### 4. Individuelle Lösungen für Deponie Wörth, Budenheim, Penig und Buckenhof

Die Konzeptlösungsvorschläge für die Deponien Wörth, Budenheim, Penig und Buckenhof wurden unter Berücksichtigung der spezifischen Standort- und Rahmenbedingungen individuell erarbeitet. Dabei wurden die vorhandene Technik am Standort, die ökonomischen Vorgaben, die Wirtschaftlichkeit und die Machbarkeit der möglichen Schwachgasbehandlungstechniken als auch die ökologischen Aspekte betrachtet.

## 4.1 Schwachgaskonzept für die Deponie Budenheim

Aufgrund der Rahmenbedingungen der Deponie Budenheim, erfolgt die Umsetzung zur Beseitigung des Schwachgases über den konstruktiven Umbau der bestehenden Fackel an eine geringere Feuerungsleistung (insb. Methangehalt).

Um eine kontinuierliche Verbrennung zu gewährleisten, ist eine Stützgasbefeuerung nötig. Als Möglichkeit hierfür bietet sich die Verwendung von Gutgas (Deponiegas) an. Dieses wird vor dem BHKW über eine zusätzliche Rohrführung abgezweigt und anschließend der Fackel zugeführt. Der Vorteil in dieser Methode liegt in der einfachen und kostengünstigen Umsetzung, unter der Berücksichtigung einer geringeren EEG – Einspeisung für die bestehende BHKW - Anlage.

## 4.2 Schwachgaskonzept für die Deponie Wörth

Wie unter 2.1.3 beschrieben, wird voraussichtlich in den nächsten 10 bis 15 Jahren der Anteil an Methan im Deponiegas auf ca. 25 Vol % fallen. Der diskontinuierliche Betrieb der Deponiegasbeseitigung ist jedoch nur so lange möglich, wie die minimale Feuerungsleistung der Hochtemperaturverbrennung nicht unterschritten wird. Diese technische Grenze liegt bei herkömmlichen Fackeln bei 25 Vol % Methan im Deponiegas.

Somit ist für die Zukunft eine geeignete Deponiegasbehandlung zur umweltgerechten Beseitigung des Gases vorzusehen.

In Abhängigkeit der vor Ort bestehenden Rahmenbedingungen bot sich u.E. die Methode eines Kohlenstoff - Converters (CHC) der Firma LAMBDA an. Nach Preisvergleichen und Vergleich von zugesicherten Eigenschaften von verschiedenen Bietern wurde dann der Auftrag an die Firma UMAT (neu: Roediger BioEnergie GmbH) mit einer Schwachgasfackel vergeben. Die Inbetriebnahme erfolgte im Dezember 2008 und unser Besuch steht für Mitte Februar 2009 an, so daß Sie auf der Veranstaltung in Kassel die aktuellen Betriebserfahrungen nach 4 Monaten erfahren können.

### **4.3 Schwachgaskonzept für die Deponie Penig**

Die sinkenden Gasmengen sowie der abfallende Methangehalt und damit auch der sinkende Heizwert führen auf der Deponie Penig dazu, daß die Entsorgung des anfallenden Deponieschwachgases mit Problemen behaftet ist.

Die Entsorgung des Schwachgases wird derzeit über den diskontinuierlichen Betrieb der vor Ort installierten HTV - Anlage gewährleistet.

Um die HTV - Anlage fahren zu können, sind ein Mindest-Methangehalt von 30 Vol % und ein ausreichender Volumenstrom erforderlich.

Da diese qualitativen und quantitativen Rahmenbedingungen jedoch nicht kontinuierlich bestehen, wird das Deponiegas in einem definierten Intervall angestaut und anschließend diskontinuierlich entsorgt.

Langfristig könnte jedoch in Zukunft ein alternatives Verfahren zur Deponierestgasbehandlung notwendig werden.

Frau Schnapke erörterte in Ihrer Diplomarbeit (2006) die Vor- und Nachteile der verschiedenen Verfahren in Bezug auf die vorhandenen Rahmenbedingungen der Deponie Penig und kam zu dem Schluß, daß der DEPOTHERM<sup>®</sup>-Thermoreaktor die beste Alternative sei.

