

# Bewertung unterschiedlicher Meßverfahren (FID und FTIR) zur Erkundung von Deponiegas-Emissionen einer Hausmülldeponie

Klaus Schäfer, Wolfgang Huber, Lorenz Wackerle

## Inhalt

1. Einführung.....	1
2. Beschreibung der Hausmülldeponie .....	2
3. Deponiegasprognose .....	3
4. Beschreibung der Emissionsmessungen (FID und FTIR).....	4
5. Meßergebnisse .....	6
6. Resümee.....	11

### Zusammenfassung:

Die FID-Messung ist gerätetechnisch relativ anspruchslos jedoch nicht stoffspezifisch. Mittels FTIR-Messungen können zahlreiche Komponenten gleichzeitig bestimmt werden. In Kombination mit meteorologischen Messungen zur Erfassung des Luftmassentransportes ermöglicht das FTIR-Verfahren die Bestimmung der Emissionsrate. Mit beiden Verfahren ist die Charakterisierung der Deponiegasemissionen möglich.

Die Verfahren wurden an einer stabil ausgasenden Hausmülldeponie eingesetzt und erbrachten eine gute Übereinstimmung bei den oberflächennahen Methankonzentrationen.

## 1. Einführung

Klassische Hausmülldeponien entwickeln auf Grund ihres hohen Anteils an organischem Material, das unter anaeroben Bedingungen von Mikroorganismen abgebaut wird, große Mengen an Gas. Im wesentlichen setzt sich dieses aus den beiden "Treibhausgasen" Methan (ca. 50 - 60 Vol.-%) und Kohlendioxid (ca. 40 - 50 Vol.-%) zusammen. Dieses sogenannte Deponiegas kann einer Verwertung zugeführt werden. Im Rahmen der Überwachung von Deponien besteht ein großes Interesse daran, Gasmigrationen aus dem Deponiekörper zu detektieren und analytisch nach Art und Menge zu erfassen.

Am Fraunhofer-Institut für Atmosphärische Umweltforschung wurde ein Meßverfahren, die FTIR (Fourier-Transform-Infrarot-Spektrometrie)-Messung weiterentwickelt, das eine rasterartige Exploration, wie sie mit der bekannten FID (Flammenionisationsdetektor)-Messung angewendet wird, ersetzen bzw. ergänzen kann.

Im Rahmen einer Bestandsaufnahme war die Funktionstüchtigkeit des bestehenden Gaserfassungssystems sowie das Emissionsverhalten der Deponie zu untersuchen.

Da sich die Deponie seit mehreren Jahren in einem sehr stabilen Gleichgewichtszustand bezüglich der biologischen Abbauprozesse und des Gasanfalls befindet, bot sich im Rahmen der durchzuführenden Untersuchungen ein Vergleich der FTIR- und FID-Meßmethode an. Insbesondere sollte auch überprüft werden, in wie weit die beiden Meßmethoden korrelieren.

## **2. Beschreibung der Hausmülldeponie**

### **□ Allgemeines**

Die bestehende Hausmülldeponie wird seit 1983 mit Abfällen aus dem Landkreis Garmisch-Partenkirchen verfüllt. Es handelt sich um eine Grubendeponie mit einer Ausdehnung von ca. 5 ha und einer mittleren Schütthöhe von ca. 10 - 15 m. Die Deponie ist seit 1992 komplett verfüllt. Die Verfüllung erfolgte in vier Einbauabschnitten.

Die gesamte Deponie ist nicht oberflächenabgedichtet. Lediglich im Bereich der Nordwest-Böschung ist sie mit Bauschutt sowie mit bindigem Material abgedeckt. Auf der Abdeckung befindet sich teilweise Kompost. Die restlichen Flächen sind entweder komplett offen oder mit Kompost bzw. Klärschlamm abgedeckt. Dies trifft insbesondere auf den Böschungsbereich zu. Die Böschungen sind überwiegend mit Brennesseln sowie Pioniergräsern bewachsen.

### **□ Deponiegaserfassung**

In der Deponie befinden sich über die gesamte Fläche gleichmäßig verteilt 20 vertikale Gaskollektoren. Diese vertikalen Kollektoren wurden mit einem Stahlrohr und einem innenliegenden geschlitzten PEHD-Rohr, welches anfangs mit Kies und später mit Glas umhüllt wurde, während des Deponieaufbaus hochgezogen. Die Kollektoren sind bis in eine Tiefe von ca. 2 m über der Basisabdichtung abgetäuft.

Eine Besonderheit des Entgasungssystems ist die Vernetzung der vertikalen Gaskollektoren untereinander mit horizontalen Glasrigolen. Hierbei handelt es sich um Gräben mit einer Abmessung von ca. 70 x 70 cm, die mit Glas verfüllt sind. Über die gesamte Deponiehöhe sind derzeit in einem vertikalen Abstand von ca. 2 - 3 m drei Vernetzungsebenen mit Glasrigolen eingebracht.

