

# **Emissionen mechanisch-biologisch behandelter Abfälle bei der Deponierung – eine Bilanz aus Langzeitversuchen**

**Anke Bockreis, Iris Steinberg**

Institut WAR, Fachgebiet Abfalltechnik, TU Darmstadt

## **1 Einleitung**

Aufgrund gesetzlicher Vorgaben im Bereich der Abfallwirtschaft müssen ab dem 01.06.2005 alle Abfälle vor ihrer Deponierung entweder mechanisch-biologisch oder thermisch vorbehandelt werden. Um die verschiedenen Arten der Vorbehandlung und deren Auswirkungen auf das Verhalten der vorbehandelten Abfälle bei der Ablagerung abschätzen und vergleichen zu können, wurden in den letzten sieben Jahren am Fachgebiet Abfalltechnik der TU Darmstadt eine Vielzahl von Untersuchungen mit Deponiereaktoren durchgeführt (vgl. DACH, 1998; DANHAMER, 2002). Einen Schwerpunkt der Untersuchungen bildeten die gasförmigen Emissionen aus den Deponiereaktoren unter verschiedenen Bedingungen.

## **2 Material und Methoden**

Für die durchgeführten Untersuchungen wurden unterschiedlich vorbehandelte Abfälle verwendet. Im Einzelnen wurden folgende Abfallchargen untersucht:

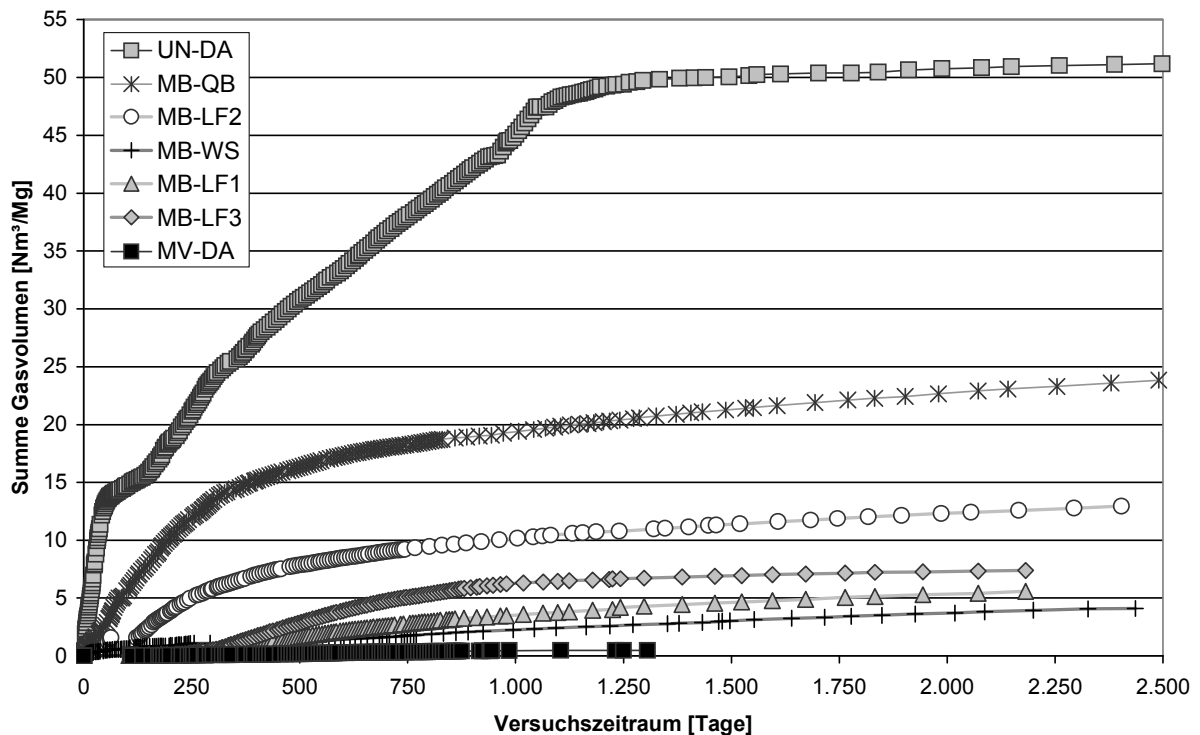
- Unbehandelter Abfall (UN-DA)
- Mechanisch-biologisch vorbehandelter Abfall:  
Behandlungsanlage Lohfelden (MB-LF)  
Behandlungsanlage Quarzbichl (MB-QB)  
Behandlungsanlage Wittstock (MB-WS)
- Thermisch vorbehandelter Abfall (MV-DA)

Durchgeführt wurden die Versuche in Deponiereaktoren mit Volumen von 80 l, 300 l und 2.000 l. Die Umgebungsbedingungen der Deponiereaktoren wurden variiert, um so verschiedene Einflüsse (z. B. Temperatur) simulieren zu können.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Langzeitverhalten von unterschiedlich vorbehandelten Abfällen

In Abbildung 1 sind die kumulierten Gasmengen von unterschiedlich vorbehandelten Abfällen über einen Versuchszeitraum von mehr als sieben Jahren dargestellt. Die Größe der Reaktoren der Abfallchargen MB-LF3 und MV-DA beträgt jeweils 2.000 l, die anderen Abfallchargen sind in Reaktoren der Größe 300 l eingebaut. Die Umgebungstemperatur betrug über den Versuchszeitraum konstant 30°C.



