

# Deponiegasprognose: Worauf kommt es an?

**Heinz Bogon**

Dipl.-Ing. H. Bogon, Beratender Ingenieur, Neustadt am Rbge.

## Abstract

Deponiegasprognosen haben sich in der Vergangenheit nicht immer als realistisch erwiesen, da mit den Modellansätzen oft zu sorglos umgegangen wurde. Die Eingangsparmeter der gebräuchlichen Modelle sind kritisch zu hinterfragen und soweit möglich zu evaluieren. Der Aufwand für eine Deponiegasprognose steckt daher in diesen Vorleistungen und in der Wahl eines geeigneten Berechnungsmodells.

## Keywords

Deponie, Deponiegasprognose, Prognosemodelle, Gasbilanz, TOC, Erfassungsgrad, Deponieemissionen

## 1 Vorbemerkungen

Die Prognose von Deponiegasmengen aus einer bestehenden Ablagerung gehört zum Standardrepertoire von Deponieplanungen und wurde bisher vorwiegend zur Auslegung von Gasbehandlungsanlagen benötigt. Nicht selten kam es dann zur Überdimensionierung dieser Anlagen - Deponiegasprognosen haben sich also leider nicht immer als realistisch erwiesen. Insbes. in den 80er Jahren des 20. Jh. wurden fast alle Entgasungsanlagen in Deutschland zu groß ausgeführt (STACHOWITZ, 2004).

Erweiterte Fragestellungen, in denen eine Deponiegasprognose eine Rolle spielt, sind in neuerer Zeit:

- Aussagen zum Erfassungsgrad des Deponiegases im Rahmen der jährlichen Berichterstellung des Deponiebetreibers. Aus Erfassungsgrad und aktuellem Wert der Gasbildung aus der Deponiegasprognose werden i.d.R. durch einfache Differenzbildung die aktuellen umweltschädlichen Restemissionen der Deponie ermittelt.
- Bezogen auf Regionen oder Länder können diese Restemissionen für alle Deponien addiert und in ein Verhältnis zu anderen umweltschädlichen (insbes. treibhauswirksamen) Emissionen gestellt werden. Hierdurch erhält man eine Aussage z.B. zur Relevanz der Klimaschädlichkeit von Deponien im Vergleich zu anderen Emissionsquellen.
- Ermittlung von Deponiegasmengen aus mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen und Aussagen zur Notwendigkeit einer Gasfassung und –behandlung bei derart stabilisierten Abfällen;

- Entwicklung der Deponiegasmengen nach Abdeckung, insbes. aber nach Abdichtung von Deponieabschnitten und daraus resultierender Austrocknung bzw. Aufrechterhaltung der Gasbildung durch gezielte Befeuchtung des Deponiekörpers unterhalb der Abdichtung;
- Entwicklung der Deponiegasmengen nach Belüftung (aerober In-Situ-Stabilisierung) von Deponien.

Bei der Gasbildung aus Monodeponien (insbesondere MVA-Schlacken-Deponien) herrschen anders geartete (chemisch-physikalische) Abläufe der Gasbildung vor. Diese Sonderfälle werden im Folgenden nicht behandelt.

## 2 Grundsätzliches zur Deponiegasbildung

### 2.1 Abbauverlauf

Die Bildung von Deponiegas resultiert aus dem anaeroben Abbau organischer Substanz. Das theoretische Gasbildungspotenzial (Methan und Kohlendioxid) beträgt 1,868 NI Deponiegas pro g abgebauten Kohlenstoff.

Der Verlauf der Gasproduktion kann durch eine Reaktion 1. Ordnung beschrieben werden (vgl. auch Abb. 1):

$$G_t = G_e \cdot (1 - e^{-k \cdot t})$$

bzw.  $G_t = 1,868 \cdot \text{TOC} \cdot (1 - e^{-k \cdot t})$

mit:

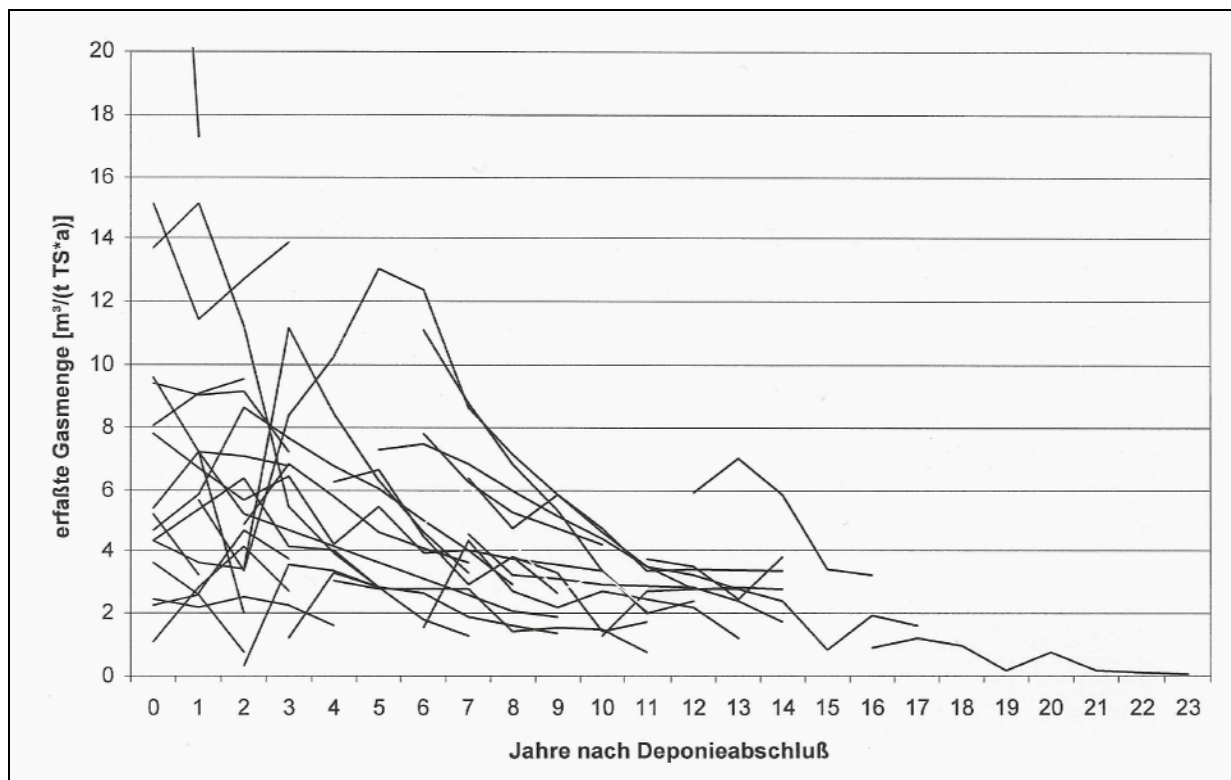
**$G_t$**  bis zur Zeit  $t$  gebildete Deponiegasmenge [ $\text{m}^3$ ]

