

# Passiv angeströmte Biofilter zur Entsorgung von Restgas-Emissionen

Julia Gebert und Alexander Gröngröft

Universität Hamburg, Institut für Bodenkunde, Allende-Platz 2, 20146 Hamburg

## 1 Einführung

Die mikrobielle Oxidation von Methan in Biofiltern bietet eine Möglichkeit der Behandlung deponiebürtiger Rest- oder Schwachgasemissionen, welche die für eine Gasnutzung oder Abfackelung geltenden Mindestanforderungen an Methangehalt und Aufkommen (WEBER 1994) nicht mehr erfüllen. Dabei wird Methan durch methanotrophe Bakterien unter Nutzung von Luftsauerstoff zum ungefährlichen, weil nicht brennbaren und weniger klimawirksamen Kohlendioxid oxidiert. Einen Überblick über Taxonomie und Physiologie methanotropher Bakterien geben Hanson & Hanson (1996) sowie Bowman (2000).

Anwendungsbereiche für die Biofiltration zur Verminderung klimawirksamer und sicherheitsgefährdender Methanemissionen stellen Deponien dar, welche sich noch nicht in der stabilen Methanphase (bei Betriebsbeginn) oder aber bereits in der Lufteindringphase bzw. nachfolgenden Phasen befinden. Die mikrobielle Oxidation von Methan kommt weiterhin bei solchen Deponien in Frage, die aufgrund des geringen und/oder mikrobiell schwer verfügbaren organischen Anteils im abgelagerten Gut von vorneherein ein geringeres Gasbildungspotential aufweisen, so z. B. bei Deponien für mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle. Dieser Anwendungsbereich wird sich zukünftig deutlich vergrößern, da der Gesetzgeber mit der im Jahr 2001 in Kraft getretenen Abfallablagerungsverordnung spätestens ab dem Jahr 2005 nur noch vorbehandeltes und in seiner biologischen Aktivität stark reduziertes Material zur Deponierung zulässt.

Die Emission von Deponiegas folgt dem Druckgradienten zwischen Deponieinnerem und der Atmosphäre und wird damit von der Dynamik des atmosphärischen Luftdrucks beeinflusst. Dies gilt für aktiv entgaste Deponien (Lewitz 2001, Czepiel et al. 2003), in besonderem Maße aber für passiv betriebene Deponien, bei welchen die Emission ausschließlich durch den sich im Deponiekörper im Zuge der Gasentwicklung aufbauenden Druck erfolgt. So konnte für die passiv entgaste Hafenschlickdeponie Francop ein hochdynamisches Emissionsverhalten nachgewiesen werden (Gebert et al. 2001, Gebert & Gröngröft 2004), im Zuge dessen sich die Strömungsrichtung des Gases luftdruckgesteuert im Mittel mehr als ein Mal pro Tag umkehrt und so regelmäßig atmosphärische Luft über das Gassammelsystem in die Deponie einströmt. Dies bedeutet, dass passiv durchströmte Biofilter im Gegensatz zu aktiv und damit steuerbar belaste-

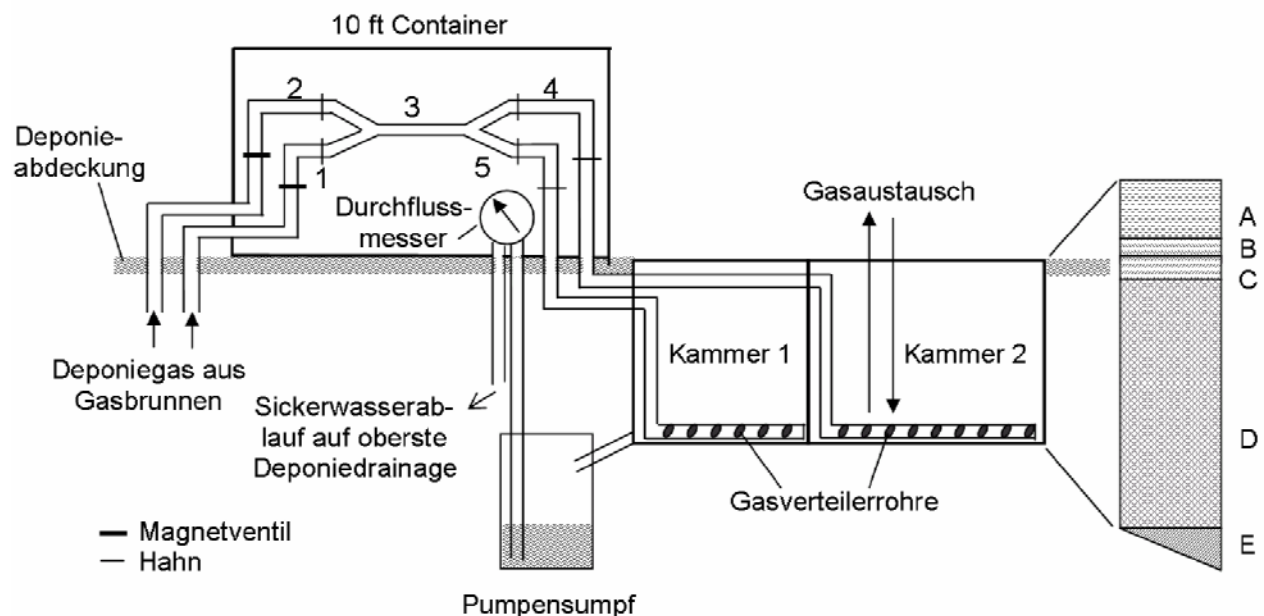
ten Filtern sehr variablen Befruchtungsbedingungen unterliegen. Aufgrund der Variabilität von Volumenstrom und Zusammensetzung kann daher die Sauerstoffversorgung der Filtermikroorganismen sehr unterschiedlich sein. Systeme, die wie das im Folgenden vorgestellte, in die Rekultivierungsschicht der Deponie integriert sind, unterliegen zudem den diurnalen und saisonalen Schwankungen der ambienten Temperatur. Insgesamt ergeben sich daraus für „naturnahe“, passiv betriebene Biofilter sehr variable Bedingungen der Methanbefruchtung einerseits und der den Methanabbau steuernden Faktoren andererseits. Dies gilt ebenfalls für unabhängig von einer Gasfassung in die Deponieabdeckschicht integrierte Entgasungsfenster.