**Abbildung 1** Summe Gasvolumina im Versuchszeitraum

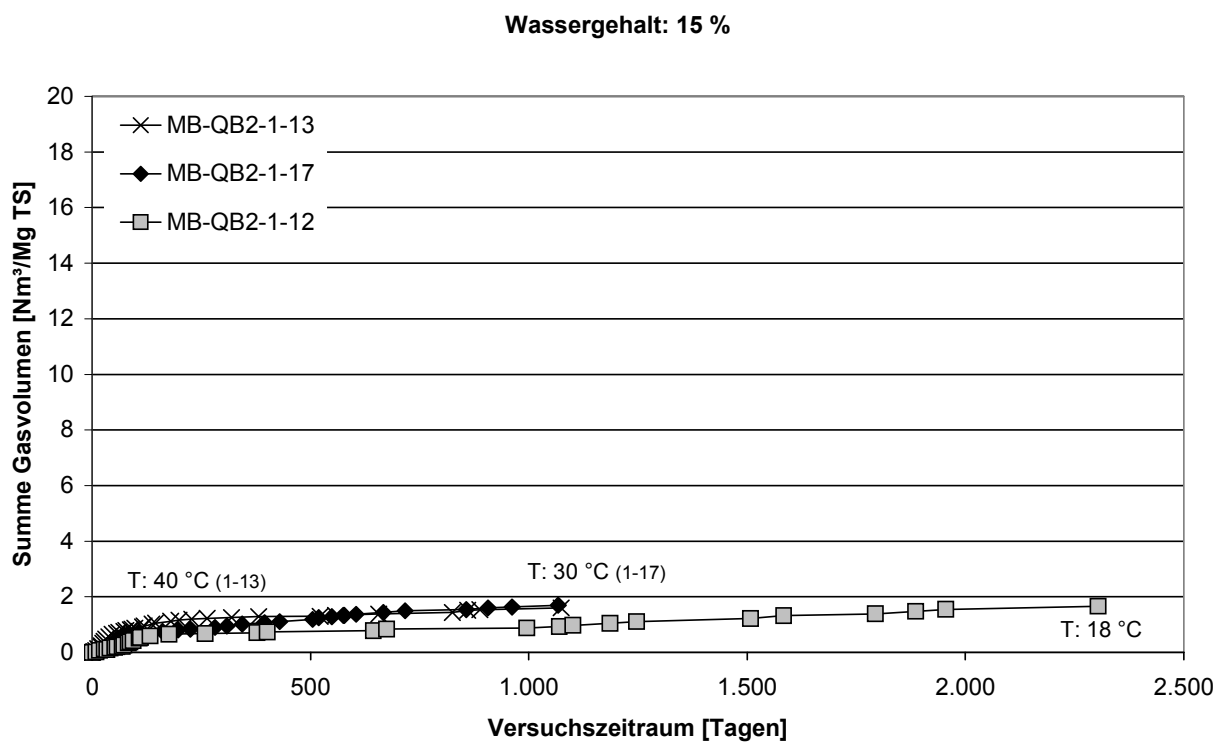
Der Kurvenverlauf der Gassummenkurven bestätigt die Abhängigkeit des gebildeten Gasvolumens von der Art der Vorbehandlung. Die Kurven der mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfälle und die der unbehandelten Abfallcharge zeigen ähnliche Verläufe, variieren aber bis zu Faktor 4. So weisen die Kurven aller Abfälle eine mehr oder minder lange lag-Phase auf, ändern dann ihren Verlauf, steigen an und gehen danach in einen fast linearen Verlauf über.

#### 3.2 Abhängigkeit der gebildeten Gasmengen von der Temperatur und dem Wassergehalt

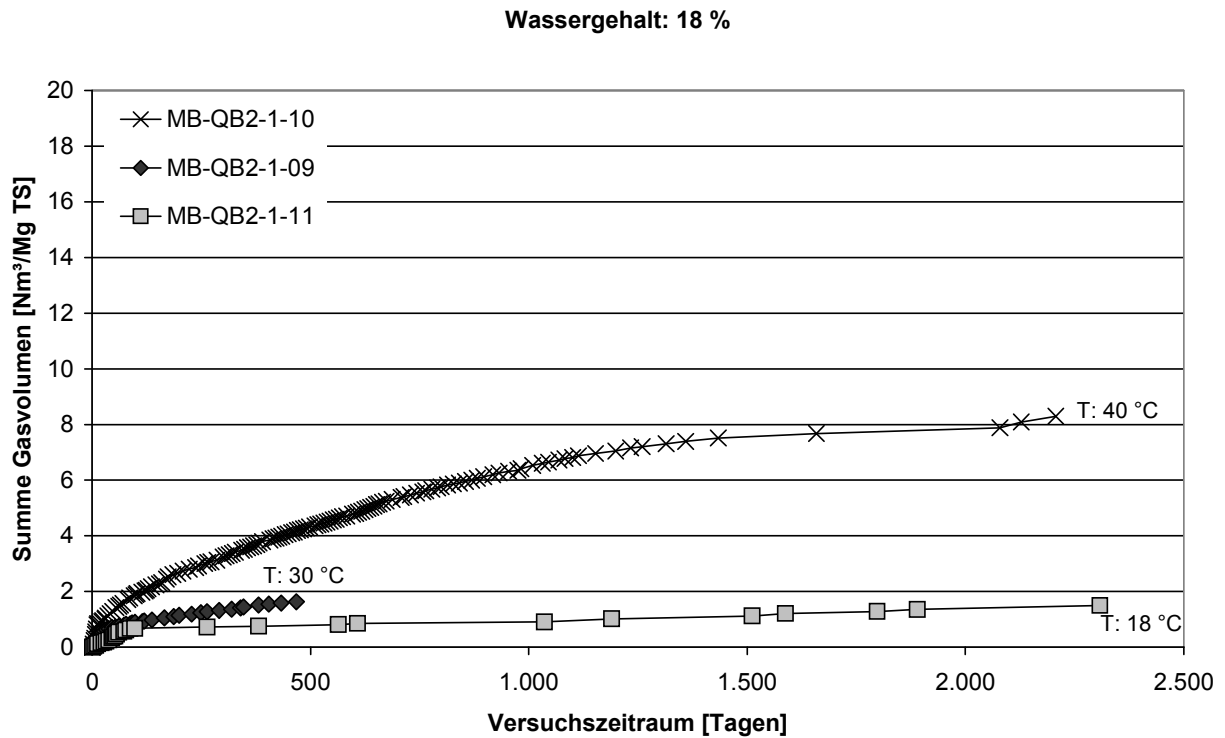
Ein Untersuchungsziel der durchgeführten Versuche ist die Abhängigkeit der Gasbildung von den beiden Einflussgrößen Temperatur und Wassergehalt. Dazu