**$G_e$**  Gasbildungspotenzial bzw. die in langen Zeiträumen gebildete Gasmenge [ $\text{m}^3$ ]

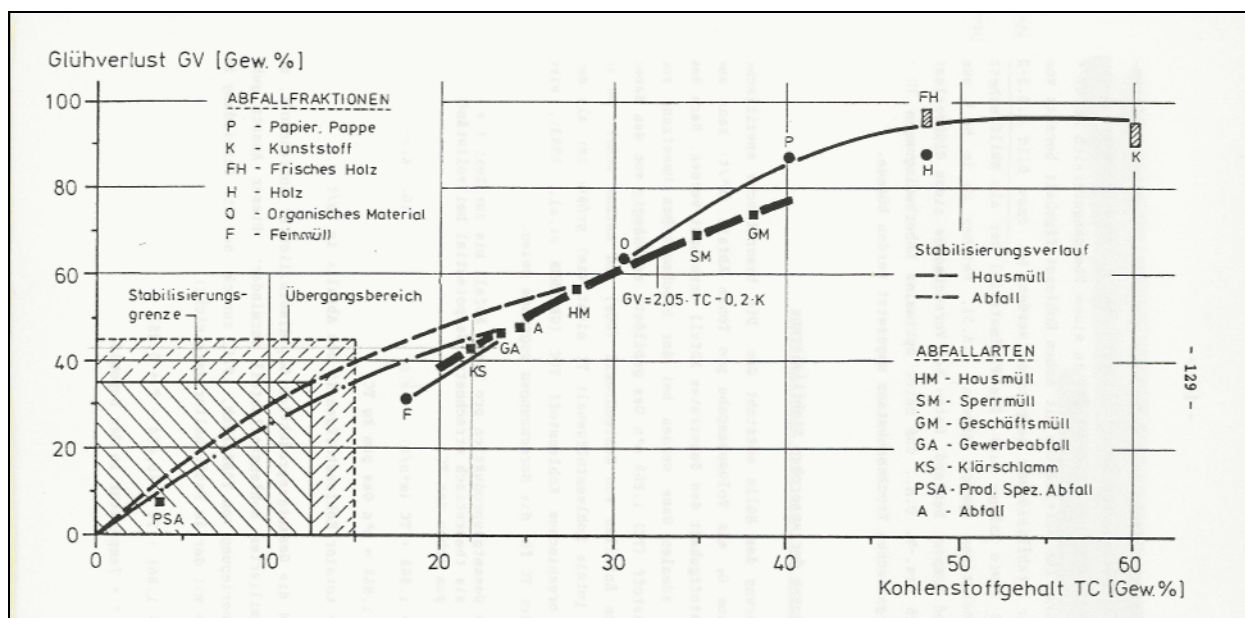
**TOC** organischer Kohlenstoffgehalt des Abfalls [ $\text{kg/t}$ ]

**$k$**  Abbaukonstante  $k = \ln 0,5 T_{1/2}$

Nachfolgend sind einige Literaturwerte für den TOC-Gehalt unterschiedlicher Abfälle (im Zusammenhang mit dem Glühverlust GV) und zum Abbaufaktor  $k$  zusammengestellt.



**Abbildung 1** Erfasste Deponiegasmengen verschiedener Deponien nach Deponieabschluss (EHRIG, KRÜMPELBECK, 1999)



**Abbildung 2** Glühverlust in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt und Stabilisierungsgrad für verschiedene Abfallarten und Abfallfraktionen (WEBER, 1990)

**Tabelle 1** Literaturlauswertung für Abbaufaktoren  $k$  bzw. die Halbwertszeit  $T_{1/2}$ , Zusammenstellung von DRESS, 2000

Literaturquelle	k-Werte für		Halbwertszeiten $T_{1/2}$
	$k = \ln 2 / T_{1/2}$	$k = \log 2 / T_{1/2}$	
TABASARAN (1976)	0,07		10
RETTENBERGER(1978)	0,228		2,4
TABASARAN, RETTENBERGER (1987) - allgemeine Angaben - Messungen an Deponien		0,025 bis 0,05 0,035 bis 0,04	12 bis 6 8,6 bis 7,5
HOEKS (1983)	0,0365		19
ROVERS (1983) - leicht abbaubar - mäßig abbaubar - schwer abbaubar	0,693 0,139 0,046		1 5 15
HOEKS (1980) - Messungen an Deponien	0,1		7
STEGMANN (1978/79) - leicht abbaubar - mäßig abbaubar			1,5 25
MOOLENAAR (1981) - leicht abbaubar - mäßig abbaubar - schwer abbaubar			1 bis 5 5 bis 25 20 bis 100
BOWERMANN (1976) - leicht abbaubar - mäßig abbaubar - schwer abbaubar	1,84 1,15 0,115		0,4 bis 1 0,6 bis 2 6 bis 20
HAM (1979) - leicht abbaubar - mäßig abbaubar andere Werte zitiert: - leicht abbaubar - mäßig abbaubar			1 15 0,5 bis 10 2 bis 25
EHRIG (1986)	0,198 bis 0,347		3,5 bis 2