Im Folgenden sollen Methanabbauleistung und deren Einflussfaktoren eines über zwei Jahre untersuchten, passiv angeströmten Biofilters aufgezeigt werden. Die Untersuchungen wurden im Rahmen des BMBF-finanzierten Verbundprojektes „Mikrobielle Verminderung von Methanemissionen“, FKZ 0330255, durchgeführt.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Aufbau des Biofiltersystems

Abbildung 1 zeigt schematisch den Aufbau der Mess- und Biofiltrationseinheit:



**Abbildung 1** Aufbau des Biofiltersystems, schematisch. 1-5, A-E siehe Text.

Das über zwei Gasbrunnen entweichende Deponiegas (1, 2) wurde zunächst gereinigt (3) und dann zur getrennten Befruchtung der zwei Biofilterkammern (4, 5) wieder aufgeteilt. Bei dem Filter handelt es sich um einen *up-flow* betriebenen, in die Deponieober-

fläche integrierten Festbettreaktor von 15 m<sup>3</sup> Größe, eingefasst in eine Polyethylen-Wanne, mit folgendem Schichtaufbau: A = humoser Oberboden (10 cm) mit Grasbewuchs, B = Sand (1.5 cm), C = Kies (1.5 cm), D = gebrochener Blähton (67 cm) und E = Kies zur Wasserdrainage (10-30 cm). Die Verteilung des Deponiegases erfolgt über gelochte Gasverteilerrohre, welche mit einem Abstand von 20 cm in die basale Kiesdrainageschicht eingebaut sind. Die oberen Schichten aus Sand- und Kies verhindern ein Einwaschen feiner Bestandteile aus dem Mutterboden in den Blähton. Die Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen erfolgt passiv durch Eintrag über die Biofilteroberfläche. Das Gesamtvolumen von 15 m<sup>3</sup> verteilt sich auf zwei getrennt befrachtbare Kammern von 6 m<sup>3</sup> und 9 m<sup>3</sup> Größe. Da der Filter ohne zusätzliche Beheizung betrieben wird, folgt die Filtertemperatur der ambienten Temperatur. Die Befeuchtung des Filtermaterials erfolgt durch den Niederschlag, die Wasserdampfsättigung des Deponiegases sowie durch die Methanoxidation.

## 2.2 Messprogramm

Das Entgasungsverhalten der Deponie wurde durch eine im 10-Minuten-Takt registrierende Erfassung folgender Parameter im Gaszuleitungssystem untersucht: Strömungsgeschwindigkeit/Volumenstrom, Zusammensetzung (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>), Druckdifferenz gegenüber der Atmosphäre an der Filteroberfläche. Innerhalb des Biofilters wurden an insgesamt 19 Messplätzen vertikal und in der Fläche die Parameter Temperatur, Wasserspannung und Druck ebenfalls automatisiert erfasst. Die Gaszusammensetzung in Filterprofil und –Fläche sowie das Redoxpotential wurden wöchentlich manuell bestimmt.

## 2.3 Methanabbauleistung des Biofilters

Die Methanabbauleistung des Biofilters ergibt sich aus der Differenz der Methanemission und der Methanbefrachtung. Letztere wird durch die automatisiert erfassten Parameter Gasgeschwindigkeit und –zusammensetzung kontinuierlich erfasst. Während die Befrachtung daher durch präzise Messungen bekannt ist, ist eine kontinuierliche direkte Messung der Gasemissionen aus dem Filter nicht möglich. Zur Erfassung der Emissionen und damit der in situ Abbauleistung wurden drei methodisch verschiedene Ansätze verfolgt:

1. Messung des Methankonzentrationsanstieges über die Zeit unter einer auf die Filteroberfläche aufgesetzten Haube („Haubenmessung“)
2. Analyse der Methankonzentration unterhalb der Filteroberfläche und Verrechnung mit dem zeitgleich herrschenden Volumenstrom („Gasprofil“)
3. Berechnung der nach Umkehr der Strömungsrichtung aus dem Filter deponieeinwärts zurückgeströmten Methanfracht („Rückstromfrachten“).