wurden 80 l Reaktoren mit mechanisch-biologisch vorbehandeltem Abfall befüllt und die Gasbildung bei konstanten Umgebungstemperaturen von 18°C, 30°C und 40°C sowie Wassergehalten des eingebauten Abfalls von 15 – 35 Gew.-% (FS) gemessen. Die entsprechenden Gassummenkurven für den betrachteten Versuchszeitraum sind in Abbildung 2, Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt.

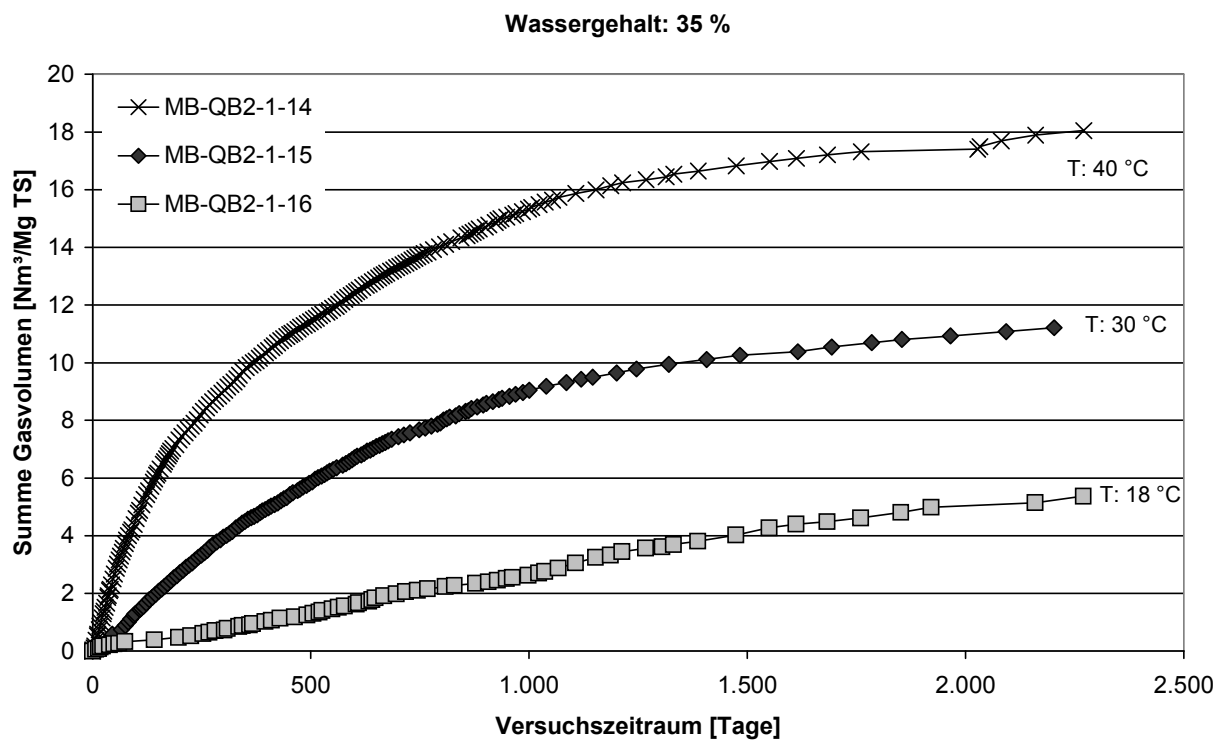
Bei einem Wassergehalt von 15 Gew.-% (vgl. Abbildung 2) liegen die Gassummenkurven aller drei betrachteten Umgebungstemperaturen dicht beieinander und weisen mit 2 Nm<sup>3</sup>/Mg TS generell eine geringe Gasbildung auf. Beträgt der Wassergehalt 18 Gew.-% (vgl. Abbildung 3), so zeigt sich bei Temperaturen von 18°C und 30°C eine dem Wassergehalt von 15 Gew.-% vergleichbare Gasbildung, während bei 40°C ein vergleichsweise höheres Gasvolumen gebildet wird.