Das in der Deponie entstehende Deponiegas wird mittels zweier Gasmotoren abgesaugt und verstromt. Beide Motoren sind jeweils über einen Schacht an das vorhandene Deponiegaserfassungssystem angeschlossen. Eine Regelung des Deponiegaserfassungssystems findet nicht statt. Der Saugdruck an den Gasmotoren beträgt ca. 0 bis 8 mbar.

In der Summe werden derzeit ca. 60 m<sup>3</sup>/h Deponiegas mit einem mittleren Methan-gehalt von ca. 50 Vol.-% durch die beiden Gasmotoren verwertet.

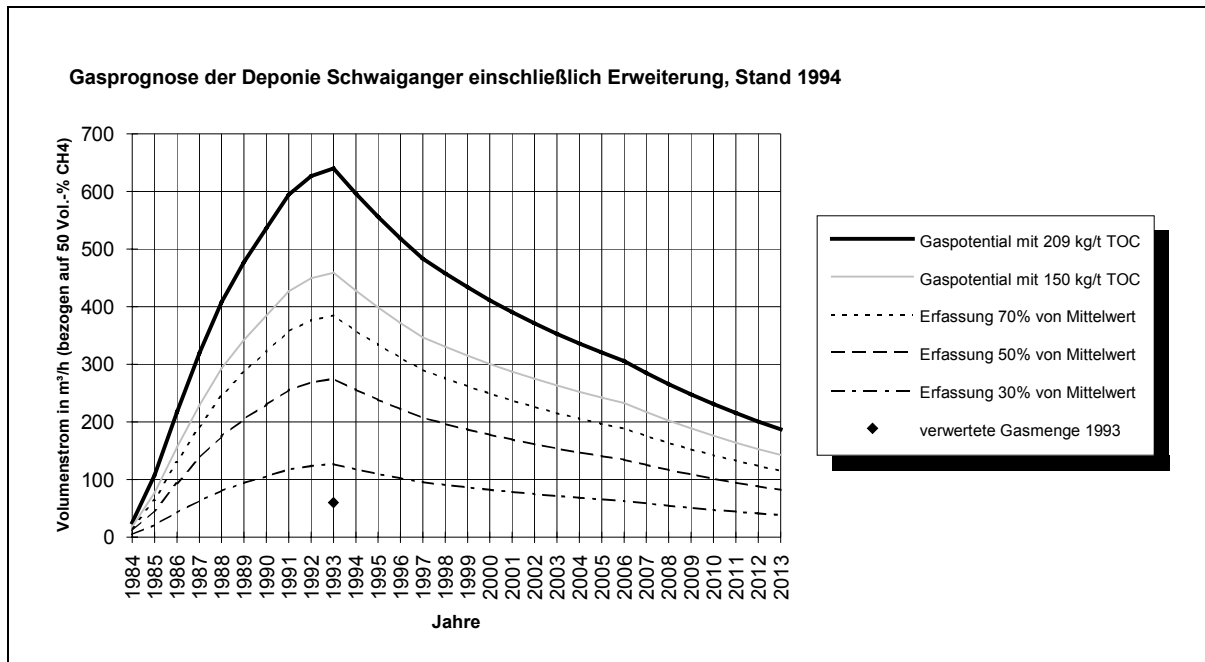
### 3. Deponiegasprognose

Deponiegas entsteht durch das Zusammenspiel chemisch-physikalischer und mikrobiologischer Prozesse im Müllkörper.

Begrenzende Faktoren für diese Umsetzungsvorgänge sind Sauerstoff und der Wassergehalt. Sie entscheiden darüber, ob die biologischen Umsetzungsprozesse im Müllkörper aerob oder anaerob (mit bzw. ohne Beteiligung von Luftsauerstoff) ablaufen bzw. ob sich das Milieu eher sauer oder basisch verhält. Darüber hinaus haben die Abfallzusammensetzung, die erzielte Verdichtung und die Temperatur einen Einfluß auf die Geschwindigkeit, mit der die Umsetzungen ablaufen. Es steht fest, daß bei verdichteten Deponien aerobe Prozesse nur an der Deponieoberfläche ablaufen, während im Inneren des Müllkörpers anaerobe Verhältnisse vorherrschen. Je nach Alter und beeinflussenden Parametern der Deponie kann man verschiedene charakteristische Stufen des anaeroben Abbaus feststellen, welche zur Bewertung des zeitlichen Zustands des Bioreaktors dienen.

Im Zuge der Bestandsaufnahme wurde für die Deponie "Schwaiganger" das Gaspotential anhand einer Gasprognosefunktion ermittelt. In **Abbildung 1** ist das Ergebnis dieser rechnerischen Gaspotentialermittlung dargestellt.