Im jeweiligen Abschnitt des Kapitel 3 werden die genannten Ansätze zur Bestimmung der Methanemission kurz vorgestellt und die Beeinflussung der jeweils berechneten Methanabbauleistungen durch verschiedene Parameter des Filterbetriebes dargestellt. Die Methanabbauleistung wird dabei jeweils sowohl als absolut abgebaute Methanmenge und als relativ umgesetzter Anteil der in den Filter eingeströmten Fracht abgebildet. Die Beziehung zwischen absolut und relativer Methanoxidaionsleistung lässt Rückschlüsse auf den Befrachtungsstatus des Filtersystems zum Zeitpunkt der Messung zu: wird das System durch den gegebenen Deponiegaszustrom substratgesättigt, so verhält sich der relative Methanabbau proportional zum absoluten, d. h., je größer die oxidierte Methanmenge ist, desto höher ist auch der relativ zur eingeströmten Fracht umgesetzte Anteil. Wird das Methanoxidaionspotential des Filters hingegen durch die Befrachtung nicht ausgeschöpft, so ist der davon relativ abgebaute Anteil erstens unabhängig von der absolut umgesetzten Menge und wird zweitens durchgehend hoch sein, falls keine anderen Limitierungen der Methanoxidaionsaktivität gegeben sind. Die Sättigung ist hier nicht zu verwechseln mit der enzymatischen Substratsättigung, welche die Umsetzungsgeschwindigkeit einer Reaktion bestimmt.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Methanabbau nach der Methode „Haubenmessung“

Die Gasemissionen über die Filteroberfläche wurden nach dem „closed-chamber“-Prinzip durch Aufsetzen einer Haube bestimmt. Dabei stellt die Haube aber ein Strömungshindernis dar, weshalb die konvektive Gasemission während der Messung zum Erliegen kommt. Der unter der Haube über die Zeit beobachtete Anstieg der Methankonzentration ist demzufolge das Ergebnis eines diffusiven Austrages. Aus dem Diffusionsstrom  $J$  kann durch Umformung des FICK'schen Gesetzes die Methankonzentration  $c$  in einer Tiefe  $x$  unter Filteroberfläche wie folgt berechnet werden:

$$c_1 = \frac{-x_1 J}{-D_{eff}} + c_0 \quad \text{Gl. 1}$$

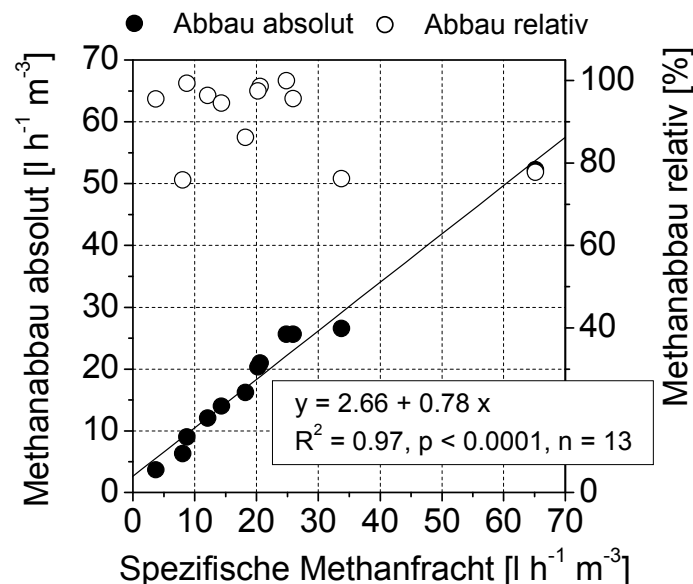
mit  $c_1$  = Methankonzentration in Tiefe  $x$  unter Filteroberfläche [ $\text{mol m}^{-3}$ ]  
 $c_0$  = Methankonzentration an der Filteroberfläche [ $\text{mol m}^{-3}$ ]  
 $x_1$  = betrachtete Tiefe unter Filteroberfläche [m]  
 $D_{eff}$  = effektiver Diffusionskoeffizient [ $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ], empirisch ermittelt  
 $J$  = Diffusionsstrom [ $\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ].

Dies wurde jeweils für die Tiefe  $x = 0.01$  m unter Filteroberfläche durchgeführt. Die so ermittelten Methankonzentrationen wurden dann mit dem zu Beginn der Haubenmessung herrschenden Volumenstrom in der Rohgaszuleitung zu einer Methanemission aus dem Filter verrechnet und diese zur Bestimmung der Abbauleistung in Beziehung

zu der eingeströmten Methanfracht gesetzt. Schließlich wurde der Einfluss folgender Parameter auf die Methanabbauleistung geprüft:

- mittlere Temperatur in Filtermitte und die daraus berechnete potentielle mikrobielle Aktivität (vgl. Gebert et al. 2003, Abb. 9A)
- mittlere Methanfracht
- mittlerer und maximaler Volumenstrom
- mittlere Sauerstofffracht.

Dabei wurden die Werte jeweils für den Zeitraum berechnet, der gemäß dem geströmten Gasvolumen gerade ausreichend war, das Luftvolumen des Filters einmal auszutauschen.



**Abbildung 2** Absolute spezifische und relative Methanabbauleistung (in [%] der eingeströmten Fracht) des Biofilters im Zeitraum Juni 2001 - August 2002. Regressionsgerade und -parameter (Kasten rechts unten) beziehen sich auf die den absoluten spezifischen Methanabbau.

Abbildung 2 zeigt, dass die absolut pro Volumeneinheit Filter abgebaute Methanmenge um so größer ist, je höher die Befrachtung des Filters mit Methan ist. Die Grenze der Abbauleistung wurde demnach in den beobachteten Fällen nicht erreicht. Entsprechend konnte keine Beziehung zur relativ abgebauten Menge festgestellt werden. Weder die relative noch die absolute Abbauleistung konnte zu einem weiteren der geprüften Parameter signifikant in Beziehung gesetzt werden. Demnach wurde der Methanabbau im Wesentlichen durch die Verfügbarkeit von Methan bestimmt, war also substratlimitiert. Die Temperaturspanne für die dargestellten Fälle umfasst einen relativ engen Bereich von 15-20 °C, die fehlende Beziehung der Abbauleistung zur Temperatur ist daher

plausibel. Eine Übersicht über die in Abbildung 2 dargestellte relative und absolute Abbauleistung gibt Tabelle 1.