Anmerkung: Der  $k$ -Wert kann durch Logarithmen zur Basis  $e$  ( $\ln$ ) und zur Basis 10 ( $\log$ ) ausgedrückt werden. Bei gleicher Halbwertszeit  $T_{1/2}$  ist der  $k$ -Wert für den natürlichen Logarithmus ( $\ln$ ) um den Faktor 2,303 größer als für den dekadischen Logarithmus ( $\log$ ).

## 2.2 Prognosemodelle

In der Praxis werden mathematische Prognose-Modelle angewendet, insbes. Black-Box-Modelle, welche den Abbau- bzw. Gasbildungsprozess lediglich mit Hilfe mathematisch formulierter Abläufe in Kombination mit empirischen Faktoren beschreiben.

Den in der Praxis üblichen Modellen gemeinsam ist die Beschreibung des Abbauverlaufes bzw. der Deponiegasbildung mit einer Funktion 1. Ordnung (Tabelle 2).

**Tabelle 2** Modelle zur Berechnung der Deponiegasbildung, Zusammenstellung nach BAUMELER et al, 1998

Modell	Vorgaben der Autoren
<b>Tabasaran-Rettenberger-Modell</b> <sup>1)</sup> $G_p = 1,868 \cdot \text{TOC}_{\text{abb}} \cdot (0,014 \cdot T + 0,28) = \text{m}^3/\text{t}$ $G_{(t)} = G_p \cdot (1 - 10^{-(t/k)}) = \text{m}^3/\text{t}$ Deponiegas	$k = 0,04 \text{ a}^{-1}$ $\text{TOC}_{\text{abb}} = 170\text{-}200 \text{ kgC/t}$ $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>Schweizer-Modell</b> <sup>2)</sup> $G_{(t)} = A \cdot (1 - e^{-(t/k_1)}) \cdot e^{-(t/k_2)} = \text{m}^3/(t \cdot \text{a})$ Deponiegas	$A = 13,61 \text{ m}^3/(t \cdot \text{a})$ $k_1 = 1,1 \text{ a}$ $k_2 = 15,72 \text{ a}$
<b>Ehrig-Modell</b> <sup>3)</sup> $G_{(t)} = G_{\text{tmax}} \cdot e^{-k_1 \cdot (t_1 - t)} = \text{m}^3/(t \cdot \text{a})$ Deponiegas $G_{(t)} = G_{\text{tmax}} \cdot e^{-k \cdot (t - t_1)} = \text{m}^3/(t \cdot \text{a})$ Deponiegas	$G_{\text{max}} = 100 - 180 \text{ m}^3/\text{t}; \phi 120$ $k = 0,139 \text{ a}^{-1}$ $G_{\text{tmax}} = (G_{\text{max}} \cdot k) = 13,9 - 25,0 \text{ m}^3/(t \cdot \text{a})$ $k_1 = 3,0 \text{ a}^{-1} / t_1 = 3 \text{ a}$
<b>Hoeks-Oosthoeks-Modell</b> <sup>4)</sup> $G_{(t)} = \sum 0,8 P_i \cdot (1 - e^{-(t/k_i)}) = \text{m}^3/\text{t}$ Deponiegas	$k_a = 0,693 \text{ a}^{-1}; t_{1/2} = 1 \text{ a}$ $k_b = 0,04 \text{ a}^{-1}; t_{1/2} = 15 \text{ a}$
<b>Martcorena-Modell</b> <sup>5)</sup> $MP_{(t)} = MP_{(0)} \cdot e^{-(t/k_i)} = \text{m}^3/\text{t}$ Deponiegas	

### Abkürzungen:

A = Maximale Gasproduktionsrate [ $\text{m}^3/(t \cdot \text{a})$ ]

k = Geschwindigkeitskonstante [ $\text{a}^{-1}$ ]

t = Ablagerungszeit [a]

$G_{\text{max}}$  = Maximale Deponiegasmenge [ $\text{m}^3/\text{t}$ ]

$G_{\text{tmax}}$  = Maximale Gasbildungsrate [ $\text{m}^3/(t \cdot \text{a})$ ]

$t_1$  = Zeitpunkt der maximalen Gasproduktion

$k_1$  = Zeitkonstante (ansteigender Ast) [a]

$k_2$  = Zeitkonstante (abfallender Ast) [a]

$k_a$  = Geschwindigkeitskonstante (leicht abbaubar) [ $\text{a}^{-1}$ ]

$k_b$  = Geschwindigkeitskonstante (schwer abbaubar) [ $\text{a}^{-1}$ ]

$MP_{(0)}$  = Deponiegasbildungspotential [ $\text{m}^3/\text{t}$ ]

$MP_{(t)}$  = Deponiegasbildungspotential zur Zeit t [ $\text{m}^3/\text{t}$ ]

$P_1$  = Anteil leicht abbaubarer Kohlenstoff [kgC/t]

$P_2$  = Anteil schwer abbaubarer Kohlenstoff [kgC/t]

$G_p$  = Gaspotential [ $\text{m}^3/\text{t}$ ]

$G_t$  = gebildete Deponiegasmenge [ $\text{m}^3/\text{t}$ ]

$\text{TOC}_{\text{abb}}$  = biologisch abbaubarer Anteil Kohlenstoff [kgC/t]

T = Temperatur [ $^\circ\text{C}$ ]

FS = Feuchtsubstanz

- 1) TABASARAN, RETTENBERGER, 1987
- 2) BUNDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, 1982
- 3) EHRIG, 1986
- 4) HOEKS & OESTHOEKS, 1991
- 5) MARTICORENA ET AL, 1993

Die Anfänge der Deponiegasprognosemodelle in Deutschland gehen auf Tabasaran zurück, der 1976 eine grundlegende mathematische Beziehung für die Gasbildungsre-

aktion aufstellte. Von Tabasaran und Rettenberger wurde dann 1987 das in Tab. 2 dargestellte Modell zur Beschreibung des Verlaufes der Gasproduktion entwickelt.