In Abhängigkeit der technischen, ökonomischen und ökologischen Umsetzbarkeit spricht Frau Schnapke in ihrer Diplomarbeit die Handlungsempfehlung für dieses Verfahren aus.

Unter Abwägung aller Entscheidungskriterien wird der diskontinuierliche Betrieb der bestehenden HTV – Anlage bis heute fortgeführt.

### **4.4 Schwachgaskonzept für die Deponie Buckenhof**

Die ursprünglichen Rahmenbedingungen aus Herbst 2007 zur Nutzung des Deponiegases mittels Zündstrahlmotor oder Turbine haben sich seitdem so geändert, daß im Mai 2008 eine CHC - Anlage zum weiteren Testbetrieb eingesetzt wurde. Nach Aussage des Betreibers (Stand Januar 2009) läuft das installierte CHC – Modul ohne Probleme kontinuierlich seit der Übergabe der Anlage.

## 6. Quellenverzeichnis

- Entfellner, G., Hiemstra, R., DAS - IB GmbH (2008): Schwachgas – Konzept für die Deponie Buckenhof bei Erlangen  
In: DAS-IB GmbH: [Hrsg.]: Bio- & Deponiegas Fachtagung 2008, Synergien nutzen und voneinander lernen II, April 2008
- ES+S GmbH (2005): Die IMGES+S Wirbelschichtfackel – Eine neue Qualität in der Deponienachsorge. [http://www.es-plus-s.de/Expose\\_ES\\_S\\_Wirbel-schichtfackel.pdf](http://www.es-plus-s.de/Expose_ES_S_Wirbel-schichtfackel.pdf), 2005
- ES+S GmbH (2006): Stationäre Wirbelschichtfeuerung (SWSF) zur Entsorgung von heizwertarmen Deponie-Restgasen im beaufsichtigungsfreien Dauerbetrieb - Erfahrungen und Ergebnisse. Präsentationen in Kassel und Ludwigsburg, 2006
- ES+S Energy Systems GmbH (2008): Wirbelschichtfackel zur energetischen Nutzung von Deponieschwachgas, Müll und Abfall # 11.08, S. 562 ff
- Haubrichs, R. (2008): Veränderte Bedingungen – Rückbau und Anpassung von Gasanlagen auf Deponien, 2008.  
In: DAS - IB GmbH: [Hrsg.]: Bio- & Deponiegas Fachtagung 2008, Synergien nutzen und voneinander lernen II, April 2008
- Hegemann, J. und Kügler, L. (2007): Grundlagen der Schwachgasverbrennung.  
In: DAS - IB GmbH: [Hrsg.]: Deponie- & Biogasanlagen, Synergien nutzen - voneinander lernen, April 2007
- Heyer, K.-U., Hupe, K. und Stegmann, R. (2007): Aerobe in situ Stabilisierung und passive Schwachgasbehandlung zur Reduzierung des Nachsorgeaufwands.  
In: DAS - IB GmbH: [Hrsg.]: Deponie- & Biogasanlagen, Synergien nutzen - voneinander lernen, April 2007
- Heyer, K.-U. (2008): Aerobe in situ Stabilisierung der Deponie Dörentrop: Technik und Auswirkungen zur Emissionsreduzierung in der Stilllegungsphase  
In: DAS - IB GmbH: [Hrsg.]: Bio- & Deponiegas Fachtagung 2008, Synergien nutzen und voneinander lernen II, April 2008
- Hörrlein, Alfons. (2009): emails an den Verfasser bezüglich „Entgasungsanlage Deponie Buckenhof“ – ZVA Erlangen
- Parragi, D., Eschey, H. und Haubrichs, R. (2007): Durchgängiges Deponiegas-Behandlungskonzept mit herkömmlichen und innovativen Verfahren über den gesamten Methanbereich.  
In: DAS -IB GmbH: [Hrsg.]: Deponie- & Biogasanlagen, Synergien nutzen - voneinander lernen, April 2007
- Pro2 (2006): Schwachgasanlagen - Rekuperative-Thermische-Oxidation. [http://www.pro-2.net/pro2/de/Download/Deutsch/schwachgas\\_D.PDF](http://www.pro-2.net/pro2/de/Download/Deutsch/schwachgas_D.PDF). Stand September 2006
- Rettenberger, G. (1992): Der Deponiegashaushalt in Altablagerungen. In: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Leitfaden Deponiegas. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Vol. 10, 1992
- Schnapke, A. (2006): Entwicklung eines Konzeptes zur Schwachgasbehandlung für den Deponiestandort Penig des Abfallwirtschaftsverbandes Chemnitz (AWVC) – Technische, ökonomische und ökologische Variantendiskussion. Diplomarbeit, TU Dresden & DAS – IB GmbH, Dezember 2006
- Schnapke, A., Stachowitz, W.H., DAS - IB GmbH (2007): Entwicklung eines Konzeptes zur Schwachgasbehandlung auf einer Deponie.