**Tabelle 1** Übersicht über absolute und relative Abbauleistung des Biofilters, Methode „Haubenmessung“.

Methanabbau	Einheit	Mittelwert	Maximum	Minimum
absolut	$\text{l h}^{-1} \text{m}^{-3}$	19	52	4
relativ	%	91	100	5

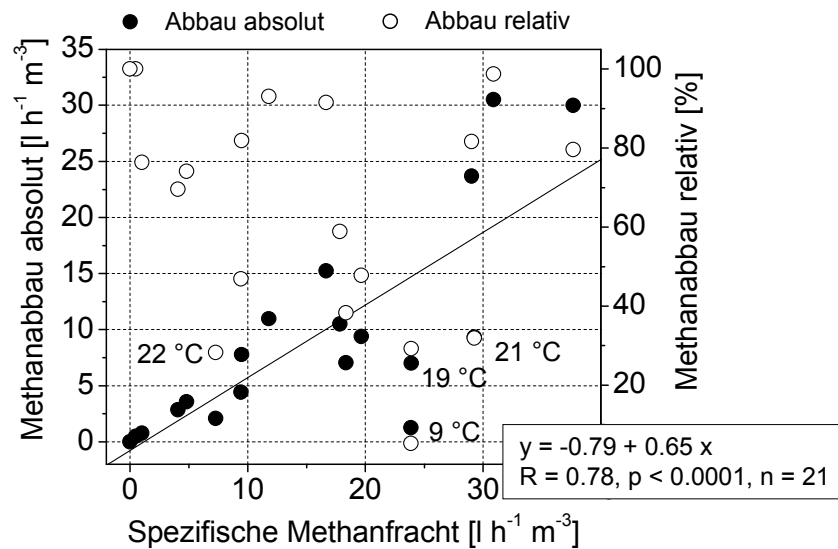
### 3.2 Methanabbau nach der Methode „Gasprofil“

Analog der Weiterverrechnung der aus den Haubenmessungen berechneten Methankonzentrationen unter der Filteroberfläche wurde aus der in 5 cm unter Filteroberfläche gemessenen Methankonzentration im Rahmen der Bestimmung der Gaszusammensetzung im Filterprofil und dem zum Zeitpunkt der Gasprobenahme herrschenden Volumenstrom eine pro Zeiteinheit emittierte Methanfracht ermittelt. Diese wurde der in den Filter eingeströmten Methanfracht gegenüber gestellt.

Für die Auswertung wurde die eingeströmte Methanfracht jeweils über einen Zeitraum von einer Stunde vor Probenahme betrachtet. Auf diesen Zeitraum beziehen sich ebenfalls die Parameter, deren Einfluss auf die Abbauleistung überprüft wurden:

- mittlere Temperatur in der Filtermitte und die daraus berechnete potentielle mikrobielle Aktivität
- mittlere Methanfracht
- mittlerer und maximaler Volumenstrom
- mittlere Sauerstofffracht.

Je höher also die Befruchtung des Filters, desto höher auch die absolut oxidierte Methanmenge (Abbildung 3). Dies bedeutet, dass für die untersuchten Fälle wiederum die Methanfracht der dominante Einflussfaktor der umgesetzten Menge war und für die Abbauleistung weder die Sauerstoffversorgung noch die Temperatur eine Rolle spielten. Letztere umfasste für die dargestellten Fälle eine Spanne von 3 bis 24 °C. Diesem Ergebnis nach ist das Abbaupotential des Filters für den betrachteten Befruchtungsbereich nicht ausgeschöpft. Die durch das zuströmende Deponiegas gegebene Methanfracht wie auch die absolut abgebaute Methanmenge liegen für die untersuchten Fälle im Bereich der in Kap. 3.1 vorgestellten Daten (Methode „Haubenmessung“), für welche ebenfalls keine Sättigung des Systems festgestellt wurde.



**Abbildung 3** Absolute spezifische und relative Methanabbauleistung (in [%] der eingeströmten Fracht) des Biofilters im Zeitraum Juni 2001- August 2002. Regressionsgerade und –parameter (Kasten rechts unten) beziehen sich auf den absoluten spezifischen Methanabbau. Temperaturangaben beziehen sich auf 36 cm unter Filteroberfläche.

Das Bestimmtheitsmaß zeigt allerdings auch, dass die Methanfracht die absolut umgesetzte Methanmenge zwar zu einem großen Teil, aber nicht vollständig erklären kann, also noch weitere, hier nicht überprüfte Faktoren für das untersuchte Datenkollektiv eine Rolle spielen. Für Fälle besonders niedriger relativer Methanabbauleistungen, welche für eine Substratlimitierung zunächst nicht zu erwarten sind, zeigt Abbildung 3 auch die Temperatur. Diese betrug in dreien der vier Fälle um 20 °C, so dass eine Einschränkung der mikrobiellen Aktivität durch die Temperatur als Ursache für die geringe relative Abbauleistung tatsächlich nicht anzunehmen ist.

Die als prozentualer Anteil der eingeströmten Fracht berechnete relative Methanabbauleistung korrespondiert wiederum nicht mit der eingeströmten Fracht und betrug für die dargestellten Fälle zwischen nahe null und 100 %. Es konnte zu keinem weiteren geprüften Parameter eine Beziehung hergestellt werden.