Die Menge und die Qualität des gebildeten Deponiegases ist vor allem abhängig vom Anteil an umsetzbaren Kohlenstoffverbindungen im Abfall. Der zeitliche Verlauf der Deponiegasproduktion hängt jedoch entscheidend vom Deponiebetrieb ab. Um diesen Sachverhalt zu berücksichtigen, wurden in die zunächst von Tabasaran beschriebene Gleichung von verschiedenen Autoren betriebstechnische Faktoren mit aufgenommen. Die Gasprognosemodelle wurden durch Aufnahme dieser Faktoren erweitert. Die weiteste Verbreitung fanden die entsprechenden Modelle von WEBER, 1990 UND 1993 und RETTENBERGER, 1995. Beide Modelle sind sehr ähnlich aufgestellt und gehen von folgenden Eingangsdaten aus:

- der Kohlenstoffgehalt des Abfalls (TOC) ist die Grundlage für die gesamte produzierbare Deponiegasmenge,
- die abgelagerte Abfallmenge während der Betriebsjahre ist bekannt,
- die Umsetzung des Kohlenstoffs zu Methan und Kohlendioxid erfolgt nach einer e-Funktion erster Ordnung auf der Basis des noch umzusetzenden Kohlenstoffs .

Beispielhaft sollen anhand des von WEBER, 1990 aufgestellten Gasprognosemodells die dort verwandten betriebsbedingten Faktoren erläutert werden, die Einfluss auf den Verlauf der Gasproduktion nehmen. Die zu einem bestimmten Zeitpunkt t nach erfolgter Ablagerung ( 1 Jahresmenge) faßbare Gasmenge  $Q_{a,t}$  beträgt nach WEBER, 1990:

$$Q_{a,t} = 1,868 \cdot M \cdot TC \cdot f_{a0} \cdot f_a \cdot f_0 \cdot f_s \cdot k \cdot e^{-k \cdot t}$$

mit:

- $Q_{a,t}$**  tatsächliche faßbare gesamte Gasproduktion zum Zeitpunkt t [ $m^3/a$ ]
- M** jährlich angelieferte Abfallmenge [kg]
- TC** Kohlenstoffgehalt des Abfalls [kg/t], entspricht in etwa dem organischen Kohlenstoffgehalt TOC
- $f_{a0}$**  Anfangszeitfaktor; Berücksichtigung der Gasverluste im ersten halben Jahr nach erfolgter Ablagerung durch aerobe Umsetzung (0,95 [-] für Kippkantenbetrieb; 0,8 [-] für Dünnschichteinbau)
- $f_a$**  Abbaufaktor; Verhältnis von unter optimalen Bedingungen vergasbarem zum gesamten Kohlenstoffgehalt (ca. 30 % des TC sind für biochemische Umsetzung nicht zugänglich, z.B. Lignin und Kunststoffe),  $f_a \approx 0,7$

- f<sub>0</sub>** Optimierungsfaktor; Verhältnis von unter praktischen Deponiebedingungen umgesetztem Kohlenstoff zu unter optimalen Laborbedingungen vergasbarem Kohlenstoff (anaerober Abbau in der Deponie nicht optimal wegen örtlich begrenzter trockener Nester, Hemmung durch bestimmte Stoffe, Unterversorgung mit Nährsalzen und Spurenelementen),  $f_0 \approx 0,7$
- Anmerkung: Das Produkt  $f_a \cdot f_0$  ist i.d.R.  $\leq 0,5$ , mehr als 50% des theoretisch errechneten Gaspotenzials wird unter Deponiebedingungen nicht erzeugt (WEBER, 1990)
- f<sub>s</sub>** systembedingter Fassungsgrad; Verhältnis der unter Deponiebedingungen in Abhängigkeit von Entgasungssystem und Abdichtung gefaßten zur tatsächlich produzierten Gasmenge (100% Erfassungsrate sind in der Praxis unrealistisch, bei sehr guten Erfassungssystemen mit Oberflächenabdichtung des Deponiekörpers sollten max. 60 – 70% angesetzt werden.
- k** Abbaukonstante  $k = \ln 0,5 T_{1/2}$
- T<sub>1/2</sub>** Zeit, in der 50 % des Kohlenstoffs umgesetzt sind (Halbwertszeit)
- t** betrachteter Zeitabschnitt ( $t = 0$  bezeichnet nicht den Beginn der Ablagerung, sondern den Beginn der Gasproduktion unter anaeroben Bedingungen [a])

Um einen verzögerten Ablauf der Gasproduktion zu erfassen, wurde von Ehrig bereits 1981 in Anlehnung an das „Schweizer Modell“ ein modifizierter Ablauf auf der Grundlage zweier Gleichungen beschrieben. Die erste Gleichung beschreibt die Phase des exponentiellen Bakterienwachstums, die zweite Gleichung die substratlimitierte Phase der abnehmenden Gasproduktion. Dieser Ansatz wurde 1994 nochmals modifiziert, um den Verlauf bis zum Erreichen der maximalen Gasproduktion besser zu erfassen. Die maximale Gasproduktion wird etwa 3 – 6 Jahre nach Einbau der Abfälle erreicht.

