

Allgemeines über Deponiegas

Inhalt

- 1 Notwendigkeit der Gasfassung und rechtliche Randbedingungen**
- 2 Grundlagen der Gasbildung**
- 3 Gasqualität**
- 4 Gasdichte**
- 5 Grundlagen der Methanoxidation**



Büro für Umwelt- und Verfahrenstechnik GmbH

Am Neuen Kamp 30

24537 Neumünster

Tel.: 04321/56988-0

Fax: 04321/56988-9

E-Mail: Info@BUV-NMS.de

Allgemeines über Deponiegas

1 Notwendigkeit der Gasfassung und rechtliche Randbedingungen

Ausgelöst durch Niederschläge und den Feuchtigkeitsgehalt wird der biologisch abbaubare Anteil der Abfälle (Kohlehydrate, Fette, Eiweiß u. a.) vorwiegend unter anaeroben Bedingungen zu Methan und Kohlendioxid umgesetzt (vgl. **Abb. 1-1**). Das produzierte Deponiegas stellt einerseits einen Energieträger dar, ist aber zunächst als potenzielle Umweltbelastung zu betrachten (s. **Tab. 1-1**).

Entgasungsmaßnahmen werden deshalb bei Deponien, auf denen bis Mitte 2005 Abfälle mit Glühverlusten > 5 % abgelagert wurden, in den ersten 15 bis 20 Jahren nach Abschluss einzelner Abschnitte bis zur Unterschreitung einer abzuschätzenden Grenzemission erforderlich. Die Aufgaben der technischen Entgasung sind:

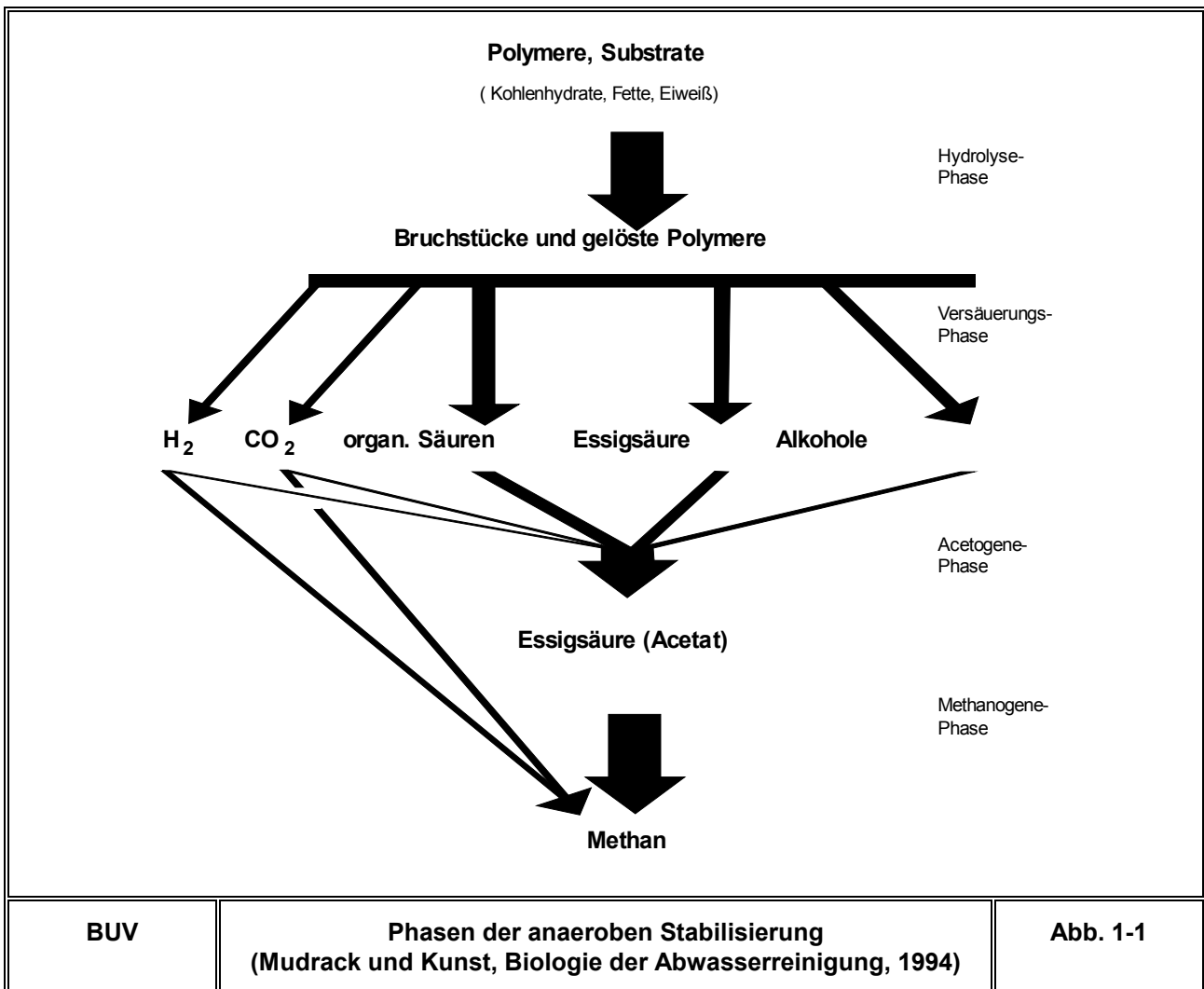
- Minimierung von Geruchsemissionen
- Verhinderung der Gasmigration aus dem Deponiebereich hinaus, vornehmlich bei Hang- und Grubendeponien
- Verhinderung der Gasmigration in Bauwerke hinein
- Minimierung oder Verhinderung von Vegetationsschäden an Renaturierungspflanzungen.