**Abb. 1:** Deponiegasprognose



Somit beträgt das maximale Deponiegaspotential für die Deponie Schwaiganger ca. 500 m<sup>3</sup>/h (bezogen auf 50 Vol.-% Methan). Dieses Maximum wurde bereits im Jahre 1993 überschritten.

Der Vergleich aus dieser Prognose, den tatsächlich erfaßten Deponiegasmengen und der im nachfolgenden beschriebenen Emissionsmessung läßt eine Abschätzung des Erfassungsgrades zu. Hierzu verweisen wir auf Kapitel 5.

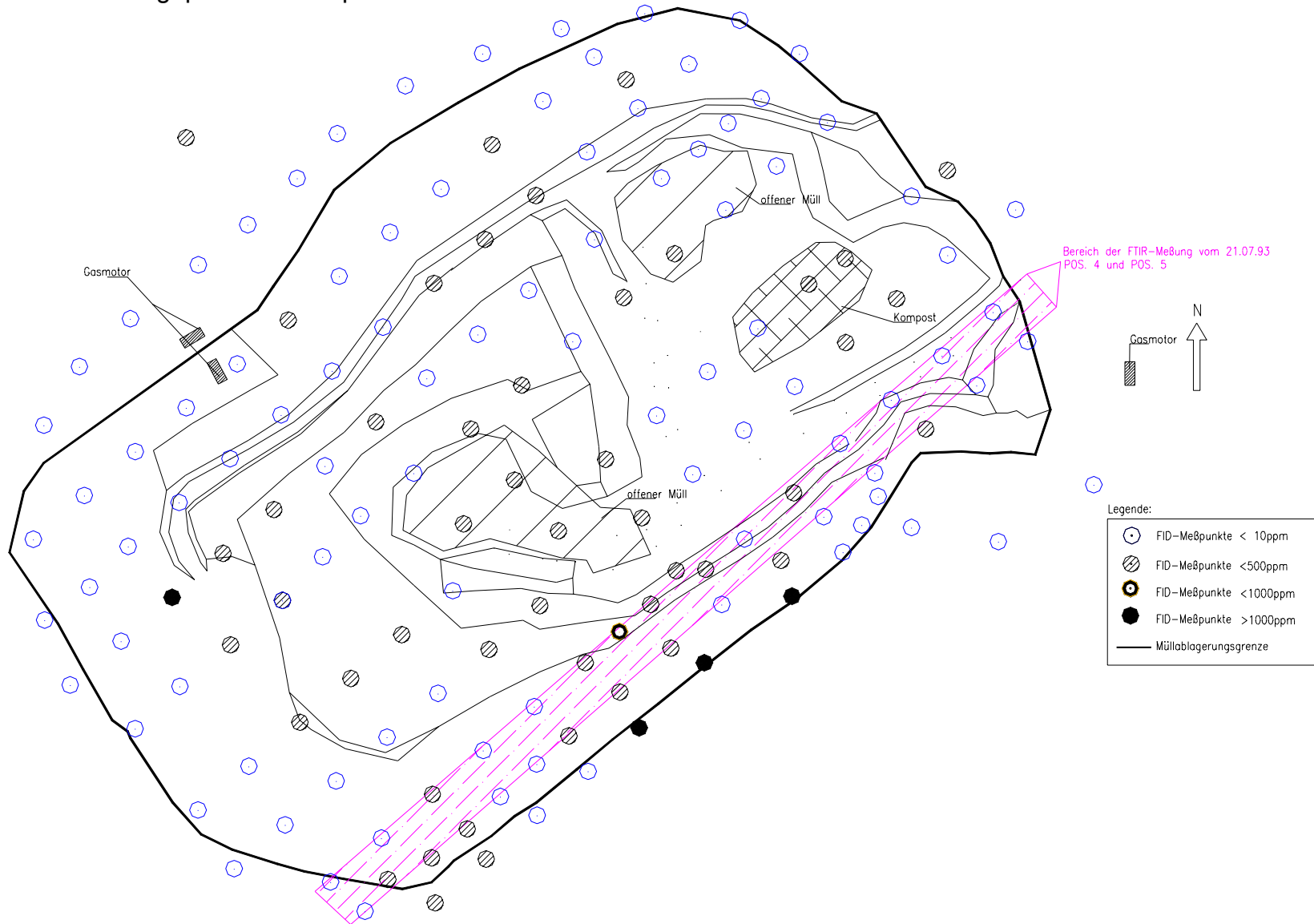
#### 4. Beschreibung der Emissionsmessungen (FID und FTIR)

##### □ FID-Messung

Die gesamte Deponieoberfläche wurde mit einem tragbaren Flammenionisationsdetektor (FID) in einem Raster von ca. 20 x 20 m überschritten. Mit Hilfe des FID-Gerätes können brennbare Gase (im vorliegenden Fall wird von Methan (CH<sub>4</sub>) ausgegangen) im Meßbereich von 0 - 10.000 ppm festgestellt werden. An jedem Meßpunkt wurde unmittelbar an der Oberfläche ein Meßwert aufgenommen und dokumentiert.

