

**Umweltbundesamt
Referat Z 6
Dessau-Roßlau**



**Fachgutachten:
„Methanemissionen aus der Ablagerung von mechanisch-
biologisch behandelten Abfällen“**

Vorhaben Z 6 – 30533/3

FKZ 360 16 036

Kurzfassung des Abschlussberichts

**IFAS - Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft
Prof. R. Stegmann und Partner
Schellerdamm 19 - 21
21079 Hamburg**



27. April 2012

Kurzfassung des Abschlussberichts

1 Aufgabenstellung

Aufgabenstellung und Ziel des Fachgutachtens ist es, zur Emissionsberichterstattung die fachlichen Grundlagen für die Berechnung der Methanemissionen aus der Ablagerung von MBA-Abfällen zu erarbeiten.

Zur Bearbeitung wurden schwerpunktmäßig Forschungsergebnisse und Praxiserfahrungen der letzten Jahre, insbesondere von Überwachungsmaßnahmen zum Gashaushalt auf MBA-Deponien ausgewertet.

2 Situation der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Deutschland

Eingangs wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung und die Anforderungen an die Ablagerung von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen aufbereitet.

Vom Statistischen Bundesamt werden für das Jahr 2009 folgende Angaben gemacht:

Anzahl mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen:	51
Behandlungskapazität insgesamt:	4,676 Mio. Mg
Behandelte Abfallmenge:	3,958 Mio. Mg
Output:	3,253 Mio. Mg
Davon deponiert:	ca. 1 Mio. Mg

Behandlungsrückstände aus MBA-Anlagen werden auf etwa 40 Deponien abgelagert.

3 Methanbildungspotenzial mechanisch-biologisch behandelter Abfälle

Die Auswertungen früherer und aktueller Untersuchungen und Überwachungsergebnisse von MBA-Deponien führen zu folgenden Erkenntnissen:



- Mittel- und langfristig treten in den meisten MBA-Deponien Gaszusammensetzungen auf, die denen der stabilen Methanphase und der Langzeitphase entsprechen.
- Die Auswertung weist darauf hin, dass bei ausreichend vorbehandelten Abfällen ($AT_4 \leq 5 \text{ mgO}_2/\text{gTS}$, $GB_{21} \leq 20 \text{ NI}/\text{kgTS}$) als Abschätzung zur sicheren Seite ein Gesamtgasbildungspotenzial im Bereich von $30 - 40 \text{ Nm}^3/\text{MgTS}$ zu erwarten ist. Bei einem durchschnittlichen Methangehalt von 60 Vol.-% entspricht dies einem Methanbildungspotenzial von $18 - 24 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{MgTS}$.

4 Halbwertzeit bzw. Reaktionskonstanten zur Methanbildung aus abgelagerten MBA-Abfällen

Höhe und zeitlicher Verlauf der Gasbildung werden u.a. beeinflusst vom Einbauwassergehalt und der Temperatur im Deponiekörper, dem Anteil aerober Abbauprozesse sowie Methanoxidationsprozessen an der Ablagerungsoberfläche bzw. in der Bodenabdeckung.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass sich zum Zeitpunkt der Deponierung noch ein gewisser Restanteil an leicht und mittel abbaubaren und zudem gut verfügbaren organischen Verbindungen im MBA-Abfall befindet. Bei der Deponierung weist der MBA-Abfall eher günstige Randbedingungen für das Einsetzen bzw. die Fortsetzung biologischer Abbauprozesse auf. Daher werden für die Anteile der biologischen Verfügbarkeit und für die Halbwertzeiten (H) des zu deponierenden MBA-Abfallteilstroms folgende Wertebereiche zur Emissionsabschätzung vorgeschlagen:

- gut verfügbare / abbaubare Organik: ca. 60% mit $H = 3 \pm 2$ Jahre
- mittel verfügbare / abbaubare Organik: ca. 20% mit $H = 10 \pm 5$ Jahre
- schwer verfügbare / abbaubare Organik: ca. 20% mit $H = 25 \pm 10$ Jahre

Diese Halbwertzeiten liegen in vergleichbaren Bereichen wie die IPCC-Vorgabewerte.