Die Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts – Deponieverordnung (DepV) - schreibt in § 12 Absatz 3 Nr. 2 in Verbindung mit dem Anhang 5 Nr.7 verbindlich vor, dass beim Nachweis von Deponiegas in relevanten Mengen, dieses nach dem Stand der Technik zu fassen und möglichst zu verwerten ist. Der Anhang C der TA Si enthielt umfassende Regelungen und Hinweise nach dem S.d.T. zu Fragen der

- Deponiegaserfassung,
- Fassungssystemen,
- Gassammlung und Regelungssystemen

Qualität und Quantität des gefassten Deponiegases sind regelmäßig zu untersuchen. Ferner ist die Wirkungsamkeit der Entgasung durch Kontrollen nachzuweisen. Eigenkontrollen und auch Fremdüberwachungen müssen während der Betriebs- und in der Nachsorgephase der Deponie durchgeführt und ausgewertet werden (DepV, Anhang 5 Nr. 3.2 Tabelle Nr. 2.4).

	Quelle	Emissionspfad	Einwirkungsort	Wirkung	Maßnahmen
1	Originäres Deponiegas	Deponie, Boden, Undichtigkeiten	Schächte, Keller	Erstickung	Be- und Entlüftung, Raumlufmessung
2	Luftverdünntes Deponiegas	wie 1.	Schächte, Keller, geschl. Räume + Umgebung	Explosionsgefahr	Be- und Entlüftung, Raumlufüberwachung
		-	Inneres der Entgasungseinricht.	Explosionsgefahr	Aktiver u. passiver Ex-Schutz
3	Gasmigration	Boden	Abdeckboden, umgebender Boden	Pflanzenschäden (Verdrängung von Luftsauerstoff)	Aktive Entgasung ggf. in Verbindung mit (oberer) Abdichtung
4 a	Spurengase H ₂ S, CO, FCKW	wie 1. + 5.	wie 1. - 3.	Toxizität i. d. R. überlagert durch 1.	wie 1. - 3.
4 b	Kohlendioxid	wie 1. + 5.	wie 1. - 3.	Toxizität, MAK 5 ‰	wie 1. - 3.
5	Geruch des Gases	Ausbreitung in der Luft	Deponieumgebung	Geruchsbelästigung	Aktive Entgasung, obere Abdichtung
BUV		Mögliche Umweltbelastungen und -gefährdungen durch Deponiegas			Tab. 1-1



2 Grundlagen der Gasbildung

Wasser spielt für die Förderung der biochemischen Vorgänge und als Transportmedium für die Umsetzungsprodukte in herkömmlichen Deponien eine ganz wesentliche Rolle. Die Mineralisierung der organischen Stoffe im Deponiekörper kann z. B. wegen Wassermangels oder eines Überangebots leicht abbaubarer Inhaltsstoffe gestört sein und verläuft insbesondere in der "Methanphase" unter optimalen Bedingungen.