Tabelle 2 Übersicht über absolute und relative Abbauleistung des Biofilters, Methode „Gasprofil“.

Methanabbau	Einheit	Mittelwert	Maximum	Minimum
absolut	$\text{l h}^{-1} \text{m}^{-3}$	9.3	30.5	0.01
relativ	%	64.8	100	5

### 3.3 Methanabbau nach der Methode „Rückstromfrachten“

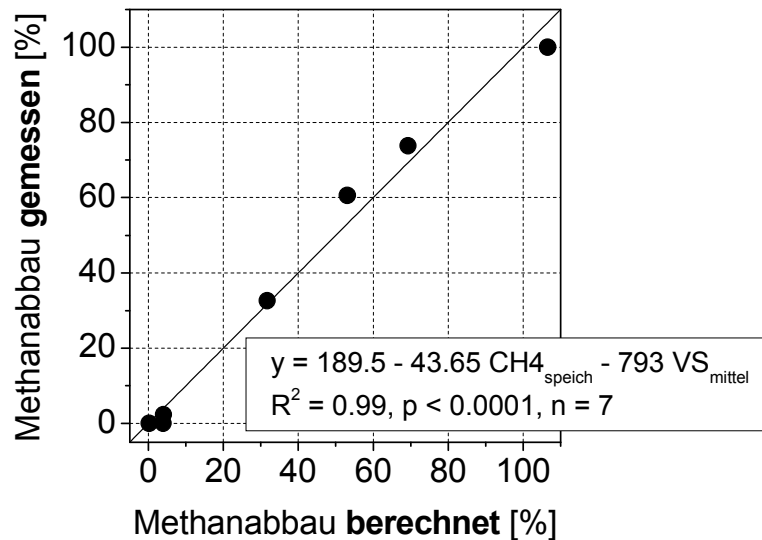
Die Strömungsrichtung des Gases kehrt sich regelmäßig um und Gas strömt aus der Atmosphäre über den Biofilter zurück in die Deponie. Dabei strömt das zu diesem Zeitpunkt im Biofilter noch enthaltene Methan ebenfalls zurück. Da wie auch beim Ausstrom alle in der Zuleitung installierten Sensoren passiert werden, sind Zusammensetzung und Volumenstrom des rückströmenden Gases bekannt und können zur Berechnung der nach Strömungsumkehr aus dem Biofilter rückgeströmten Methanfrachten herangezogen werden. Setzt man diese in Beziehung zur in der vorausgehenden Emissionsphase eingeströmten Methanfracht bzw. zu der maximal im Biofilter speicherbaren Methanmenge, lässt sich eine Methanabbauleistung des Biofilters berechnen, die sich aus dem Abbau während der Ausstromzeit sowie ggf. auch während der Rückstromzeit ergibt. Die maximal im Biofilter speicherbare Methanmenge ergibt sich aus dem im gasgefüllten Porenraum des Biofilters befindlichen, dem in der Wasserphase gelösten sowie dem an der Festphase und an Mikroorganismen adsorbierten Methananteil.

Für die Berechnung der Methanabbauleistung aus den rückgeströmten Methanfrachten wurden Datensätze ausgewählt, die möglichst konstante, wenig schwankende Zu- und Rückstrombedingungen aufwiesen. Die Zustromphasen waren durchweg durch hohe Methankonzentrationen gekennzeichnet. Die Auswertung enthält demnach ausschließlich Situationen mit maximaler Filterbelastung. Folgende Parameter wurden hinsichtlich ihrer Beziehung zu der aus den rückgeströmten Methanfrachten berechneten Methanabbauleistung geprüft:

- im Filter zum Zeitpunkt der Strömungsumkehr gespeicherte Methanmenge (entspricht der Befrachtung des Filters)
- mittlerer und maximaler Volumenstrom vor Umkehr der Strömungsrichtung
- mittlere Temperatur in 5 cm unter Filteroberfläche und die daraus berechnete potentielle mikrobielle Aktivität
- mittlerer Volumenstrom und mittlere Sauerstofffracht nach Umkehr der Strömungsrichtung bis Methankonzentration < 0.1 Vol.-%
- Dauer der Rückstromphase bis Methankonzentration < 0.1 Vol.-%.

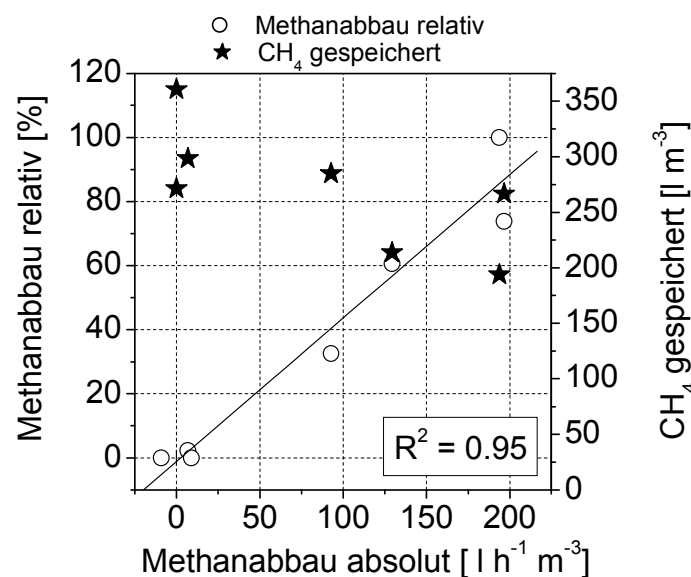
Abb. 4 zeigt Wertepaare für Sommer 2001 und Sommer 2002. Die nach einem Richtungswechsel rückgeströmte Fracht beträgt zwischen nahe 0 und nahe 100 % der in der vorausgehenden Zustromphase gespeicherten Methanfracht. Wie die Regressionsfunktion zeigt, ist die Methanabbauleistung umso höher, je geringer der mittlere Gasstrom während der Einstromphase und je geringer die im Biofilter gespeicherte Methanmenge ist. Der Gasstrom während der Einstromphase ist ein Maß für die Sauerstoffverfügbarkeit im Biofilter, da das anströmende Gas diesen aus dem Filter verdrängt.