Der Ansatz mit differenzierten Halbwertzeiten („Dreiphasenmodell“) und die abgeleiteten Restgasbildungspotenziale geben damit die ersten Überwachungsergebnisse an MBA-Deponien wider, die zeigen, dass in den ersten Jahren der Ablagerung die anaeroben Abbauprozesse noch relativ intensiv ablaufen (Abbildung 1).



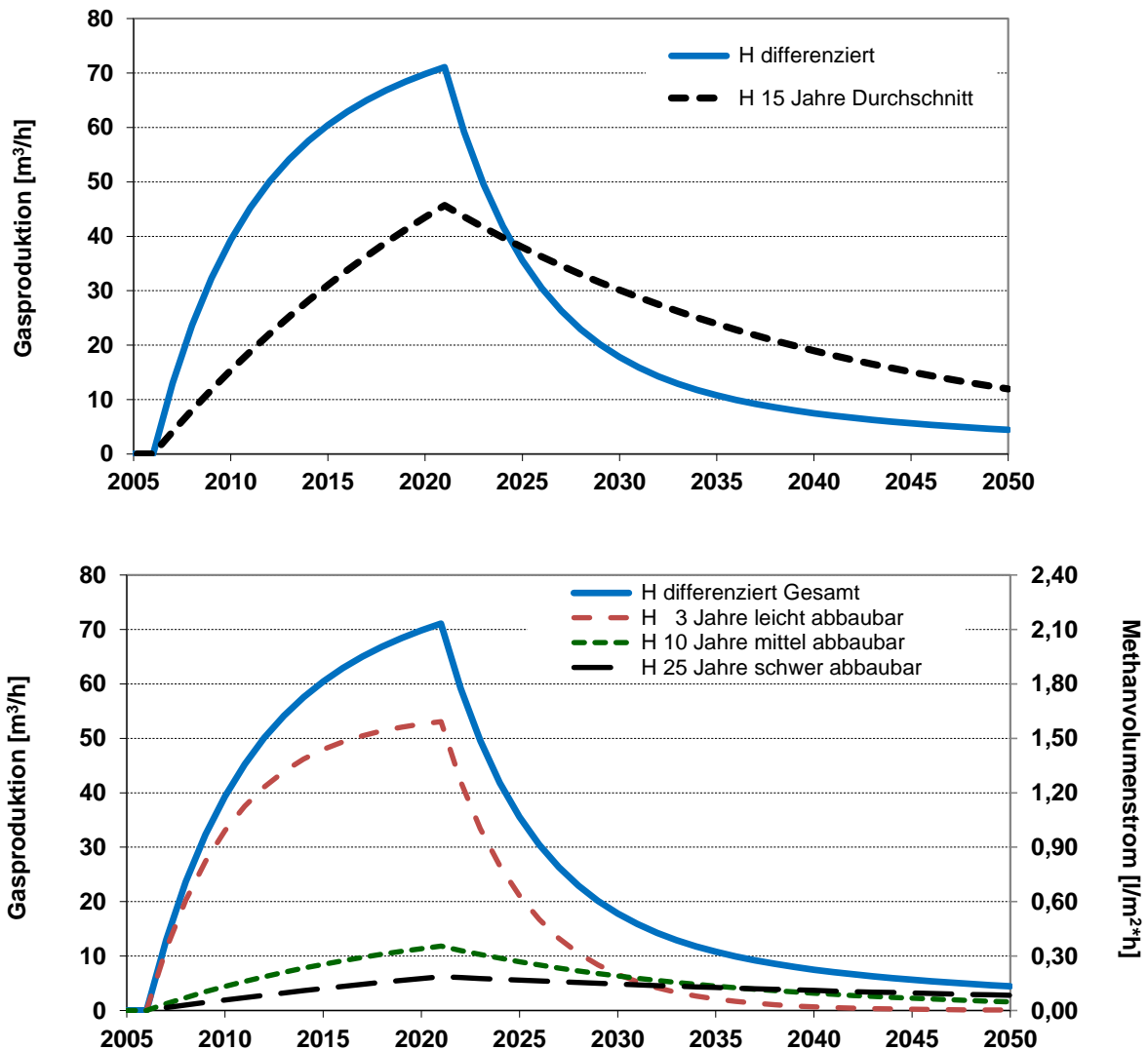


Abb. 1: Oben: Gasprognoserechnung für Einphasenmodell (Halbwertszeit = 15 Jahre) und Dreiphasenmodell (Halbwertszeit H differenziert); unten: Anteil leicht, mittel und schwer abbaubarer Organik an Gasproduktion im Dreiphasenmodell