Durch die Gasproduktion entsteht in der Deponie ein Überdruck. Aus den biochemischen Umsetzungsprozessen folgt ein Temperaturanstieg. Der Druck und die Temperatur als treibende Kraft bewirken eine Gasbewegung hauptsächlich entlang der Abfall-Einbauschichten und damit i. d. R. in horizontaler Richtung zum Rand der Deponie hin. Dieser konvektive Gastransport wird

im Randbereich der Deponie durch Diffusionsvorgänge überlagert. Mit der Diffusion wird die Gasbewegung infolge von Konzentrationsunterschieden beschrieben. Das heißt, aus der Deponie hinaus diffundieren CH_4 und CO_2 und in die oberen Deponieschichten hinein Sauerstoff und Stickstoff (Konzentrationsausgleich CH_4/CO_2 gegen O_2/N_2). Den Rand der Deponie stellt die luftseitige Böschung dar. Deponien nach dem Stand der Technik sind nach Abschluss vollständig eingekapselt (Basis- und Oberflächenabdichtung). Gasdiffusion wird wegen der Sperrwirkung der Abdichtung dabei weitestgehend unterbunden. Das Gas wird über Kollektoren und einen angelegten Unterdruck in der Methanphase aktiv aus der Deponie abgesaugt. Beim Unterschreiten einer abzuschätzenden **Grenzemission**, welche sich in der Langzeitphase nach **Abb. 3-2** einstellt, ist die technische Gasfassung nicht mehr sinnvoll möglich. Wie die DepV dies im Anhang 5 Nr. 7 empfiehlt, kann auf eine passive Entgasung mit der Konvektion als treibender Kraft umgestellt werden.

Für oben abgedeckte bzw. abgedichtete Deponieabschnitte kann beim Unterschreiten einer potenziellen oberflächenspezifischen Emission von $q_A = 1,5 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ bzw. im Bereich von $q_A < 1,5$ bis $3 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ die Entlassung aus dem Entgasungsbetrieb beantragt werden. Die Ableitung des restlichen produzierten Gases erfolgt über passive Biofilter.

Anhand der Historie der Deponie kann geprüft werden, ob mit einer beschleunigten Gasproduktion zumindest bis zum Abschluss der Stilllegungsphase zu rechnen ist. Hohe Umsetzungsgeschwindigkeiten der Organik und damit kurze Halbwertszeiten im Gasprognosemodell sind für Deponien zu erwarten, auf denen der Dünnschichteinbau (vergleiche EHRIG, Auswirkungen des Deponiebetriebes auf Sickerwasserbelastungen. TU Braunschweig, Inst. f. Stadtbauwesen, Heft 39, BS 1985) möglichst nach einer Zerkleinerung (Homogenisierung der Abfälle) in Verbindung mit einer geringen Schütthöhengeschwindigkeit praktiziert wurden. Durch diese Betriebsweise wurden leicht umsetzbare Fraktionen in den oberen Lagen aerob umgesetzt und durch das langsame Höhenwachstum ein Wassergehalt im abgelagerten Abfall eingestellt, der eine optimale Stabilisierung gewährleistet.