**Abbildung 2** Summe Gasvolumina bei verschiedenen Umgebungstemperaturen und einem Wassergehalt von 15 Gew.-%



**Abbildung 3** Summe Gasvolumina bei verschiedenen Umgebungstemperaturen und einem Wassergehalt von 18 Gew.-%

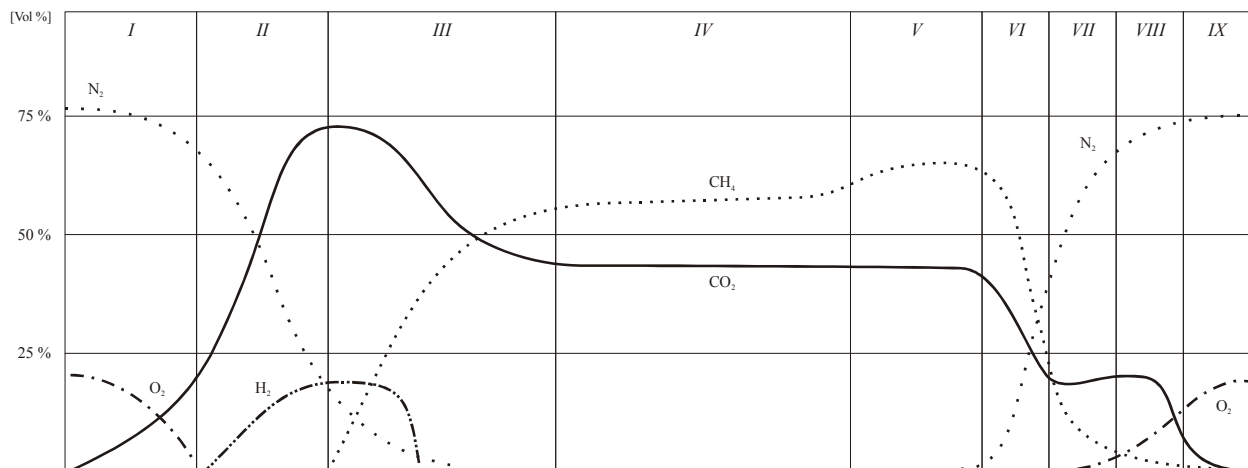


**Abbildung 4** Summe Gasvolumina bei verschiedenen Umgebungstemperaturen und einem Wassergehalt von 35 Gew.-%

Betrachtet man die Summe der Gasvolumina bei einem Wassergehalt von 35 Gew.-% (vgl. Abbildung 4), so liegt die Summe des gebildeten Gasvolumens bei Temperaturen von 18°C um den Faktor zwei über der bei einem Wassergehalt von 15 bzw. 18 Gew.-%, bei Temperaturen von 30°C um den Faktor fünf über der bei einem Wassergehalt von 15 Gew.-% und bei Temperaturen von 40°C um den Faktor neun über der bei einem Wassergehalt von 15 Gew.-% bzw. um den Faktor zwei über der bei einem Wassergehalt von 18 Gew.-%. Somit ist eine deutliche Abhängigkeit der gebildeten Gasvolumina von den beiden Einflussgrößen Temperatur und Wassergehalt festzustellen. Dabei zeigt sich ein stärkerer Einfluss des Wassergehaltes auf die Gasbildung verglichen mit dem Einfluss der Temperatur.

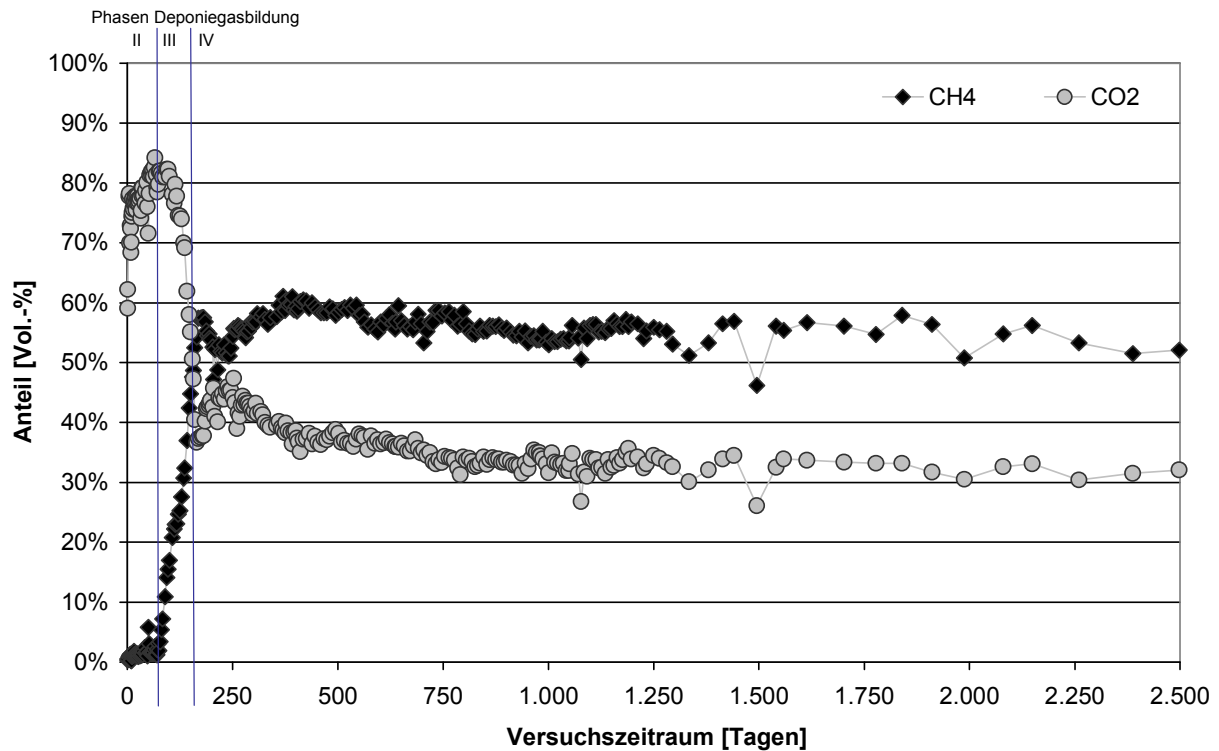
### 3.3 Zusammensetzung des gebildeten Gases