5 Biologische Methanoxidation bei der Ablagerung von MBA-Abfällen

Die mikrobielle Oxidation von Methan als passive Gasbehandlungsmaßnahme wurde vom IPCC als eine Schlüsseltechnologie zur Behandlung deponiebürtiger Methanemissionen angeführt. Zur Quantifizierung wurde der Methanoxidationsfaktor OX eingeführt.

Einerseits wurden hohe Methanoxidationskapazitäten vieler Böden und Substrate im Laborversuch und teilweise in Freilanduntersuchungen nachgewiesen. Messungen

auf MBA-Deponien und Altdeponien weisen andererseits darauf hin, dass auch auf nicht abgedeckten MBA-Deponien der größte Anteil des Deponiegases den Deponekörper über bevorzugte Gasaustrittsflächen verlässt. So lassen FID-Begehungen auf mehreren MBA-Deponien darauf schließen, dass über lediglich 10% der beprobten Messpunkte etwa 63 – 95% des gesamten Methanemissionsvolumens freigesetzt wird, was einem überdurchschnittlich großen Anteil entspricht. Bei den meisten dieser beprobten Gasaustrittspunkte (Hot Spots) ist davon auszugehen, dass dort keine nennenswerte Methanoxidation erfolgt.

Weitere limitierende Faktoren auf die Methanoxidation sind räumliche und zeitliche Belastungsspitzen, stark schwankende Feuchtegehalte, tendenziell zu niedrige Bodentemperaturen für optimale Stoffwechselprozesse der methanotropen Bakterien und ungünstige Verhältnisse von Methan zu Sauerstoff im Methanoxidationshorizont.

Vor diesem Hintergrund werden weiterhin eher geringe Methanoxidationsfaktoren für die offene und ggf. temporär abgedeckte MBA-Ablagerung abgeleitet. Höhere Methanoxidationsleistungen erfordern eine Bemessung der Boden-/Rekultivierungsschicht zur Methanoxidation, eine entsprechende Bodenauswahl und hochwertige bauliche Ausführung bei der Aufbringung sowie ein Überwachungsprogramm, so dass der abgeleitete Methanoxidationsfaktor die „System-Methanoxidationskapazität“ abbildet (Tabelle 1).

Tab. 1: Vorschläge für Vorgabewerte des Methanoxidationsfaktors OX in Abhängigkeit des emittierten Methanvolumenstroms und der Abdeckungssituation von MBA-Deponien, Schwankungsbereiche

Deponiephase / Abdeckungssituation	OX bei durchschnittlicher Flächenbelastung < 4 l CH ₄ /m ² *h [-]	OX bei durchschnittlicher Flächenbelastung < 2 l CH ₄ /m ² *h [-]	OX bei durchschnittlicher Flächenbelastung < 0,5 l CH ₄ /m ² *h [-]
Ablagerungsphase: offene Ablagerungsfläche	0,1 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,2 ± 0,1
Ablagerungs-/Stilllegungsphase: temporäre Abdeckung mit humosem Boden	0,15 ± 0,1	0,3 ± 0,2	0,45 ± 0,2
Stilllegungs-/Nachsorgephase: technisch optimierte Methan- oxidationsschicht mit Monitoring und Wartung/Reparaturen	0,6 ± 0,2	0,7 ± 0,2	0,75 ± 0,2



6 Prüfung des First Order Decay Modells

Aufbauend auf der Auswertung und Ableitung von Vorgabewerten zur Abschätzung von Methanemissionen aus MBA-Deponien erfolgte die Prüfung und Anpassung des First Order Decay (FOD) Modells der IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006¹. Die IPCC-Methodik basiert auf einem Ansatz 1. Ordnung. Es gibt drei Rangstufen („Tier 1 – Tier 3“), mit der die Qualität der Abschätzung in Abhängigkeit von den Eingangsdaten eingeordnet wird. Das Fachgutachten wurde so angelegt, dass zukünftig die höchste Rangstufe („Tier 3“) erreicht werden kann, wenn noch mehr Überwachungsergebnisse von MBA-Deponien vorliegen.