Bei Altdeponien, die kurz vor dem Abschluss stehen und bei denen durch betriebliche Maßnahmen die Stabilisierung nicht mehr beeinflusst werden kann, sollte die Oberfläche bis zum Abschluss der Hauptsetzungen offen gelassen werden, um so die Einstellung eines optimierten Wassergehaltes zu ermöglichen. Wird nach den Vorgaben der DepV vor Abschluss der Hauptsetzungen eine Abdeckung oder nach Abschluss der Hauptsetzungen eine Abdichtung auf

die Deponieoberfläche aufgebracht, so sollten Einrichtungen zur Infiltration von Wasser (Schluckbrunnen) vorgesehen werden. Nur so kann einer unerwünschten Mumifizierung des Abfalls durch Trockenfallen, welche an einem signifikanten Rückgang der Gasproduktion erkennbar ist, entgegengewirkt werden. Nun widerspricht die Infiltration von Wasser der Intention, dass die Abdeckung die Sickerwasserbildung minimieren soll. Aber nur diese pragmatische Lösung kann gewährleisten, dass Restgasproduktionen innerhalb der überwachten Nachsorgezeit und nicht irgendwann in ferner unbeobachteter Zukunft ablaufen.

Der Einfluss des Wassergehaltes WG auf die Stabilisierung wird von DOEDENS (Möglichkeiten zur Minimierung der Sickerwassermengen. Entsorgungspraxis Spezial, 11/1989) wie folgt zusammengefasst:

aerobe Prozesse:

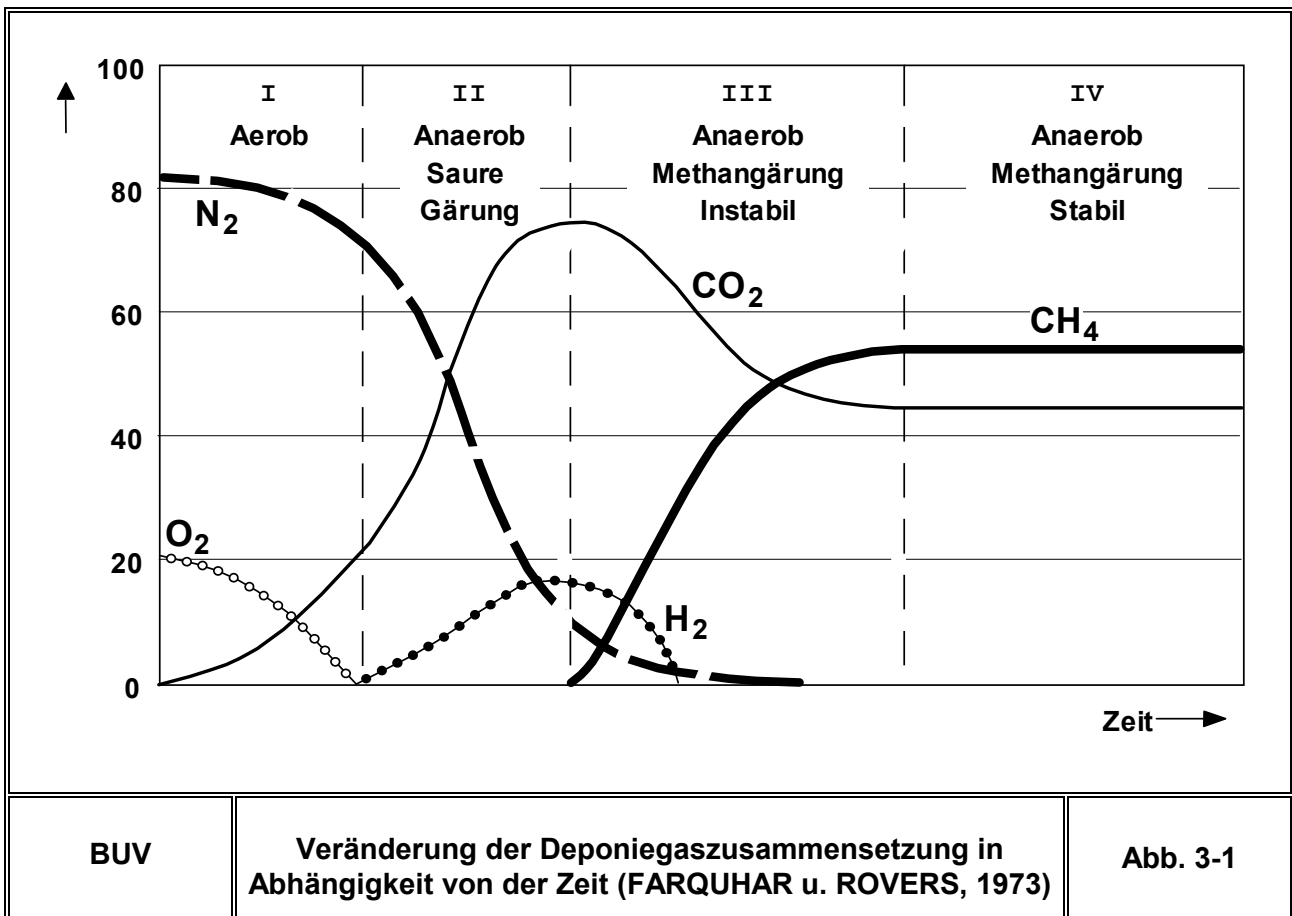
- unterbunden ab ca. < 15 % WG
- gehemmt ab ca. < 30 % WG und ca. > 60 % WG
- optimal ca. 40 - 60 % WG