In Abbildung 5 ist ein Modell des langfristigen Verhaltens der Zusammensetzung von Deponiegas dargestellt. Es ist ein kombiniertes Modell des bakteriellen Abbaus von Abfall (Phase I bis IV) nach FARQUHAR & ROVERS (1973) und FRANZIUS (1981) sowie einem Modell für das Langzeitverhalten von Deponiegas bei Altdeponien und Altablagerungen nach RETTENBERGER & MEZGER (1992).



**Abbildung 5** Langzeitmodell der Zusammensetzung von Deponiegas (FARQUHAR & ROVERS 1973; FRANZIUS, 1981; RETTENBERGER & MEZGER, 1992)

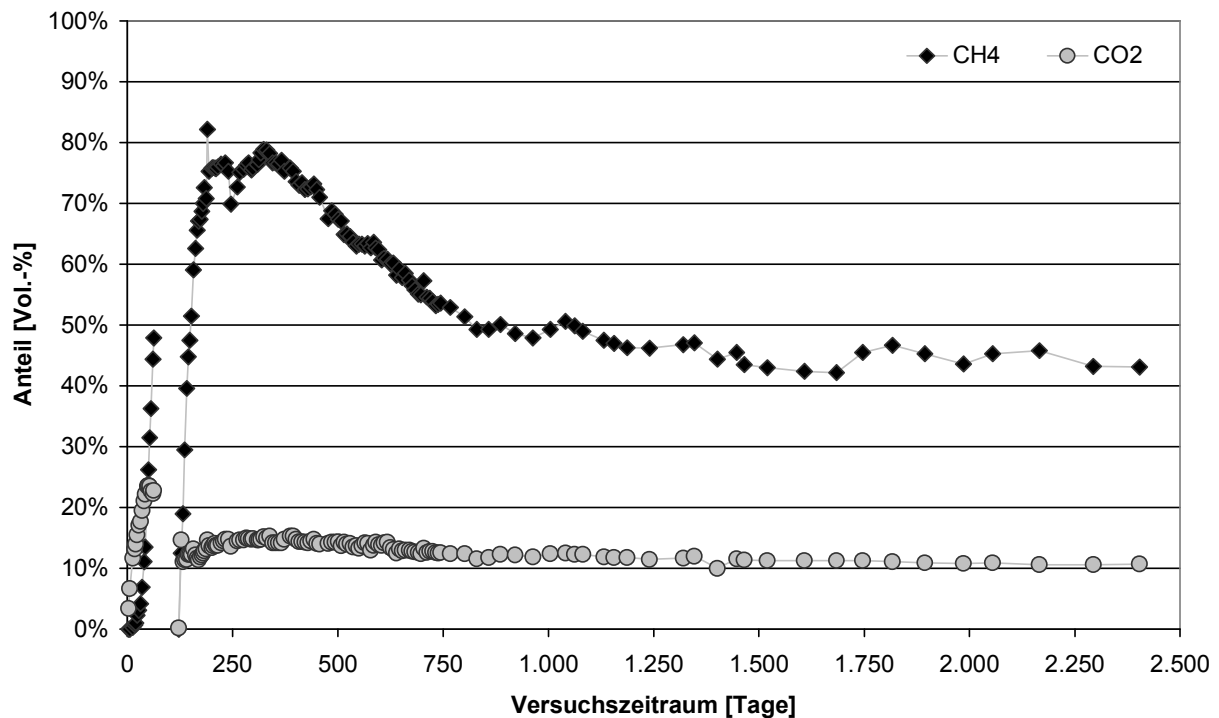
Zur Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse mit dem oben genannten Modell wurde neben der entstehenden Gasmenge die Zusammensetzung des gebildeten Gases der Deponiereaktoren bestimmt. Gemessen wurde der Gehalt von Kohlendioxid, Methan und Sauerstoff. Der Anteil von Methan und Kohlendioxid am gebildeten Gas des unbehandelten Abfalls (UN-DA) ist in Abbildung 6 dargestellt.