Die Meßwerte sowie deren Lage sind dem in **Abbildung 2** dargestellten Lageplan zu entnehmen.

Abb. 2: Lageplan FID-Meßpunkte



Um eine Korrelation mit der Messung des Fraunhofer-Institutes herstellen zu können, wurde an den Meßpunkten im Bereich der südlichen Böschung zusätzlich zu den Oberflächenemissionsmessungen, Messungen in einem Abstand von ca. 0,5 bis 1 m zur Oberfläche durchgeführt.

#### **□ FTIR-Messung**

Die Fourier-Transform-Infrarot-Spektrometrie basiert auf der Analyse charakteristischer spektraler Signaturen atmosphärischer Komponenten, wozu infrarote Strahlung gemessen und ausgewertet wird. Im Interferometer des eingesetzten Meßsystems wird ein Interferogramm durch Überlagerung der einfallenden Strahlung mit der von einem bewegten Spiegel reflektierten Eingangsstrahlung erzeugt. Durch Fourier-Transformation wird aus diesem Interferogramm das Spektrum der empfangenen Strahlung im Meßbereich des Detektors berechnet.

Dadurch kann mit diesem Verfahren gleichzeitig die Absorption einer großen Zahl von atmosphärischen Gasen (z.B. CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, HNO<sub>3</sub>, HCl, HCHO) entlang einer definierten Wegstrecke bestimmt werden. Aus der Schwächung der von einem Quellstrahler ausgesandten Strahlung an den Stellen im Spektrum, an denen Absorptionslinien des zu untersuchenden Gases liegen, wird die Konzentration in der Einheit [ppm] bzw. [ppb] berechnet [Haus et al., 1994 a.l.].

Bei Kenntnis der Luftdurchsatzraten kann daraus die Emissionsrate in [mg/Zeiteinheit] ermittelt werden.

Die Messungen wurden am 21.07.1993 an den in Abbildung 2 angegebenen Bereich durchgeführt. Zwischen Infrarot-Strahler und Interferometer wird die längengemittelte Konzentration der strahlungsabsorbierenden Komponenten der Umgebungsluft bestimmt. Die Meßstrasse hat an den Anfangs- und Endpunkten entsprechend den gerätetechnischen Gegebenheiten eine Höhe von 1,5 bis 2 m über dem Boden.

## **5. Meßergebnisse**

#### **□ FID-Messung**

Die Messungen wurden am 23.06.1994 durchgeführt. Relevante Emissionen konnten lediglich im offenen Müllbereich sowie in der südlichen Böschung der Deponie ermittelt werden. Extremwerte mit 1.000 bis 8.000 ppm wurden am Böschungsfuß der südlichen Deponieböschung festgestellt. Dies ist unseres Erachtens auf die unzureichende Absaugung durch den hier installierten Gasmotor 2 zurückzuführen. Im Bereich der abgedeckten Böschungen wurden lediglich an drei Meßpunkten Meßwerte bis zu 50 ppm festgestellt.

Im Bereich der offenen Müllflächen lagen die Emissionswerte zwischen 0 und 300 ppm. Erhöhte Werte bis zu 1.400 ppm wurden an spezifischen Stellen ermittelt. Hierbei handelt es sich um offenen Altmüll bzw. um Bereiche, die mit größeren Mengen

Bodenmaterial zur Herstellung von Wällen überschüttet waren. Zur Ermittlung der Emissionen über die gesamte Fläche der Deponie von ca. 5 ha wurde der Mittelwert aus sämtlichen Meßwerten gebildet. Dieser ergibt sich zu 130 ppm.