anaerobe Prozesse:

- unterbunden ab ca. < 15 % WG
- gehemmt ab ca. < 30 % WG
- optimal und möglichst einzustellen ab ca. 40 % WG

3 Gasqualität

Für eine relativ kurze Phase nach der Ablagerung konnte das in den oberen Mülllagen produzierte Deponiegas auch Wasserstoff und mehr oder weniger große Anteile von Stickstoff, nach der Nutzung des Sauerstoffs der Luft für aerobe Vorgänge oder durch Denitrifikationserscheinungen, enthalten (s. **Abb. 3 - 1**). Dieses Phänomen kann heute auch wieder bei der Deponierung von Aschen aus der thermischen Abfallbehandlung auftreten.

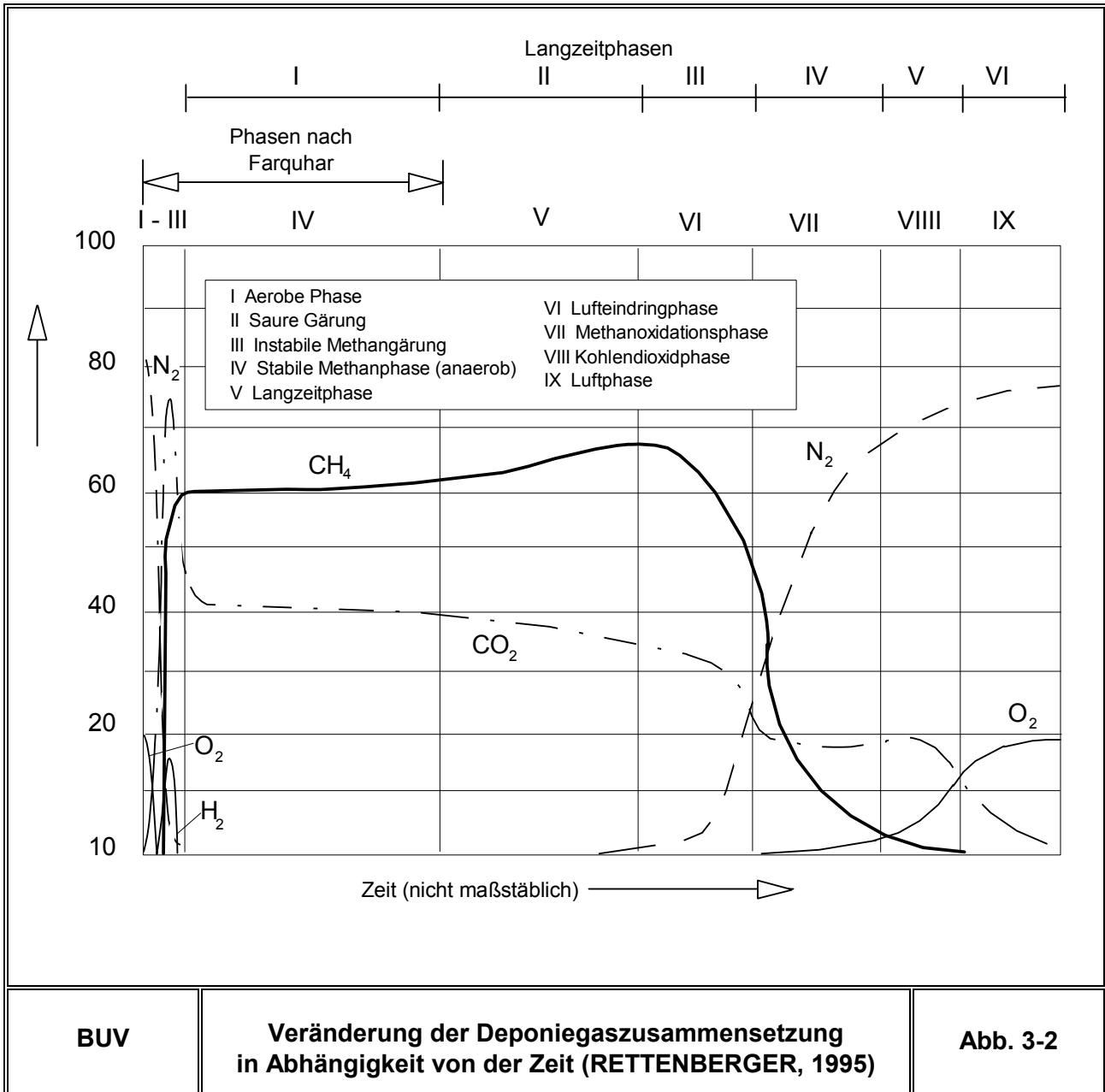


BUV

Veränderung der Deponiegaszusammensetzung in Abhängigkeit von der Zeit (FARQUHAR u. ROVERS, 1973)

Abb. 3-1

Das Verhältnis von CH₄/CO₂ ist in der stabilen Methanphase wie CH₄ = 60 % zu CO₂ = 40 % = 1,5. RETTENBERGER (Betriebsleiterhandbuch Deponiegas, RUK, Stuttgart 1995) hat die weiteren Stabilisierungsphasen betrachtet, in der poststabilen Methanphase steigen die CH₄-Konzentrationen im Verhältnis zu CO₂ an (s. **Abb. 3-2**). In den dann folgenden Phasen dringt Luft in den Deponiekörper ein, Methan wird unter Verbrauch von Luftsauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser oxidiert (Methanoxidation). Das