**Abb. 4** Relative Methanabbauleistung [%] des Biofilters in den Sommermonaten 2001 und 2002, gemessenen gegen berechnete Werte.  $\text{CH}_4_{\text{speich}}$  = vor Umkehr der Strömungsrichtung im Biofilter gespeicherte Methanmenge [ $\text{m}^3$ ],  $\text{VS}_{\text{mittel}}$  = mittlerer Volumenstrom vor Strömungsumkehr über den Zeitraum, in dem die Luftkapazität des Filters gerade einmal ausgetauscht wurde. Beide Parameter signifikant auf dem Niveau von 1 %.

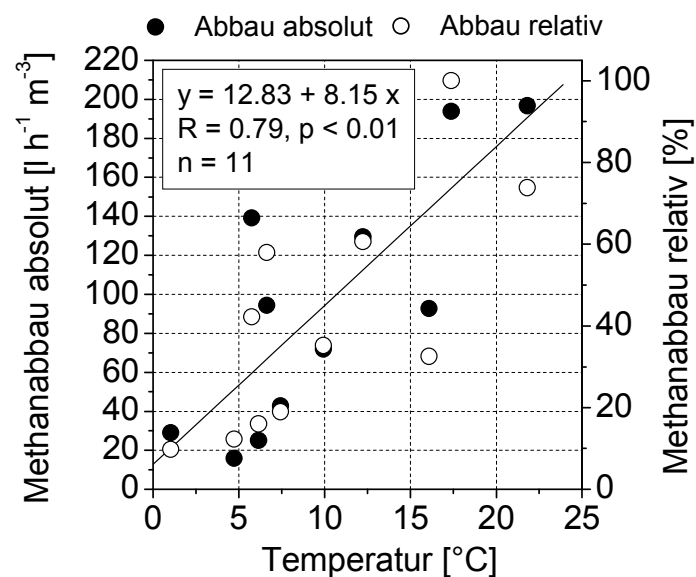
Ein Einfluss der Temperatur, welche für die dargestellten Werte zwischen 12 und 21 °C schwankte, konnte nicht festgestellt werden. Im Gegensatz zu der Auswertung der Haubenmessungen (Kap. 3.1) und der Methankonzentration in 5 cm unter Filteroberfläche (Kap. 3.2), konnte hier eine lineare Beziehung zwischen absoluter und relativer Methanabbauleistung festgestellt werden (Abb. 5):



**Abb. 5** Beziehung zwischen absolut abgebauter Methanmenge und der relativen Abbauleistung sowie der vor Umkehr der Strömungsrichtung im Biofilter gespeicherten Methanmenge. Regressionsgerade und Bestimmtheitsmaß beziehen sich auf den relativen Methanabbau.

Mit steigender absolut abgebauter Methanmenge nahm auch der im Verhältnis zur gespeicherten Methanmenge (Methanbefrachtung) abgebaute Anteil zu. Hieraus ist abzuleiten, dass zu den untersuchten Zeitpunkten die Methanabbaukapazität des Biofilters durch die im Filter vorhandene Methanmenge ausgeschöpft wurde. Dies korrespondiert mit der Tatsache, dass für diese Auswertung ausschließlich Zustromsituationen betrachtet wurden, die durch eine konstante Gaszufuhr mit hoher Methankonzentration gekennzeichnet waren. So betrug die im Filter zum Zeitpunkt der Umkehr der Strömungsrichtung gespeicherte Methanmenge zwischen 194 und 360 l CH<sub>4</sub> m<sup>-3</sup>. Dies liegt deutlich über den in den Kap. 3.1 („Haubenmessung“) und 3.2 („Gasprofil“) betrachteten Fällen, für die die eingeströmte Fracht maßgeblich für die absolut abgebaute Methanmenge war. Vergleicht man die drei Datensätze hinsichtlich der maximal absolut abgebauten Methanmengen, so ergeben die nach der Methode „Rückstromfrachten“ ausgewerteten Fälle eine bis fünffach erhöhte Leistung.

Folgende Abbildung zeigt eine Auswertung für Datensätze ab dem Winter 2001/2002 .



**Abbildung 6** Absolute und relative Methanabbauleistung des Biofilters in den Wintermonaten 2001/2002 und den Sommermonaten 2002 in Abhängigkeit von der Temperatur.