**Abbildung 6** Anteil an Methan und Kohlendioxid am gebildeten Gas von unbehandeltem Abfall

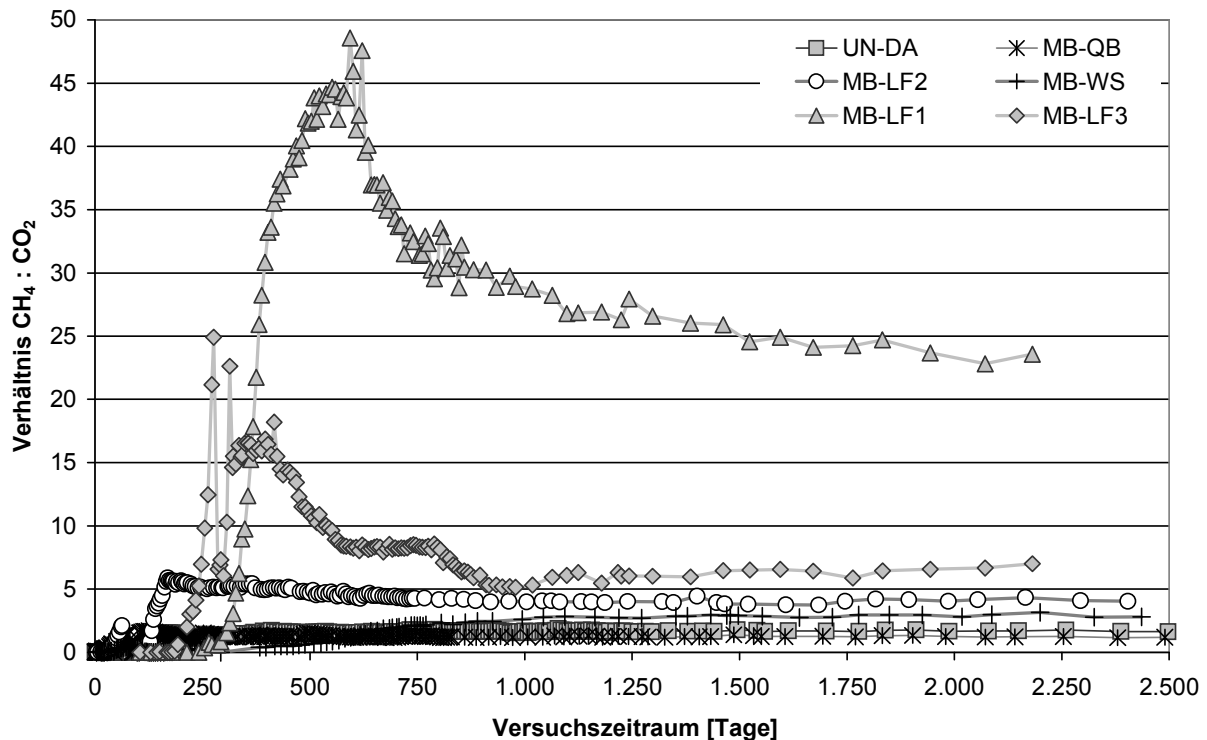
Die Verläufe der Kurven entsprechen denen des Langzeitmodells (s. Abbildung 5). Zunächst ist die Phase II zu erkennen und nach ca. 75 Tagen beginnt die Phase III. Die Bildungsrate von Methan nimmt zu, während die von Kohlendioxid zurückgeht. Nach ca. 150 Tagen beginnt die Phase IV, die durch ein konstantes Verhältnis von Methan zu Kohlendioxid von 60 : 40 gekennzeichnet ist.

Der Anteil von Methan und Kohlendioxid im gebildeten Gas von mechanisch-biologisch vorbehandeltem Abfall ist von der Art und Dauer der Vorbehandlung abhängig. In Abbildung 7 ist der Anteil von Methan und Kohlendioxid im gebildeten Gas eines Deponiereaktors mit mechanisch-biologisch vorbehandeltem Abfall (MB-LF2) dargestellt. Die Zusammensetzung des gebildeten Gases der Deponiereaktoren mit mechanisch-biologisch vorbehandeltem Abfall weist nicht das charakteristische Verhältnis von Methan zu Kohlendioxid von 60 : 40 wie der unbehandelte Abfall in Abbildung 6 auf. Die Phase II ist nicht erkennbar, da dieser biologische Abbauschritt bereits während der Vorbehandlung stattfindet.



**Abbildung 7** Anteil an Methan und Kohlendioxid im gebildeten Gas von mechanisch-biologisch vorbehandeltem Abfall MB-LF2

Der Verlauf des Anteils von Methan und Kohlendioxid im gebildeten Gas des Abfalls MB-LF2 in Abbildung 7 ist nicht repräsentativ für das Verhältnis von Methan und Kohlendioxid im gebildeten Gas anderer Deponiegasreaktoren mit mechanisch-biologisch vorbehandeltem Abfall, die unterschiedliche Verläufe aufweisen. Generell weisen jedoch alle Deponiereaktoren mit mechanisch-biologisch vorbehandeltem Abfall einen relativ geringen Gehalt an Kohlendioxid im Verhältnis zu dem Gehalt bei unbehandeltem Abfall auf. Zur Verdeutlichung der unterschiedlichen Verhältnisse sind in Abbildung 8 die Verhältnisse von Methan zu Kohlendioxid für verschiedene mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle sowie für den unbehandelten Abfall dargestellt.