CH₄/CO₂-Verhältnis wird zum Kohlendioxid hin verschoben. Dieser Prozess wird nach Abschluss der Stilllegungsphase, in welcher die obere Abdichtung aufgebracht wird, unterbunden. Das Gas verbleibt mit dem üblichen Verhältnis von CH₄ zu CO₂ in der Deponie und sollte unserer Empfehlung nach passiv über Biofilter abgeleitet werden (s. a. DepV, Anhang 5 Nr. 7). Den Einsatz aufwändiger technischer Maßnahmen zur Behandlung der aktiv gefassten Restgasproduktion, wie sie in den **Abfallwirtschaftsfakten 19** des staatlichen Gewerbeaufsichtsamtes Hildesheim (ZUS AGG) beschrieben werden, halten wir für unnötig, zumal damit je nach Verfahren ein hoher Energieeinsatz verbunden ist. Weiter ist darauf hinzuweisen, dass die in den **Abfallwirtschaftsfakten 19** angeführten Grenzemissionen für die Einstellung der aktiven Gas erfassung (0,5 l Methan/(m² x h) bzw. 25 m³ Methan/h) viel zu niedrig angesetzt und fachlich nicht zu begründen sind.



BUV

**Veränderung der Deponiegaszusammensetzung
in Abhängigkeit von der Zeit (RETTENBERGER, 1995)**

Abb. 3-2

Deponiegas enthält Beimengungen von Spurengasen, die mit den angelieferten Abfällen auf die Deponie gelangen (z. B. (F)CKW) oder Produkte chemischer bzw. biochemischer Reaktionen (z. B. Schwefelverbindungen) sind.