Die Prüfung des FOD-Modells in Verbindung mit den Auswertungen zum Gashaushalt von MBA-Deponien zeigt, dass es keinen Anlass gibt, grundsätzlich davon abzuweichen. Es erfolgte daher eine Validierung und damit Anpassung des Modells auf das Emissionsverhalten von MBA-Deponien für folgende Daten und Emissionsfaktoren:

- abgelagerte MBA-Abfallmengen
- Methanbildungspotenzial (L_0)
- „Methane Correction Factor“ (MCF)
- Methananteil im produzierten Deponiegas (F)
- Oxidationsfaktoren (OX)
- Halbwertzeiten ($t_{1/2}$ oder H)
- Anteil des gefassten Methans (R) über ein technisches Gaserfassungssystem
- Verzögerungszeit (Zeitintervall von der Ablagerung bis zum Einsetzen intensiver anaerober Abbauprozesse)

Die bisher verfügbaren Ergebnisse zum Gashaushalt von MBA-Deponien erlauben zwar noch keine statistischen Auswertungen. Dennoch können die erhobenen Daten und abgeleiteten Emissionsfaktoren im Sinne der IPCC-Guidelines als recht umfassend und vollständig eingestuft werden, um die Methanemissionen von MBA-Deponien abzuschätzen. Mit einer fortlaufenden Aktualisierung der Abschätzung werden die ausgewiesenen Unsicherheiten bei mehreren Emissionsfaktoren wie der Halbwertzeit oder der Methanoxidationsrate zunehmend reduziert.

¹ 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Chapter 3, Solid Waste Disposal; Intergovernmental Panel on Climate Change



7 Abschätzung zu Methanemissionen aus MBA-Deponien

Auf der Grundlage der Auswertung zum Methanbildungspotenzial von MBA-Material, der Halbwertzeiten, der Methanoxidation und der deponietechnischen Randbedingungen werden die Methanemissionen und die entsprechenden resultierenden Belastungen der Atmosphäre mit Kohlenstoffdioxidäquivalenten abgeschätzt.

Die Gasprognoserechnung erfolgt mit den abgeleiteten Annahme- und Vorgabewerten weiterhin über einen Ansatz 1. Ordnung. Die Abschätzung zeigt, dass die wesentliche Gasproduktion bereits während der Verfüllphase und in den ersten Jahren der Stilllegungs-/Nachsorgephase erfolgt. Da gerade in dieser Phase bei einer offenen Ablagerungsfläche nur von einer geringen Methanoxidation an der Deponieoberfläche auszugehen ist, treten in diesem Zeitraum die intensivsten Emissionen in die Atmosphäre auf. Sie reduzieren sich deutlich mit Aufbringung einer zur Methanoxidation ausgelegten Oberflächenabdichtung. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für einen MBA-Deponieabschnitt bezüglich der Deponiegasproduktion, der resultierenden Methanemissionen (mit Reduzierung durch Methanoxidation) und der aufsummierten klimarelevanten Emissionen als CO₂-Äquivalente.

Bei den gewählten Annahmen werden als Abschätzung zur sicheren Seite bis zu 266 kg CO₂-Äq./MgTS an abgelagertem MBA-Abfall emittiert, davon bis zu etwa 80% dieser Gesamtemissionsfracht bereits in der Verfüllphase. Die langfristigen Deponiegasemissionen wären ca. 10 – 15 Jahre nach Abschluss der Verfüllung und Aufbringung der Oberflächenabdichtung mit Methanoxidationsfunktion vernachlässigbar.

Wenn zur Abdeckung der Schwankungsbereiche und Unsicherheiten günstigere Annahmen zum Deponiegasbildungspotenzial, zum aeroben Abbau der abgelagerten Organik und zur Methanoxidation an der offenen Deponieoberfläche gewählt werden, reduzieren sich die Emissionen entsprechend.