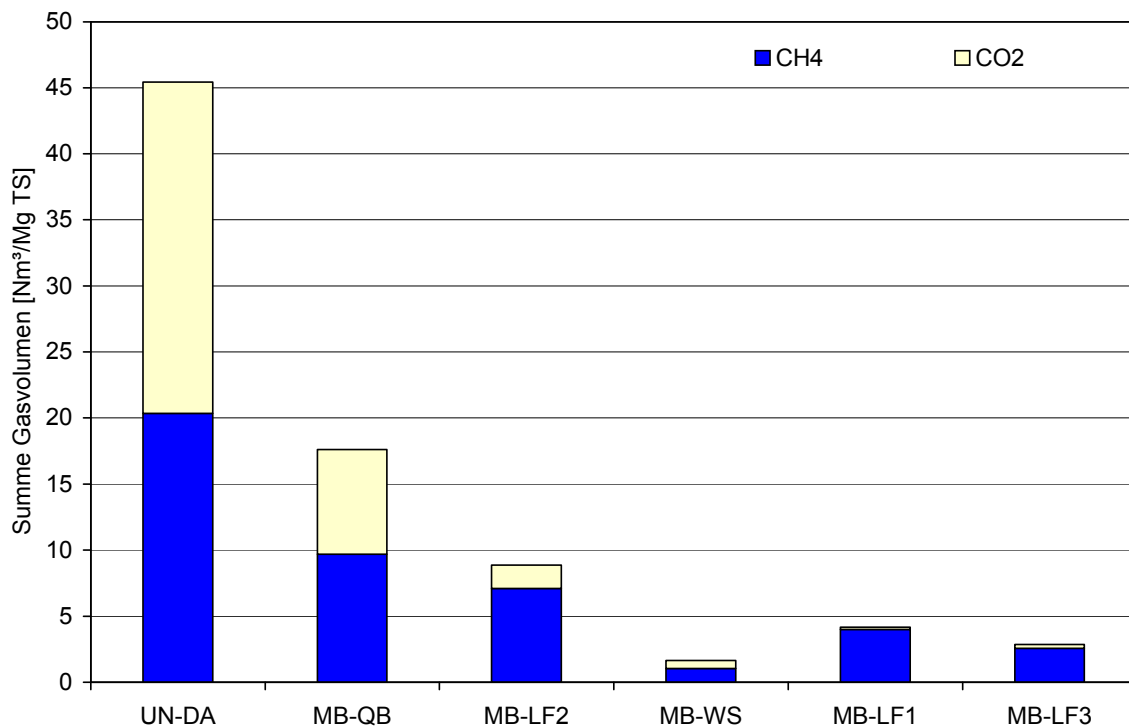


**Abbildung 8** Verhältnisse von Methan und Kohlendioxid im gebildeten Gas von mechanisch-biologisch vorbehandelten und unbehandelten Abfällen

Der mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfall MB-QB zeigt ein ähnliches Verhalten im Verhältnis von Methan zu Kohlendioxid wie der unbehandelte Abfall UN-DA. Aufgrund der Zusammensetzung des gebildeten Gases befinden sich beide Abfallchargen in Phase IV des Langzeitmodells mit einem konstanten Verhältnis von Methan zu Kohlendioxid von 1,25 (MB-QB) bzw. 1,7 (UN-DA). Die Verläufe der anderen mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfälle unterscheiden sich von diesen. So ist das Verhältnis von Methan zu Kohlendioxid in der momentanen Phase IV der Deponiereaktoren ebenfalls konstant, aber in einem Bereich von 3 bis 7 deutlich höher. Sehr unterschiedlich dazu ist das Verhältnis von Methan zu Kohlendioxid des mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfalls MB-LF mit 24. Generell ist festzustellen, dass der Anteil von Kohlendioxid im gebildeten Gas der Deponiereaktoren mit mechanisch-biologisch vorbehandeltem Abfall generell niedriger ist als der bei unbehandeltem Abfall. Dies ist auch anhand Abbildung 9 ersichtlich, in der die Anteile von Methan und Kohlendioxid an der Summe der Gasvolumina der verschiedenen Abfallchargen dargestellt sind. Es ist zu erkennen, dass, obwohl der Anteil an Methan, das durch die mechanisch-biologischen Abfälle gebildet wurde, am Gasvolumen deutlich höher ist, insgesamt weniger Gasvolumen Methan gebildet wird. Betrachtet man beispielsweise die Charge MB-LF2, so liegt das Verhältnis von Methan um bis zu einem Faktor von 25 (vgl. Abbildung 8) über dem von Kohlendioxid im Vergleich zu den unbehandelten Abfällen. Allerdings beträgt die Menge des gebildeten Methans

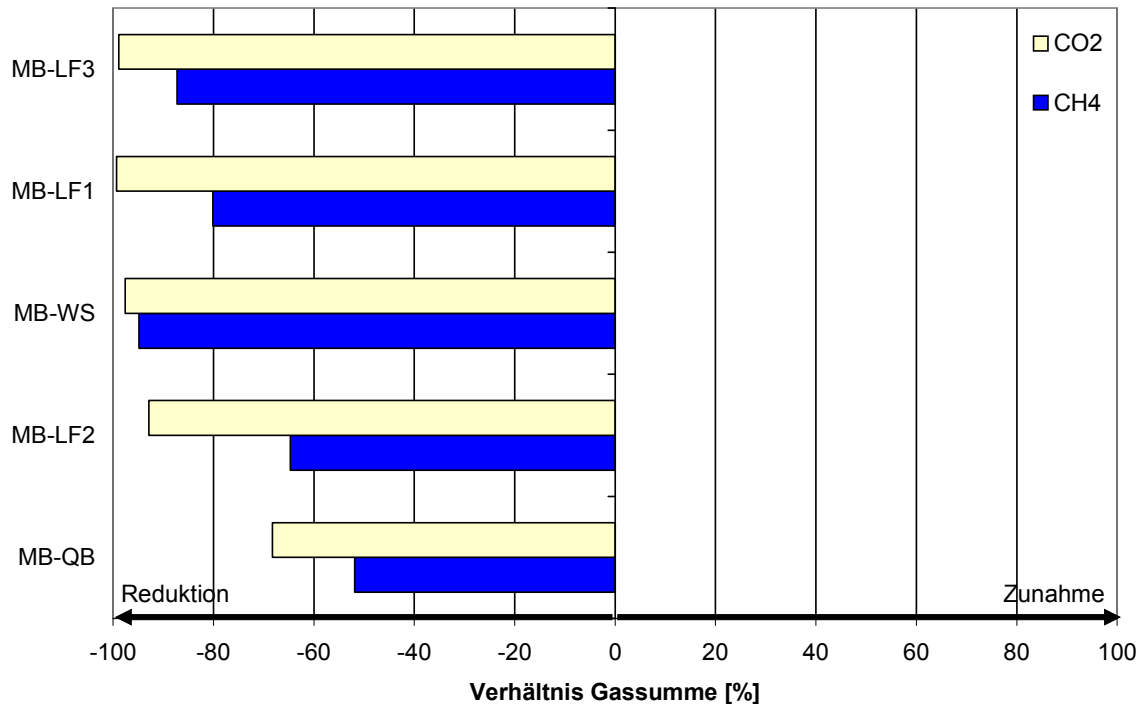


weniger als 25 % im Vergleich zu der durch die Ablagerung nicht vorbehandelter Abfälle gebildeten Menge an Methan.