### □ FTIR-Messung

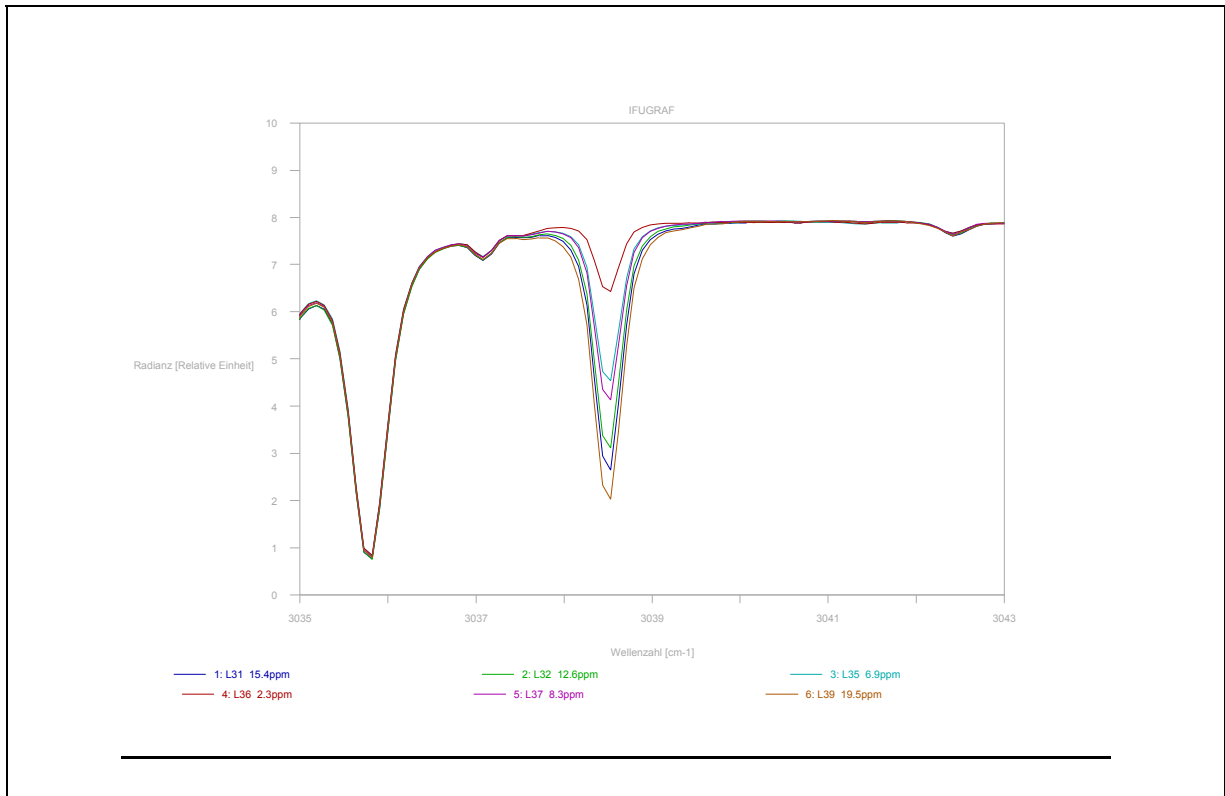
**Tabelle 1** zeigt die aus jeweils 5-9 Einzelmessungen errechneten Konzentrationsmittelwerte für die Stoffe CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CO und NO für die 8 Standorte unter Angabe der verwendeten Weglängen.

**Tabelle 1:** Konzentrationsmittelwerte auf dem Gelände der Deponie Schwaiganger 21.07.1993.

	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8
<b>CH<sub>4</sub> ppm</b>	12.7	11.6	10.4	8.8	17.7	10.6	5.5	1.7
<b>CO<sub>2</sub> ppm</b>	390	397	395	367	390	350	383	340
<b>N<sub>2</sub>O ppb</b>	327	336	325	312	315	293	328	286
<b>CO ppb</b>	150	142	150	150	140	150	150	110
<b>NO ppb</b>	8	16	13	15	21	22	28	8
<b>s m</b>	250	208	235	240	222	145	133	154