Die Abschätzung der aktuellen Gesamtmethanemissionen aller MBA-Deponien in Deutschland ergibt letztlich eine große Bandbreite von 60.000 – 135.000 Mg CO₂-Äq./a. Sie können in den nächsten Jahren bei einer durchschnittlichen jähr-

lichen Ablagerung in der bisherigen Größenordnung von ca. 1 Mio. Mg MBA-Abfallfeuchtmasse auf etwa 90.000 – 210.000 Mg CO₂-Äq./a anwachsen.

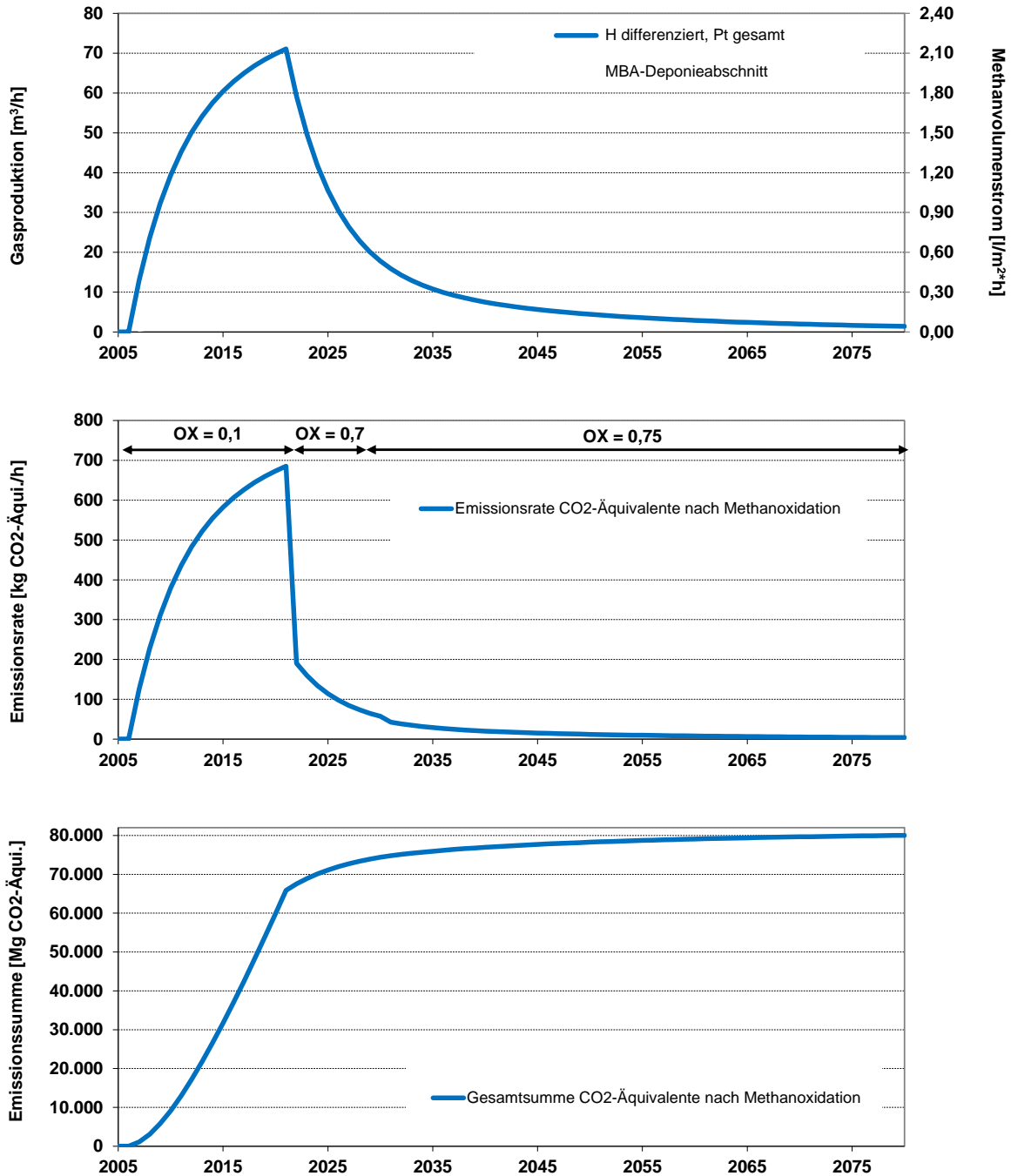


Abb. 2: Beispiel MBA-Deponie: Deponiegasproduktion und verbleibende Methanemissionen in die Atmosphäre in Kohlenstoffdioxidäquivalenten nach Methanoxidation