Das Deponiegasmodell von HOEKS-OESTHOEKS, 1991 ist ähnlich wie das Modell von Tabasaran/Rettenberger aufgebaut, die Abfälle werden aber in leicht und schwer abbaubare Anteile mit unterschiedlichen Halbwertszeiten von 1 und 15 Jahren unterteilt. Des weiteren ist der Anteil des abbaubaren Kohlenstoffes geringer, was zu generell niedrigeren Gasbildungsraten führt.

Eine noch weiter gehende Unterteilung wurde von BAUMELER ET AL, 1998 durchgeführt. Sie adaptierten ein Modell von MARTICORENA, 1993 durch Unterteilung des organischen Kohlenstoffes in 3 Kategorien (leicht, schwer abbaubar, sehr schwer abbaubar) mit den Halbwertszeiten 2, 7 und 2.600 Jahre.

Neuere Entwicklungen, z.B. am Sonderforschungsbereich 477 der TU Braunschweig, zielen darauf ab, milieuabhängige, biokinetische Prozesse im Deponiekörper zu beschreiben und ein entsprechendes Reaktionsmodell zu entwickeln. Die Frage der Ein-

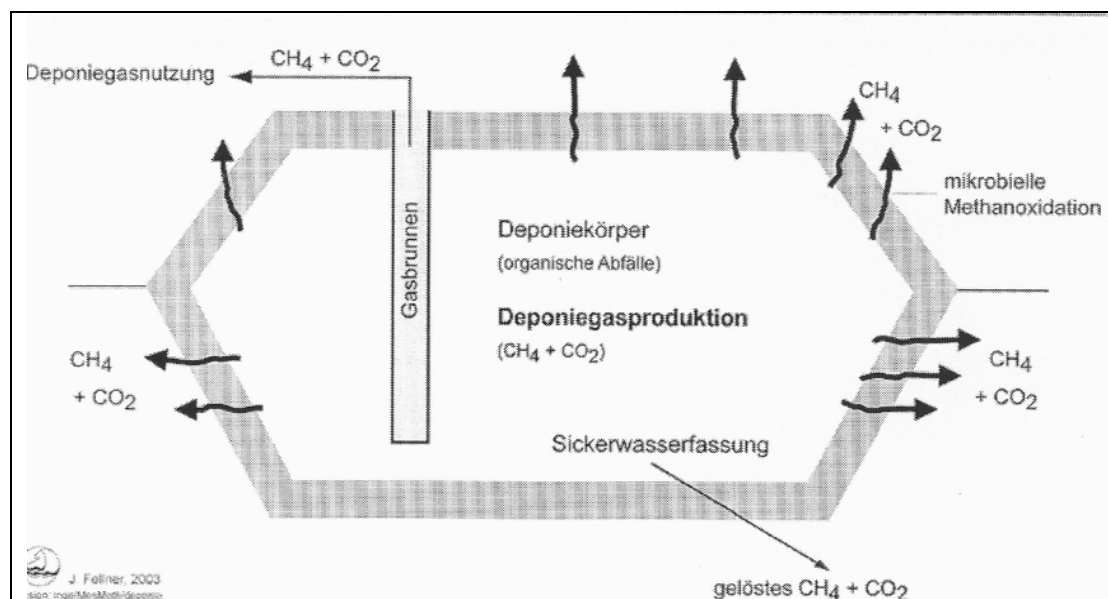
setzbarkeit solcher Modelle ist stark von der hinreichenden Kenntnis über Parameter- und Variablensignifikanzen sowie der statistischen Verteilung der Parameter im Deponiekörper abhängig (HAARSTRICK ET AL, 2002), so dass hier offensichtlich noch reichlich Bedarf an Grundlagenforschung besteht.

### 3 Messmethoden und Gasbilanz

Um eine Deponiegasprognose durch reale Gasbildungsraten einer Deponie evaluieren zu können, ist ein hoher messtechnischer Aufwand erforderlich. Begründet ist dies in der Ausdehnung des Deponiekörpers, im häufig langen Zeitraum der Ablagerung von Abfällen mit nicht hinreichend bekannter Zusammensetzung und auch in meteorologischen Einflüssen, so dass jeder Messeinsatz lediglich eine Momentaufnahme der Situation zum Ergebnis hat.

Zur Ermittlung realer Gasbildungsraten an Deponien sind die einzelnen Elemente der Gasbilanz messtechnisch zu ermitteln:

1. Erfasste und behandelte Deponiegasmessungen (direkte Messung und Aufzeichnung)
2. In den umgebenden Boden migrierende Deponiegasmengen (insbes. bei Grubendeponien relevant)
3. Mikrobielle Methanoxidation im oberflächennahen Bereich durch Zutritt von Sauerstoff
4. Austrag durch Lösung von Gasen im Sickerwasser
5. In die Atmosphäre emittierendes Deponiegas.