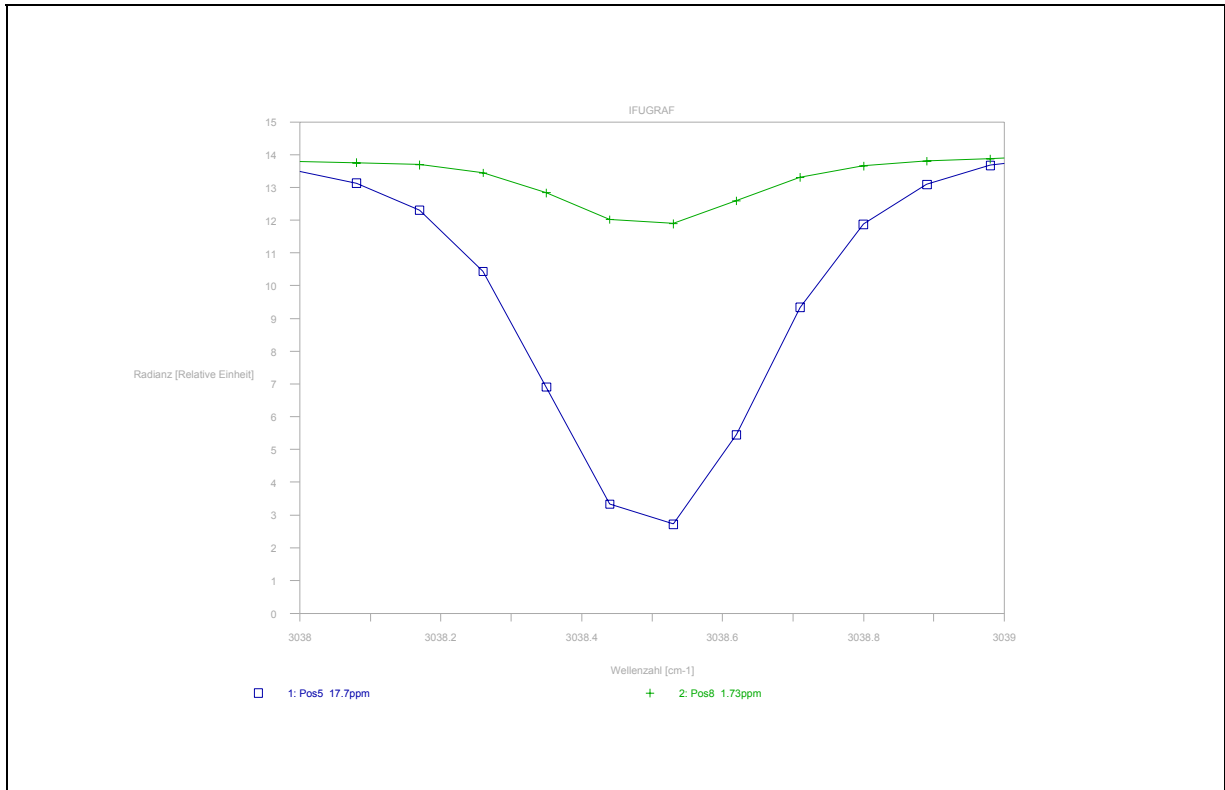
Die Variabilität von 6 in einem Zeitraum von 17 Minuten durchgeführten Einzelmessungen wird in **Abbildung 3** dargestellt, die Schwankungsbreite der Ergebnisse dieser Einzelmessungen lag im Bereich zwischen 2.3 und 19.5 ppm. Je stärker der Absorptionseinbruch bei 3038.5 cm<sup>-1</sup> ausfällt, desto höher ist die Konzentration. Es wird klar, daß der Momentanwert der CH<sub>4</sub>-Konzentration stark durch die Windverhältnisse beeinflusst wird.

**Abb. 3:** Variabilität der CH<sub>4</sub>-Konzentration.



**Abbildung 4** zeigt den Vergleich gemessener mittlerer CH<sub>4</sub>-Spektren für die Positionen 5 (Maximum) und 8 (Minimum, Abseits). Die mittlere CH<sub>4</sub>-Konzentration in der Position 5 lag bei 17.7 ppm (12.6 mg/m<sup>3</sup>) und war somit deutlich am höchsten. Das ist dadurch begründet, daß die Meßstrasse 5 direkt am unteren Teil des Hangs der abgedeckten Neuanlage lag, so daß der Wind keine sofortige Durchmischung des emittierten Methans bewirken konnte. Die niedrigsten Werte wurden erwartungsgemäß bei Position 8 (Abseitsmessung) ermittelt. Sie entsprechen der CH<sub>4</sub>-Reinluft-Konzentration.

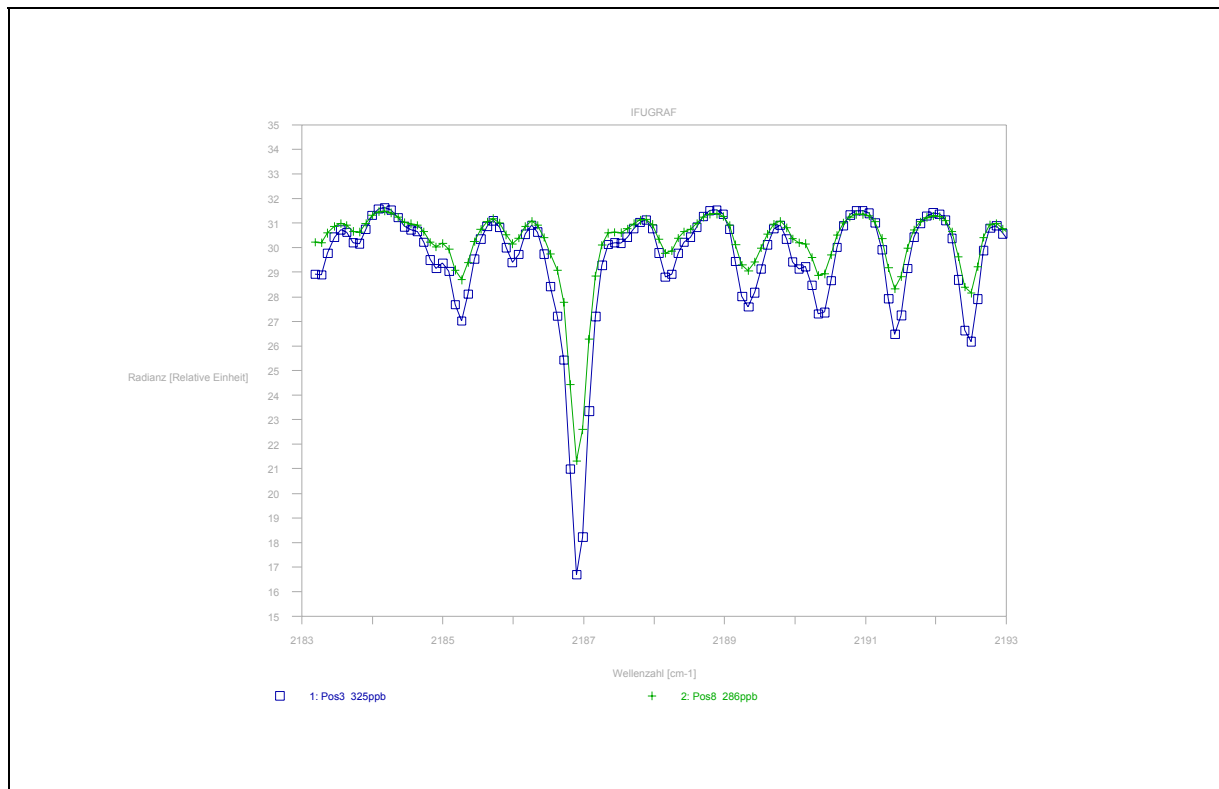
**Abb. 4:** Vergleich gemessener CH<sub>4</sub>-Spektren bei maximaler und minimaler Konzentration.



Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen über der Deponie sind gegenüber der Reinluftmessung (Position 8, 340 ppm) deutlich erhöht, es wurden Werte um 390 ppm ermittelt.

Die N<sub>2</sub>O-Konzentrationen über der Deponie sind gegenüber der Reinluftmessung (Position 8, 286 ppb) ebenfalls deutlich erhöht, es wurden Werte zwischen 291 und 336 ppb ermittelt. **Abbildung 5** zeigt einen Vergleich der Messungen für die Positionen 3 und 8. Die dort erkennbaren Spektralstrukturen sind weitgehend durch N<sub>2</sub>O bedingt. Eine Ausnahme bildet die starke Signatur bei 2187.0 cm<sup>-1</sup>, die durch H<sub>2</sub>O hervorgerufen wird. Die Wasserdampf-Konzentration in Position 3 betrug 1.56 %, in Position 8 dagegen nur 1.19 %, so daß der Absorptionseinbruch in Position 8 auch bei H<sub>2</sub>O deutlich schwächer ausgeprägt ist.

**Abb. 5:** Vergleich gemessener N<sub>2</sub>O-Spektren.



Die Konzentrationen der Stoffe NO und CO lagen im Bereich zwischen 6 und 28 bzw. 110 und 150 ppb. Die CO-Werte über der Deponie waren gegenüber der Reinluftkonzentration leicht erhöht. Die NO-Werte waren allerdings überraschend hoch.

Da der Wind am Tag der Messung schwach war und die Richtung ständig änderte, konnten keine Emissionsraten der gemessenen Gase bestimmt werden.

### □ Deponiegas-Emissionsraten

Auf der VDI-Tagung 1987 wurde von Herrn Prof. Rettenberger für eine grobe Abschätzung der Deponiegasemissionen über die Oberfläche folgende Umrechnungszahl genannt:

$$70 \text{ ppm Methan} = 4 \text{ l/h} \times \text{m}^2$$

Somit lässt sich für die Deponie "Schwaiganger" am Tag der Messung eine mittlere spezifische Emissionsrate von ca. 7 l/h x m<sup>2</sup> errechnen. Weiterhin lässt sich hiermit ein Emissionsvolumenstrom über die gesamte Deponiefläche von ca. 350 m<sup>3</sup>/h feststellen.

Der Vergleich dieser ermittelten Werte mit der Deponiegasprognose zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Laut Deponiegasprognose wurden für das Jahr 1994 ca. 420

m<sup>3</sup>/h errechnet. Durch Addition des ermittelten Emissionsvolumenstroms von 350 m<sup>3</sup>/h und der erfaßten Gasmenge von ca. 60 m<sup>3</sup>/h ergibt sich ein tatsächliches Gaspotential von ca. 410 m<sup>3</sup>/h.

Somit beträgt der augenblickliche Erfassungsgrad der beiden vorhandenen Gasmotoren ca. 15 %.

Die zusätzlichen Messungen im Bereich der südlichen Böschung, die im Abstand von ca. 50 cm zur Deponieoberfläche durchgeführt wurden, sind in **Tabelle 2** dargestellt.

**Tabelle 2:** Gegenüberstellung der Methan-Emissionswerte für die FID- und FTIR-Messung

	Mittelwert im Abstand zur Oberfläche Methan in ppm		Vergleichswert FTIR-Messung Methan in ppm
	0 cm	50 cm	
<b>Profil 1 (MW 103 - 118)</b>	118	22	17,7 (Pos. 5)
<b>Profil 2 (MW 119 - 134)</b>	20	4	8,8 (Pos. 4)
<b>Profil 3 (MW 135 - 147)</b>	972	11	8,8 (Pos. 4)

Beide Meßverfahren liefern unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Meßwerterfassung gut übereinstimmende Ergebnisse.