8 Schlussfolgerungen

Schlussfolgerungen zu Methanemissionen von deponierten MBA-Abfällen :

- MBA-Anlagen werden gemäß der Vorgaben der Deponieverordnung so betrieben, dass der zu deponierende Abfallteilstrom eine biologische Restaktivität und korrespondierende Deponiegasbildung nicht überschreitet. Einerseits wird damit eine Reduktion der gasförmigen Emissionen von ca. 80 – 90% gewährleistet. Andererseits weist der MBA-Abfall mit 30 – 40 Nm³/MgTS noch ein Deponiegasbildungspotenzial auf, wie es auf früheren Siedlungsabfalldeponien nach ca. 10 – 20 Jahren Ablagerungsdauer festzustellen ist.
- In der Praxis des Abfalleinbaus und des Deponiebetriebs weist der MBA-Abfall eher günstige Ausgangsbedingungen für das Einsetzen bzw. Weiterlaufen biologischer Abbauprozesse auf (Homogenität, Feuchte).
- Das bedeutet für die Gasproduktion, dass ein größerer Anteil des Gesamtgaspotenzials mit einer kurzen Halbwertszeit vermutlich bereits in der Ablagerungsphase gebildet wird.

Schlussfolgerungen zu Überwachungsmaßnahmen:

- Auswertungen von FID-Messungen auf MBA-Deponien im Vergleich zur prognostizierten Restgasproduktion weisen darauf hin, dass FID-Begehungen nur sehr bedingt geeignet sind, um Methanemissionen aus MBA-Deponien belastbar abzuschätzen. FID-Messungen werden sehr stark von Randbedingungen wie Luftdruckschwankungen, Wassersättigungsgrad der Oberfläche und bevorzugten Austrittsflächen (Hot Spots) beeinflusst.
- Die Datenlage zu gasförmigen Emissionen aus MBA-Deponien verbessert sich aufgrund von regelmäßigen Überwachungsmaßnahmen erst allmählich, da erst in den letzten Jahren größere Mengen an MBA-Abfällen nach den geltenden Anforderungen deponiert werden.
- Die Anforderungen an die Überwachung von Deponiegasemissionen sind im Anhang 5 der Deponieverordnung festgelegt. Die Auswertungen zeigen, dass schon in der Ablagerungsphase nennenswerte Methanemissionen entstehen können, die entsprechend überwacht werden sollten.
- Über die Überwachungsmaßnahmen und Nachweise gemäß den Anforderungen der DepV hinaus wäre ein wissenschaftliches Untersuchungsprogramm



zum Emissionsverhalten von MBA-Deponien sinnvoll, um die Aussagen und daraus abgeleiteten Werte und Prognosen zur Methanentstehung (Methanbildungspotenzial und Halbwertzeiten) und zur Freisetzung in die Atmosphäre (reduzierender Einfluss der Methanoxidation) abzusichern.

In der Auswertung werden die Unsicherheiten zu den abgeleiteten Emissionsfaktoren, auf denen die Emissionsprognose beruht, aufgezeigt. Diese Unsicherheiten betreffen insbesondere die erst in geringem Umfang verfügbaren Überwachungsergebnisse zum Gashaushalt von MBA-Deponien. Mit den zukünftigen Überwachungsergebnissen und ggf. ergänzenden Untersuchungen können diese Unsicherheiten reduziert werden, um die Prognose der Methanemissionen von MBA-Deponien weiter zu konkretisieren und abzusichern.

Gutachten erstellt von:

Dr.-Ing. Kai-Uwe Heyer

Tel.: 040 / 77 11 07 42

Dr.-Ing. Karsten Hupe

Tel.: 040 / 77 11 07 41

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stegmann

Tel.: 040 / 77 11 07 41

IFAS - Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft

Fax: 040 / 77 11 07 43

Prof. R. Stegmann und Partner

Schellerdamm 19 - 21

21079 Hamburg

e-mail: heyer@ifas-hamburg.de

<http://www.ifas-hamburg.de>