**Abbildung 3** Elemente der Gasbilanz einer Deponie (FELLNER ET AL, 2003)  
Praxistagung Deponie 2005 www.wasteconsult.de



Zur Ermittlung von Deponiegasemissionen stehen i.W. folgende Methoden zur Verfügung:

**Tabelle 3** Vergleich von Messmethoden (nach SCHARFF, 2001, ergänzt)

Methode	Räumliche Auflösung	Zeitliche Auflösung	Erfahrungen	Vor- und Nachteile
Bodenprofilmessungen	m <sup>2</sup>	h	wenige	hohe Unsicherheit der Methode, Beeinflussung des zu messenden Systems
FID-Begehung	m <sup>2</sup>	min	zahlreiche	nur CH <sub>4</sub> -Konzentrationsmessung, keine quantitative Aussagekraft über Emissionsstrom, geeignet zum Aufspüren bevorzugter Emissionsstellen
FTIR- bzw. TDL-Messung	lineare Messung	min	einige	nur CH <sub>4</sub> -Konzentrationsmessung, wird oft in Kombination mit Tracergas-Methode zur Bestimmung der CH <sub>4</sub> -Konzentration verwendet
Gasboxen	m <sup>2</sup>	h	zahlreiche	punktförmige Aussagekraft, zeitintensiv (viele Austellpunkte bei größeren Flächen benötigt), einfache Messanordnung, geeignet um räumlich und zeitliche Variation der Emissionen zu erfassen
Tracergas-Methode	gesamte Deponie	h	wenige	genaueste Messmethode, jedoch sehr kostenintensiv
Bilanz-Methode	>2000m <sup>2</sup> bis einige ha	kontinuierl. Messung möglich	einige	gut geeignet zur Automation
C13-Isotopen Methode	gesamte Deponie	h	wenige	zur Methanoxidationsmessung verwendet, sehr kostenintensiv

Häufig wird zur Ermittlung der Gasergiebigkeit auch ein Absaugversuch durchgeführt. Hierbei wird über mehrere Tage, Wochen oder gar Monate Deponiegas über eine Gassonde, besser über einen Kollektor abgesaugt. Gasdruck (Unterdruck), Gasvolumenstrom, Gastemperatur und Gaszusammensetzung werden messtechnisch ermittelt. Durch Druckmessungen an Sonden im Umfeld der Entnahmestelle wird versucht, eine Aussage über die Reichweite des Entnahmebereiches zu erhalten. Da diese Reichweite aber nicht exakt ermittelt werden kann und zudem unklar bleibt, ob die abgesaugte Gasmenge auch der produzierten Gasmenge entspricht, erscheinen bei derartigen Absaugversuchen Aufwand und Erkenntnisgewinn nicht unbedingt in einem ausgewogenen Verhältnis zu stehen.

Um zwischen der relativ einfach durchführbaren FID-Messung (Konzentrationsmessung an der Deponieoberfläche) und der Emissionsrate einen Zusammenhang herzustellen, wurden häufig ergänzend Gasboxenmessungen durchgeführt und die Ergebnisse in Korrelation gebracht (Tab. 4).

**Tabelle 4** Beziehung zwischen FID-Messwerten und Gasboxenmesswerten (FLÖGL, 2002)

FID-Messung [ppm]	Methanemissionen [g/(m <sup>2</sup> h)]	Mittelwert Methanemissionen [g/(m <sup>2</sup> h)]
1000-9999	36 - 144	72
100-999	3,6 - 14,4	7,2
10-99	0,36 - 1,44	0,72
0-9	0,036 - 0,144	0,072

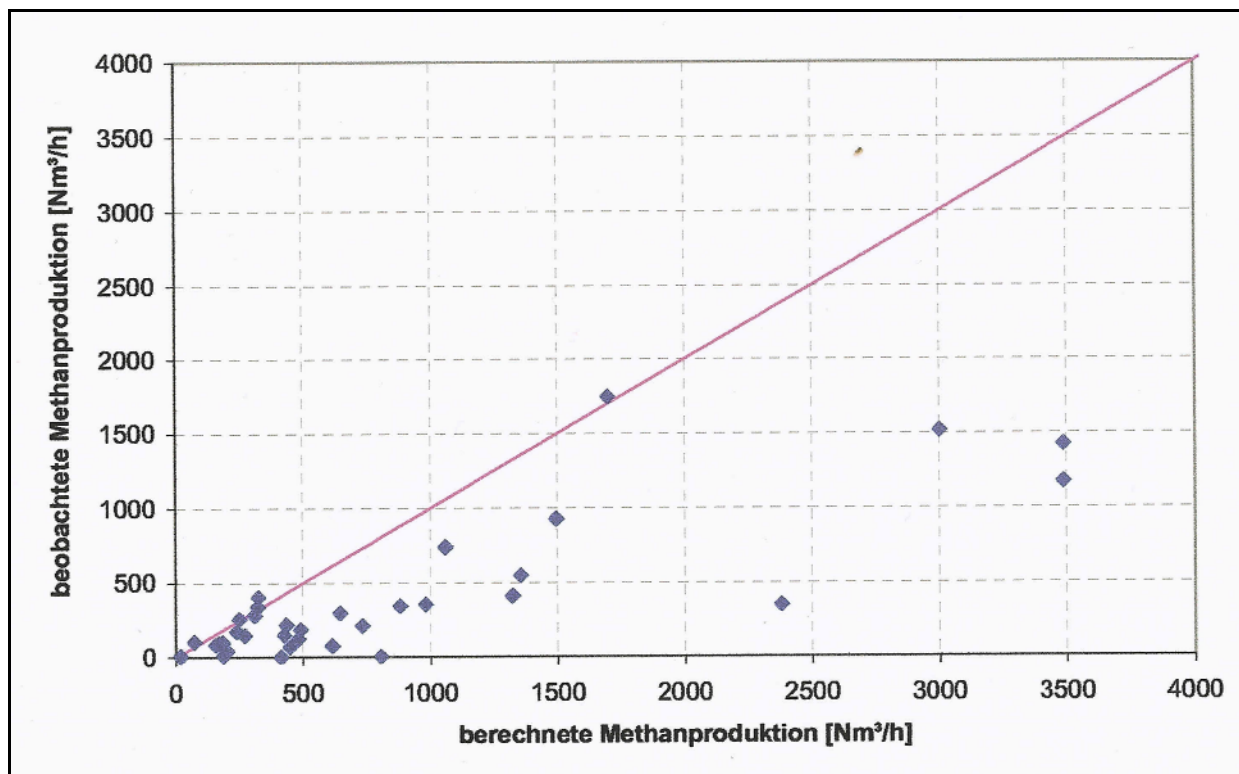
#### 4 Vergleich berechneter und gemessener Deponiegasmengen

In Fällen, in denen Gesamtdeponiegasmengen messtechnisch ermittelt und die Ergebnisse veröffentlicht wurden, lassen sich reale Gasmengen mit den Rechenwerten aus Gasprognosen vergleichen. Bei den gemessenen Gasmengen ist zu berücksichtigen, dass infolge mikrobieller Methanoxidation ein Teil des gebildeten Methans nicht erfasst wird und demzufolge auf der Grundlage von Erfahrungs- bzw. Literaturwerten abgeschätzt werden muss, also auch nach aufwendigen Messungen immer noch Unsicherheitsfaktoren bestehen bleiben.