## 6. Resümee

Die Meßverfahren sind aus unserer Sicht geeignet, das Emissionsverhalten einer Hausmülldeponie darzustellen. Das FTIR-Verfahren ist fähig, mit relativ geringem Aufwand großflächige Deponien hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens zu kontrollieren. Des weiteren hat es den Vorteil, daß die emittierten Gase selektiv erfaßt werden. Nachteilig für das FTIR-Verfahren sind Deponien mit einem unregelmäßigen Oberflächenrelief.

Die punktuellen FID-Emissionsmessungen können in jedem Gelände durchgeführt werden, haben jedoch den Nachteil, daß die emittierten Gase nicht selektiv erfaßt werden. Um die Erkenntnisse zum Ausgasungsverhalten von Hausmülldeponien aus diesem Vergleich der Emissionsmessungen zu erhärten, sollte unseres Erachtens ein umfangreiches Meßprogramm an verschiedenen Hausmülldeponien durchgeführt werden.

Dazu sollten Wetterbedingungen gewählt werden, die die Bestimmung des Luftmassentransportes über der Deponie ermöglichen, so daß auch die Emissionsrate bei der FTIR-Messung ermittelt werden kann. Die Ziele einer solchen Meßkampagne sind:

- der Test eines effektiven Meßverfahrens für Ausgasungen für ein breites Anwendungsspektrum im Bereich Altlasten/Deponien sowie
- die Effektivierung der Deponiegaserfassung und -behandlung bzw -nutzung auf der Basis der Bewertung des Ausgasungsverhaltens der Deponie.

#### Literatur:

*Haus, R., Schäfer, K., Bautzer, W., Mosebach, H., Bittner, H., Eisenmann, T.:*  
Mobile FTIS-Monitoring of Air Pollution. Applied Optics 33,24 (1994), 5682-5689

*Haus, R., Schafer, K., Mosebach H.,*  
MEISTER - Ein mobiles optisches Fernmeßsystem zur quantitativen Multikomponentenanalyse gasförmiger Spurenstoffe in der Atmosphäre.  
In: Umweltchem. Ökotox. 6,5 (1994), 254-256

*Huber, W., Abfallwirtschaft & Umwelttechnik:*  
Endbericht zur Bestandsaufnahme des Deponiegaserfassungssystems und Emissionsverhalten der landkreiseigenen Deponie "Schwaiganger" , August 1994, erstellt für den Landkreis Garmisch-Partenkirchen

*Burkhard Weber:*  
"Minimierung von Emissionen der Deponie", Hannover 1990  
Veröffentlichung des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover, Heft 74

#### Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. sc. nat. K. Schäfer, Fraunhofer-Institut für atmosphärische Umweltforschung, Kreuzeckbahnstraße 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen, Tel. (08821) 183-192, Fax 73573, e-mail: schaefer@ifu.fhg.de

Dipl.-Ing. (FH) W. Huber, Abfallwirtschaft & Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft bRmH, Friedberger Str. 153, 86163 Augsburg, Tel./Fax (0821) 26199-0/-30; **E-mail: AU-Ing.Ges.@t-online.de**

Dr. L. Wackerle, Landratsamt Garmisch-Partenkirchen, Postfach 1563, 82455 Garmisch-Partenkirchen, Tel./Fax (08821) 751-337/-381

**Zur Person der Verfasser:**

*Prof. Dr. sc. nat. Klaus Schäfer*, Studium der Physik an der Universität Rostock und Abschluß als Diplom-Physiker 1973, Dissertation A und Dissertation B in der Atmosphärenforschung der Planeten Erde und Venus an der Akademie der Wissenschaften, Ernennung zum Professor für Atmosphärenphysik durch die Akademie der Wissenschaften 1988, Seit 1988 tätig auf dem Gebiet der Entwicklung und Anwendung optischer Methoden zur Bestimmung der Zusammensetzung der Atmosphäre sowie von Gasfreisetzungen mit dem Schwerpunkt der Entwicklung von Auswertprogrammen für die Fourier-Transform-Infrarot-Spektrometrie.

*Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Huber*, Studium der Physikalischen Technik mit Schwerpunkt "Technischer Umweltschutz", von 1990 bis 1993 tätig in einem Planungsbüro mit Schwerpunkt "Deponietechnik", seit 1993 geschäftsführender Gesellschafter der Ingenieurgesellschaft Abfallwirtschaft & Umwelttechnik bRmH in Augsburg.

*Herr Dr. Lorenz Wackerle* ist promovierter Chemiker und im Landratsamt Garmisch-Partenkirchen im Sachgebiet Abfallwirtschaft tätig.