- In: DAS-IB GmbH [Hrsg.]: Bio- und Deponiegas Fachtagung 2007 – Synergien nutzen und voneinander lernen, April 2007
- Seyfert, A. (2008): Passive Systeme zur Deponiegasverteilung und Methanoxidation im Oberboden Auslegung, Kosten und Meßergebnisse.  
In: DAS - IB GmbH [Hrsg.]: Bio- und Deponiegas Fachtagung 2008, Synergien nutzen und voneinander lernen II, April 2008
- Specht, N. (2006): Deponiefolgenutzung mit einem Freizeit-, Sport- und Erholungspark,  
In: DAS - IB GmbH [Hrsg.]: Deponie- & Biogasanlagen der gemeinsame Einstieg, Tagungsband Dresden, 9./10. Mai 2006
- Stachowitz, W. H. (2005): Carbon trading and carbon credits with landfill gas (LFG) - JI- and CDM-projects. In: Cossu, R. and Stegmann, R. (Hrsg.): Proceedings (CD-ROM) of Sardinia 2005 - Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, October 2005
- Stachowitz, W.H. (2007): Biogas- und Deponiegashandbuch. DAS – IB GmbH, Kiel. 7. Auflage, April 2008
- Stachowitz, W. H., DAS - IB GmbH (2008): Schwachgaskonzepte anhand der Deponien Wörth sowie Budenheim; Umbau von BHKW – Anlagen am Beispiel ZD Deiderode und Breinermoor  
In: DAS - IB GmbH [Hrsg.]: Bio- und Deponiegas Fachtagung 2008 Synergien nutzen und voneinander lernen II, April 2008
- Stachowitz, W. H. (2008): während der 69. Landesgruppen- und Fachtagung VKS im VKU, Landesgruppe Baden Württemberg am 17. und 18. VII. 2008 – Thema Schwachgaskonzepte
- Stachowitz, W. H. (2008): Praxistagung Deponie – wasteconsult Hannover, 3. XII. 2008, Schwachgaskonzepte anhand der Deponien Wörth, Mainz - Budenheim, Penig und Buckenhof
- UMAT (2005): DEPOTHERM®-Thermoreaktor, nichtkatalytische thermische Oxidation, Oktober 2005 und telefonische Auskunft vom 17 und 20.X.2008
- Wabersich, R. und Stachowitz, W.H., (2008): Technische Behandlung von Deponierestgasen - Verfahrensvergleich  
In: KUMAS – Kompetenzzentrum Umwelt: [Hrsg.]: 9. Bayerische Abfall – und Deponietage, Augsburg, 12./13. III. 2008
- Weber, B. (1990): Minimierung der Emissionen der Deponie. Dissertation, Universität Hannover, Heft 74, 1990.
- Wicht, Hartmut. (2009): emails an den Verfasser bezüglich Schwachgasfackel in Wörth – Roediger BioEnergie GmbH

Name, Vorname, Titel:	Stachowitz, Wolfgang Horst, Dipl.-Ing.
Firma / Institution:	DAS – IB GmbH
Straße, Hausnr.:	Techn. Sitz: Preetzer Str. 207 Kaufm. Sitz: Flintbeker Str. 55
PLZ, Ort:	Techn. Sitz: 24147 Kiel Kaufm. Sitz: 24113 Kiel
email:	Info (at) das – ib . de (allgemein nach Absprache)  <a href="http://www.das-ib.de">www.das-ib.de</a>