Beim Vergleich der so aufbereiteten Daten für eine Vielzahl von Deponien fällt auf, dass die berechnete Methanproduktion fast immer höher ist als die beobachtete bzw. gemessene Methanproduktion (Abb. 4). Zum Teil ergeben sich eklatante Abweichungen, so dass die Rechenwerte die gemessene Methanproduktion um das 2 bis 4fache überschätzen. Im Mittel der europäischen Deponien, die in die Untersuchungen von FELLNER ET AL, 2003 einbezogen wurden, ergibt sich ein Überschätzungsfaktor von 2.

Von den o.g. Autoren werden hauptsächlich folgende Gründe für diese Abweichungen gesehen:

- Der Anteil des abbaubaren Kohlenstoffs in der Gasprognose wurde mit 200 g/kg FS angesetzt. Realistisch liegt der kurz- und mittelfristig abbaubare Kohlenstoffanteil im Haus- und Restmüll nach Daten aus den 80er und 90er Jahren zwischen 104 – 145 g/kg FS.
- Selbst bei reichlicher äußerer Wasserzufuhr bilden sich trockene Bereiche im Deponiekörper aus, so dass diese Bereiche zumindest zeitweise von biochemischen Umsetzungsprozessen ausgeschlossen sind.



**Abbildung 4** Vergleich von berechneter und gemessener Methanproduktion europäischer Deponien (unter Annahme einer 20% Methanoxidation) nach FELLNER, SCHÖN-GRUNDNER, BRUNNER, 2003

## 5 Worauf kommt es an?

Wie bei vielen anderen naturwissenschaftlichen Modellen auch ist bei der Deponiegasprognose die Qualität der Eingangsdaten von ausschlaggebender Bedeutung. Es kann vorausgesetzt werden, dass mit einer Funktion 1. Ordnung der Abbauperlauf bzw. der Verlauf der Gasbildung prinzipiell beschrieben werden kann und alle gängigen Prognosemodelle insofern realistisch sind. Wieviel Deponiegas jedoch real in welcher Zeit gebildet wird, hängt von den Substrateigenschaften, den Milieubedingungen in der Deponie, den Betriebsbedingungen und späteren Eingriffen ab (insbes. Abdeckung, Abdichtung des Deponiekörpers).

Da der Anteil der abbaubaren Organik für die Gasmenge ausschlaggebend ist, ist die Kenntnis der Zusammensetzung der abgelagerten Abfälle von großer Bedeutung. Hier ist jedoch zu beachten, dass bei älteren Deponien die Erfassung der Eingangsmengen häufig unzureichend war, da früher häufig bei der Anlieferung weder verwogen noch in Abfallarten nach heutigem Stand differenziert wurde. Bei Deponien in den neuen Bundesländern kommt hinzu, dass dortiger Hausmüll früher sehr viel Asche enthielt und dementsprechend wenig abbaubare Organik. Die Zusammensetzung der abgelagerten Abfälle und erst recht deren abbaubarer Anteil kann demzufolge häufig nur grob abge-

schätzt werden. Aus unrealistischen Ansätzen zur Abfallzusammensetzung kann mit dem besten Modell aber keine realistische Deponiegasprognose resultieren.

Von ebenso großer Bedeutung ist der Anteil der Deponie, der an der Deponiegasbildung teilnimmt. Das Modell der Deponie als homogener Körper mit gleichmäßiger Durchfeuchtung widerspricht den Erkenntnissen aus Aufgrabungen an Deponien der letzten Jahre. Im Deponiekörper bilden sich bevorzugte Fließwege und Trockenzonen, deren Lage sich mit der Zeit verändert. In der Regel nimmt also nur ein nicht näher bekannter Teil des Deponiekörpers an der Gasbildung teil. Der Folienanteil am Deponiegut hat gewichtsmäßig nur einen kleinen Anteil, dürfte aber die Fließvorgänge im Deponiekörper, auch bedingt durch den praktizierten Horizontaleinbau der Abfälle, stark beeinflussen. Insgesamt ist dieser Themenbereich bislang noch zu wenig erforscht, so dass man auch hier auf Annahmen angewiesen ist.

Bei einigen Deponien mit älteren Entwässerungssystemen ist darüber hinaus ein Sickerwassereinstau von z.T. mehreren Metern Höhe im Deponiekörper eingetreten. Auch wenn hierdurch nicht die Gasbildung beeinträchtigt wird, muss doch mit einer Behinderung der Gasfassung gerechnet werden.

Die zeitliche Entwicklung der Gasbildung wird durch die Halbwertszeit bzw. die Abbaukonstante  $k$  beschrieben. Auch bei der Wahl dieses Parameters hat man genügend Entscheidungsspielraum für eher realistische oder sehr eigensinnige Ergebnisse der Gasprognose.