Originäres, außenluftfreies und getrocknetes Deponiegas, Deponiegas ist normalerweise wassergesättigt, besteht fast ausschließlich (ca. 99 Vol.-%) aus den beiden geruchsfreien Komponenten Methan CH₄ (55 - 60 Vol.-%) und Kohlendioxid CO₂ (40 - 45 Vol.-%). Die weiteren Komponenten, die zwar in ihrer Summe nur selten 1 Vol.-% überschreiten, sind trotzdem entscheidend für die Wirkung als Geruchsstoff (besonders Mercaptane, Ammoniak, Schwefelwasserstoff) oder als Schadgas. Die Schadwirkung kann aus dem Blickwinkel der Luftverunreinigung (Arbeitsplatz-Grenzwerte AGW für Rohgas und TA-Luft-Werte für Abgas) oder der Beeinträchtigung der Gasnutzung (H₂S, HKW) gewertet werden. Angaben über Spurengaskonzentrationen im Deponiegas sind der **Tab. 3-1** zu entnehmen.

Mit steigendem Unterdruck bei der Entnahme von Gasproben oder bei der Entgasung ungedichteter Deponien wird sogenannte Falschluff mit angesaugt. Weist das Entgasungssystem keine Leckstellen auf, so wird diese Falschluff überwiegend als Stickstoff analysiert, da der Sauerstoff durch die Oxidation von Abfall- oder Gasbestandteilen fast vollständig verbraucht wird. Bei Leckagen wird Sauerstoff mit mehr als einem Vol.-% und ein Sauerstoff/Stickstoff-Verhältnis, welches dem in der Luft vergleichbar ist, nachzuweisen sein.

Im Entgasungsbetrieb wird folgende Zusammensetzung der Hauptkomponenten bei einem intakten Entgasungssystem (keine Leckstellen) und fachgerechtem Absaugbetrieb (keine Übersaugung) erwartet:

CH ₄	=	40 - 50 Vol.-%
CO ₂	=	35 - 40 Vol.-%
N ₂	=	10 - 20 Vol.-%
O ₂	<	1 Vol.-%

Die tatsächliche Zusammensetzung des Deponiegases ist gem. DepV, Anhang 5 Nr. 3.2 Tabelle Nr. 2.4 zweimal jährlich durch Deponiegasanalysen zu ermitteln. Hierbei sollten mindestens die Gehalte folgender Gaskomponenten bestimmt werden:

Methan, Kohlendioxid, Stickstoff, Sauerstoff, Gesamt-Chlor, Gesamt-Fluor,
Gesamt-Schwefel, Benzol und Chlorethen (Vinylchlorid), ggf. Wasserstoff

Zusätzlich empfiehlt es sich, den Gehalt an gasförmigem Silizium zu ermitteln, da es immer häufiger durch hohe Silizium-Gehalte im Deponiegas zu Ablagerungen und damit zu Schadensfällen an den Gasmotoren kommt. Da bei der Ablagerung von Aschen aus der thermischen Behandlung Wasserstoff frei gesetzt werden kann, sollte das Analysenprogramm daraufhin erweitert werden.

Eine Gasreinigung kann erforderlich werden, wenn die in **Tab. 3-2** genannten Grenzwerte im Rohgas überschritten werden. Neben den von der TA Luft geforderten Grenzwerten sind die für einen schadlosen Betrieb einer Gasmotorenanlage maximal zulässigen Spurenstoffkonzentrationen aufgeführt. Die Begrenzung dieser Inhaltsstoffe erfolgt hierbei wegen erhöhter Korrosionsgefahr und Versäuerung des Öles. Bei Werten von $> 50 \text{ mg Cl/Nm}^3$ bzw. 20 mg F/Nm^3 sind allerdings besondere Schutzmaßnahmen im Ölkreislauf der Motoren erforderlich, z. B. erhöhter Ölumlauflauf und verkürzte Ölwechselintervalle.