Ohne Berücksichtigung der Daten davor (Sommer 2001) ist der Methanabbau positiv mit der Temperatur korreliert. Diese schwankte für die abgebildeten Wertepaare zwischen 1 und 23 °C. Hingegen war zu keinem der anderen geprüften Parameter eine signifikante Beziehung erkennbar und damit die Aktivität der Methanoxidanten vorwiegend temperaturlimitiert. Das niedrige Bestimmtheitsmaß zeigt jedoch einen Einfluss weiterer Faktoren auf die Methanabbaurate an. Wie schon bei den Wertepaaren für die Sommermonate festgestellt, ergibt sich auch hier eine signifikante positive Korrelation

zwischen absoluter und relativer Methanabbaurate. Die vor Umkehr der Strömungsrichtung im Biofilter gespeicherte Methanfracht betrug zwischen 130 und 330 l CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup>.

**Tabelle 3** Übersicht über absolute und relative Abbauleistung des Biofilters, Methode „Rückstromfrachten“.

Zeitraum	Methanabbau	Einheit	Mittelwert	Maximum	Minimum
Sommer	absolut	l h <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup>	84	260	0
2001 und 2002	relativ	%	41	100	0
Winter	absolut	l h <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup>	94	197	16
2001/2002 und Sommer 2002	relativ	%	42	100	10

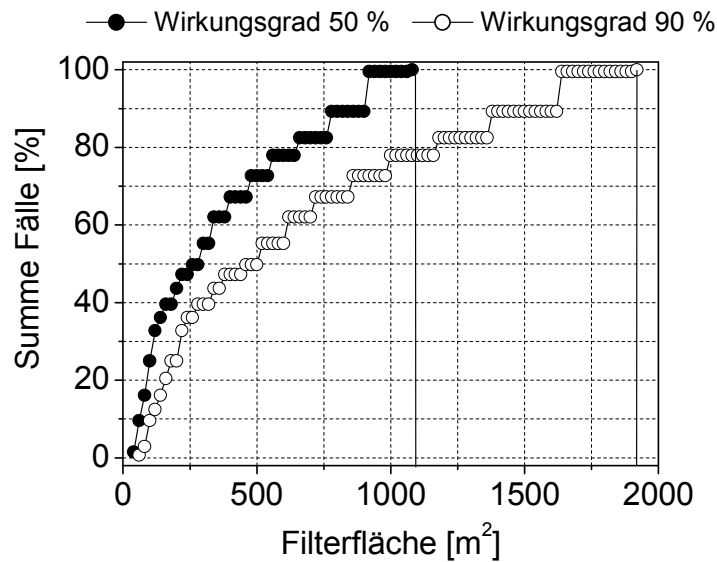
## 4 Schlussfolgerungen

Bei Befruchtungen bis 65 l CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup> (46.4 g CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup>) wurde eine Abhängigkeit der Methanoxidaionsleistung allein von der Befruchtung festgestellt und dies folglich einem „ungesättigten“ Befruchtungsstatus zugeordnet, die Kapazität des Biofilters wurde also durch das einströmende Methan nicht ausgeschöpft (vgl. Abbildung 2). Im „gesättigten“ Bereich (hier bestimmt ab 130 l CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup> bzw. 93 g CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup>) konnte der relative, prozentual abgebaute Methananteil mit der Befruchtung (negativ), dem mittleren Volumenstrom (negativ) und im Vergleich von Sommer- und Winterbedingungen mit der Temperatur (positiv) korreliert werden. Es entspricht dabei den Erwartungen, dass der Temperatureinfluss erst dann zum Tragen kommt, wenn andere, die Methanoxidaionsrate beeinflussende Faktoren, wie z. B. die Substratzufuhr, im Optimum sind. Die genaue Grenze zwischen ungesättigtem und gesättigtem Bereich, welche also in situ die für einen maximalen absoluten und relativen Abbau höchste Methanbefruchtung darstellt, kann aus den Feldmessungen nicht abgeleitet werden; sie liegt zwischen 65 und 130 l CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup> und ist temperaturabhängig. Im Mittel wurden im „ungesättigten“ Zustand 9 l CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup> (6.3 g CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup>) abgebaut, im „gesättigten“ Zustand 94 l CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup> (66 g CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup>). Als Maximalwert wurde ein Abbau von 260 l CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup> (185 g CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup>) bestimmt. Für beide Fälle streuten die Daten teilweise stark gegenüber den ermittelten Beziehungen (vgl. Abbildung 3, Abbildung 6). Dies weist darauf hin, dass in dem Filter Prozesse stattfinden, die sich mit einseitig gerichteter Konvektion und Diffusion nicht erklären lassen. Ein Vorgang, der für die Nicht-Vergleichbarkeit mehrerer Datensätze des Methanabbaus im Biofilter verantwortlich ist, ist beispielsweise langsame Aufbau der methanotrophen Population bzw. der Methanoxidaionsaktivität vom Versuchsbeginn bis Herbst 2001 (Gebert et al. 2003).

Gewichtet man die im Mittel für den gesättigten und den ungesättigten Methanabbau berechneten Abbauleistungen gemäß der Häufigkeitsverteilung der durch die Deponiegasemission gegebenen Befrachtung (hier nicht dargestellt), ergibt sich für die derzeitige Filtergröße eine jährliche frachtbezogene Methanabbauleistung von 58 %.