**Abbildung 9** Anteile von Methan und Kohlendioxid am gebildeten Gas von unbehandeltem Abfall sowie mechanisch-biologisch vorbehandeltem Abfall

Die Differenz der Gassummen an Methan und Kohlendioxid von mechanisch-biologisch vorbehandeltem Abfall im Vergleich zu unbehandeltem Abfall ist in Abbildung 10 dargestellt. Dabei steht ein negatives Verhältnis der Gassummen für eine Reduktion der absoluten Gassumme. Es ist zu erkennen, dass bei der Ablagerung mechanisch-biologisch vorbehandelter Abfälle die Menge an gebildetem Kohlendioxid um 70 bis 100 % und die Menge an gebildetem Methan um 50 bis 90 % reduziert werden kann.



**Abbildung 10** Verhältnis der Gassummen an Methan und Kohlendioxid von mechanisch-biologisch vorbehandeltem Abfall im Vergleich zu unbehandeltem Abfall

## 4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Über einen Zeitraum von sieben Jahren wurden Untersuchungen mit unterschiedlich vorbehandelten Abfällen durchgeführt, um eine Abschätzung der Auswirkungen der Vorbehandlung auf das Verhalten der behandelten Abfälle bei der Ablagerung zu ermöglichen. Der Schwerpunkt der in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse liegt auf der Betrachtung der gasförmigen Emissionen aus den Deponiereaktoren.

Die Untersuchungsergebnisse bestätigen eine deutliche Abhängigkeit der entstehenden gasförmigen Emissionen von der Art der Vorbehandlung. Als maßgebliche Einflussfaktoren haben sich dabei die Umgebungstemperatur sowie insbesondere der Wassergehalt des abgelagerten Materials herausgestellt.

Die Gassummenkurven der verschiedenen Abfallchargen weisen einen ähnlichen Verlauf auf, variieren jedoch in der Menge des entstehenden Gases. Die Zusammensetzung des gebildeten Gases von unbehandeltem Abfall unterscheidet sich deutlich von der von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. So liegt der Anteil von Kohlendioxid bei unbehandeltem Abfall deutlich höher als bei mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. Insgesamt liegen die durch mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle gebildeten Gassummen an Methan und Kohlendioxid deutlich unter denen von unbehandeltem Abfall. Auch die Berücksichtigung der infolge des Prozess-

schrittenes der mechanisch-biologischen Vorbehandlung verursachten Emissionen an Kohlendioxid und Methan weist immer noch ökologische Vorteile der MBA gegenüber der Ablagerung unbehandelter Abfälle auf (BOCKREIS ET AL., 2002)

Abschließend ist also eine Entlastung hinsichtlich der Freisetzung der gasförmigen treibhausrelevanten Gase Kohlendioxid und Methan durch die mechanisch-biologische Vorbehandlung verglichen mit der Ablagerung unbehandelter Abfälle festzustellen.

## 5 Literatur

- Bockreis, A.; Steinberg, I.; Rohde, C.; Jäger, J. 2002 Gaseous emissions of mechanical-biological pretreated waste. In: Lencioni, E., Raminder, D. (Editors): Proceedings of WASTE 2002 Integrated Waste Management and Pollution Control: Research, Policy and Practice, pp. 103-110, Stratford-Upon-Avon 2002, ISBN 0-9539301-1-4
- Farquhar, G. H.; Rovers, F. A. 1973 Gas production during refuse decomposition, Water, air and soil pollution, 2
- Franzius, V. 1981 Gefährdung durch Deponiegas. Müll Handbuch Kennzahl 4589, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Rettenberger, G.; Mezger, H. 1992 Langzeitphasen des Deponiegeschehens bei Alt-ablagerungen, Industrial waste management, waste reduction and treatment; Envirotech, S. 487-494
- Dach, J. 1998 Zur Deponiegas- und Temperaturentwicklung in Deponien mit Siedlungsabfällen nach mechanisch-biologischer Vorbehandlung, Schriftenreihe WAR, Band 107, Darmstadt, ISBN 3-923518-02-0
- Danhamer, H. 2002 Emissionsprognosemodell für Deponien mit mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen – Schwerpunkt: Modellierung des Gashaushaltes, Schriftenreihe WAR, Band 138, Darmstadt, ISBN 3-932518-34-9

### **Anschrift der Verfasserinnen**

Dr.-Ing. Anke Bockreis, Dipl.-Ing. Iris Steinberg  
Institut WAR, Fachgebiet Abfalltechnik, TU Darmstadt  
Petersenstr. 13, D- 64287 Darmstadt  
a.bockreis@iwar.tu-darmstadt.de  
<http://www.iwar.bauing.tu-darmstadt.de/abft/Deutsch/index.htm>