Insgesamt wird erkennbar, dass sich der Deponiekörper in seiner Ausdehnung, Inhomogenität und Wechselwirkung mit der Umgebung bis heute der exakten Erkundung widersetzt. Man sollte sich bei Erstellung einer Deponiegasprognose also immer der Tatsache bewusst sein, dass eine Prognose mathematisch eine „begründete Vorhersage“ ist, bei der bereits die Begründung der Eingangsparameter auf schwachen Füßen stehen kann. Daher sollte zu einer Deponiegasprognose immer eine Sensitivitätsanalyse gehören, in welcher die Eingangsparameter in realistisch begründeten Grenzen variiert werden und damit die Prognoseunsicherheit ehrlicherweise auch dargestellt wird.

Modellansätze, welche die Berücksichtigung unterschiedlicher Betriebsbedingungen erlauben, lassen sich besser an deponiespezifische Randbedingungen anpassen. Inwieweit weiter gehende Ansätze, z.B. durch Berücksichtigung leicht, mittel und schwer abbaubarer Abfallanteile, die Prognosesicherheit verbessern, dürfte davon abhängen, ob hierfür realistische und signifikante Eingangsparameter vorhanden sind (bei Halbwertszeiten von 2.600 a – s.o. – erscheint eine Relevanz für Probleme der Praxis eher fraglich). Grundsätzlich gilt auch hier, dass das Handicap unzureichend erkundeter Eingangsparameter nicht durch die Steigerung der Rechenleistung ausgeglichen werden kann.

Je nach Fragestellung ist dann aus der Sensitivitätsanalyse eine Empfehlung für den Verlauf der Deponiegasbildung abzuleiten, welche im Sinne einer ingenieurmäßigen Planung entsprechende Sicherheiten berücksichtigt (z.B. im Hinblick auf die Vermeidung der Überdimensionierung technischer Anlagen oder der Unterdimensionierung passiver Systeme). Ein gewisser praktischer Erfahrungshintergrund, der über die reine Anwendung eines Rechenmodelles hinausgeht, ist ganz sicher von Nutzen.

Im Übrigen gilt auch für die Deponiegasprognose, sofern man dann doch zu offensichtlich daneben gelegen hat:

"Ein Experte ist ein Mann, der hinterher genau sagen kann, warum seine Prognose nicht gestimmt hat." (Winston Churchill).

## 6 Literatur

- |   |      |   |
|---|------|---|
| Baumeler, A.<br>Brunner, P.H.<br>Fehring, R.<br>Kisliakova, A.<br>Schachermayer, E. | 1998 | Reduktion von Treibhausgasen durch Optimierung der Abfallwirtschaft<br>Verband der Elektrizitätswerke Österreich (VEÖ),<br>Wien, 1998   |
| Drees, T.   | 2000 | Beschleunigter Stoffaustrag aus Reaktordeponien, Diss. an der RWTH Aachen, 2000   |
| Ehrig, H.-J.  | 1981 | Beitrag zum quantitativen und qualitativen Wasserhaushalt von Mülldeponien, Veröff. des Instituts für Stadtbauwesen, TU Braunschweig, Heft 26, 2. erweiterte Auflage          |
| Ehrig, H.-J.  | 1994 | Gasprognosemodelle bei unterschiedlichen Deponietypen, Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 6, Economica Verlag, 1994  |
| Fellner, J.<br>Schöngrundner, P.<br>Brunner, P.H.                                   | 2003 | Methanemissionen aus Deponien – Bewertung von Messdaten (METHMES)<br>im Auftrag des Bundesmin. für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, TU Wien, Nov. 2003 |
| Flögl, W.   | 2002 | Klimarelevanz der Deponien in Oberösterreich im Auftrag der OÖ Landesregierung, März 2002   |
| Haarstrick, A.<br>Hempel, C.  | 2002 | Analyse der biologischen und chemischen Reaktionsprozesse in Deponien, TU Braunschweig, SFB 477, 2002   |

- |                                   |      |   |
|-----------------------------------|------|---|
| Krümpelbeck, I.                   | 1999 | Untersuchungen zum langfristigen Verhalten von Siedlungsabfalldeponien, Diss. an der Univ. GHS Wuppertal, 1999                    |
| Rettenberger, G.                  | 1987 | Gashaushalt von Deponie<br>Deponie I, Ablagerung von Abfällen, EF-Verlag  |
| Rettenberger, G.                  | 1995 | Betriebshandbuch Deponiegas<br>Hrsg. RUK Ingenieurgruppe, Stuttgart   |
| Scheelhaase, T.                   | 2001 | Der Kohlenstoffaustrag aus Abfalldeponien mit mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen, Diss. Bauhaus-Univ. Weimar, 2001 |
| Stachowitz, W. H.                 | 2004 | „Berechnung“ oder Abschätzungen von Gasproduktionsmengen → Gasprognose<br><a href="http://www.das-ib.de">www.das-ib.de</a>        |
| Tabasaran, O.<br>Rettenberger, G. | 1987 | Grundlagen zur Planung von Entgasungsanlagen<br>Handbuch Müll und Abfall, Kennz. 4547, Lieferung 1/87, E. Schmidt Verlag          |
| Weber, B.                         | 1990 | Minimierung von Emissionen der Deponie, Veröff. des ISAH, Univ. Hannover, Heft 74, 1990   |
| Weber, B.                         | 1993 | Gas- und Wasserhaushalt von Deponien, Abfallwirtschaftsjournal, Jg. 5, Heft 1   |

### **Anschrift des Verfassers**

Dipl.-Ing. Heinz Bogon  
Beratender Ingenieur Bauwesen - Umwelttechnik  
Marschstraße 24  
D-31535 Neustadt am Rbge.  
Telefon +49 5032 61 631  
Email: [h.bogon@onlinehome.de](mailto:h.bogon@onlinehome.de)  
Website: [www.oekobauconsult.de](http://www.oekobauconsult.de) (in Vorbereitung)