## 5 Dimensionierung für einen fiktiven Anwendungsfall

Auf der Grundlage der im Labor ermittelten Temperaturfunktion der Methanabbauleistung des Filters (Gebert et al. 2003) und der Häufigkeitsverteilung der in situ gemessenen Filtertemperatur (hier nicht dargestellt) kann die für ein fiktives Gasaufkommen und den angestrebten Wirkungsgrad notwendige Filterfläche abgeleitet werden. Für nachfolgendes Beispiel wurden hierfür als Bezugsdaten ein Volumenstrom von  $50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  bei einem Methangehalt von 20 Vol.-% gewählt (entspricht  $7140 \text{ g CH}_4 \text{ h}^{-1}$ ), da dies etwa die Untergrenze des für den Fackelbetrieb notwendigen Gasaufkommens darstellt (WEBER 1994). Diese Methanfracht liegt weit über dem Bereich, der für den in vorliegender Arbeit untersuchten Biofilter in situ als das System sättigend ermittelt wurde. Ein Einfluss der Temperatur auf die Methanabbauleistung kann daher unterstellt werden. Hierfür wurden die im Labor an Filtermaterial ermittelten Methanoxidaionsaktivitäten und die Temperaturfunktion der Methanoxidation zugrunde gelegt (Gebert et al. 2003).



**Abbildung 7** Prozentuale Summenkurve der zum Abbau von  $7140 \text{ g CH}_4 \text{ h}^{-1}$  unter mitteleuropäischen Temperaturbedingungen benötigten Filterfläche für Wirkungsgrade von 50 % und 90 %.

Aus Abbildung 7 geht hervor, dass bei kontinuierlicher Befrachtung und gegebenem Filteraufbau eine Filterfläche von etwa  $1920 \text{ m}^2$  notwendig ist, um in allen Fällen, also auch bei winterlicher Kälte, einen Wirkungsgrad von 90 % zu gewährleisten. Für einen

Wirkungsgrad von 50 % im Einzelfall wurde eine notwendige Fläche von 1080 m<sup>2</sup> ermittelt. Dabei blieb die Möglichkeit einer Anpassung der methanoxidierenden Population an tiefere Temperaturen im Winter unberücksichtigt, auf die es jedoch Hinweise gibt (Gebert et al. 2003). Im Vergleich dazu geben Streese & Stegmann (2003) für die Entsorgung einer entsprechenden Fracht durch ein aktiv durchströmtes Biofiltersystem ein Filtervolumen von 940 m<sup>3</sup> bei Betriebstemperaturen von 20-30 °C an. Die Reduzierung des notwendigen Filtervolumens auf etwa die Hälfte des für das naturnahe System unter ambienten Temperaturbedingungen berechneten Volumens setzt allerdings einen erheblichen technischen Aufwand für die gezielte und gleichmäßige Befruchtung und die Aufrechterhaltung optimaler Temperatur- und Feuchtebedingungen voraus.

Der Praxis steht mit dem untersuchten Biofiltersystem ein wirksames und wartungsarmes Instrument mit geringen Investitions- und Betriebskosten zur Verminderung von Restgas-Emissionen zur Verfügung. Im Anwendungsfall sollten als Grundlage für die Dimensionierung im Vorwege die Parameter Gasvolumenstrom und -zusammensetzung sowie die Dynamik des Emissionsverhaltens, insbesondere im Hinblick auf die Sauerstoffversorgung, geprüft werden.

## 6 Literatur

Bowman, J. (2000): The Methanotrophs – The families Methylococcaceae and Methylocystaceae. In: The Prokaryotes: An Evolving electronic resource for the microbiological community. 3rd edition, release 3.1, 1/20/2000. Springer Verlag, New York. <http://link.springer-ny.com/link/service/books/10125/>.

Czepiel, P.M., Shorter, J.H., Mosher, B., Allwine, E., McManus, J.B., Harriss, R C., Kolb, C.E. & Lamb, B.K. (2003): The influence of atmospheric pressure on landfill methane emissions. *Waste Management* 23 (7): 593-598.

Gebert, J., Gröngröft, A. & Miehlich, G. (2001): Passive Deponieentgasung – Emissionsverhalten und mikrobielle Methanoxidation. In: Abluft 2001 (Hrsg. Stegmann/Doedens/Hensel), Hamburger Berichte Band 17. 121-130.

Gebert, J., Gröngröft, A. & Miehlich, G. (2003): Kinetics of microbial landfill methane oxidation in biofilters. *Waste Management* 23: 609-619.

Gebert, J. & Gröngröft, A. (2004): Passive landfill gas emission – influence of atmospheric pressure and implications for the operation of methane-oxidising biofilters. *Waste Management*, eingereicht.

Hanson, R.S. & Hanson, T.E. (1996): Methanotrophic Bacteria. *FEMS Microbiological Reviews* 60: 439-471.

Lewitz, H. (2001): Beobachtungen und Rückschlüsse im Zusammenhang mit dem Gashaushalt der Deponie Georgswerder. *TerraTech* 6: 47-51.

Streese, J. & Stegmann, R. (2003): Microbial oxidation of methane from old landfills in biofilters. *Waste Management* 23: 573-580.

Weber, B. (1994): Erfahrung mit der Gasbehandlung in Biofiltern. In: Rettenberger, G. & Stegmann, R. (Hrsg.): Erfassung und Nutzung von Deponiegas, 27-50. Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 2. Economica Verlag, Bonn.

### **Anschrift der Verfasser**

Dipl.-Biol. Julia Gebert

Dr. Alexander Gröngröft

Universität Hamburg

Institut für Bodenkunde

Allende-Platz 2

20146 Hamburg

Tel. 040 42838 6595 / 4395

E-mail: [j.gebert@ifb.uni-hamburg.de](mailto:j.gebert@ifb.uni-hamburg.de) / [a.groengroeft@ifb.uni-hamburg.de](mailto:a.groengroeft@ifb.uni-hamburg.de)

Website: <http://geo.geowiss.uni-hamburg.de/i-boden/>