Stoff	Summenformel	Wertebereich (mg/m ³)	Übliche Konzentration (mg/m ³)	AG-Werte (mg/m ³)
Kohlenwasserstoffe (KW)				
Alkane außer Methan		Einzelwert 0 - 400 Summe: 18 - 824	0 - 7,4	von : k. A. bis : 2.500
Benzol	C ₆ H ₆	0,03 - 7	0,9 - 1,9	BLV: 3,2
Ethylbenzol	C ₈ H ₁₀	0,5 - 236		440
Toluol	C ₇ H ₈	0,2 - 615	0,6 - 23	190
Xylol	C ₈ H ₁₀	0,2 - 383	<1 - 7,4	440
Schwefelverbindungen				
Mercaptane	C _n H _m S	-	4 - 45	1
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	0 - 20.000	5 - 150	14
Halogenierte KW				
Trichlorfluormethan	CCl ₃ F	1 - 84	n. n. - 4,7	5.700
Dichlordifluormethan	CCl ₂ F ₂	4 - 119	4,4 - 16,9	5.000
Chlortrifluormethan	CClF ₃	0 - 10	< 0,5	4.330
Dichlormethan	CH ₂ Cl ₂	0 - 6	n. n. - <0,5	260
Trichlormethan	CHCl ₃	0 - 2	n. n. - <0,5	2,5
Tetrachlormethan	CCL ₄	0 - 0,6	n. n.	TWA: 32
Chlorethen	C ₂ H ₃ Cl	0 - 264	0,3 - 14,3	BGW: 5
1,1 Dichlorethen	C ₂ H ₂ Cl ₂	0 - 294	0,4 - 42,2	8
Trichlorethen	C ₂ HCl ₃	0 - 182	0,1 - 7,6	Wert in USA: 300
Tetrachlorethen	C ₂ Cl ₄	0,1 - 142	0,1 - 7,5	345
Chlorbenzol	C ₆ H ₅ Cl	0 - 0,2	0,1 - 0,7	47
Chlordifluormethan	CHClF ₂	-	1,3 - 6,6	3.600
Dichlortetrafluorethan	C ₂ Cl ₂ F ₄	-	1,6 - 7,8	7.000
Chlormethan	CH ₃ Cl	-	n. n. - <0,5	100
Dichlorfluormethan	CHCl ₂ F	-	0,4 - 1,7	43
Trichlorfluorethan	C ₂ Cl ₃ F ₃	-	n. n. - 0,1	k. A.
1,1,1 Trichlorethan	C ₂ H ₃ Cl ₃	-	n. n. - 0,6	1.100

n. n. - nicht nachweisbar k. A. - keine Angabe

AGW – Arbeitsplatzgrenzwert nach TRGS 900 BGW – biologischer Grenzwert n. TRGS 903

BLV: biological limit value (EU) TWA – AGW für eine Expositionszeit von 8 h

BUV

Spurenbestandteile in Deponiegasen von Siedlungsabfall-Deponien in mg/m³ bezogen auf ein luftfreies Deponiegas und zugehörige Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900)

Tab. 3-1

	üblicher Bereich	Grenzwerte Rohgas	
		zur Einhaltung der TA Luft ²⁾	gasmotorische Nutzung
	mg/Nm	mg/Nm	mg/Nm
Gesamt-Chlor	30 - 100	150 - 200	40 - 50
Gesamt-Fluor	5 - 20	15 - 20	20 - 25
Gesamt-Schwefel	5 - 150 ¹⁾	900 - 1.100	900 - 1.100

1) In Einzelfällen wurden H₂S-Konzentrationen im Vol.-%-Bereich nachgewiesen.
2) bez. auf Deponiegas mit einem Methangehalt von 40 bis 50 Vol.-%

BUV	Grenzwerte im Rohgas	Tab. 3-2
------------	-----------------------------	-----------------

4 Gasdichte

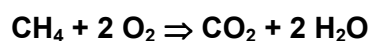
Die dichtebestimmenden Komponenten des Deponiegases sind:

CH ₄	=	0,72	kg/m ³	mit	40 - 60	Vol.-%
CO ₂	=	1,96	kg/m ³	mit	35 - 45	Vol.-%
N ₂	=	1,25	kg/m ³	mit	0 - 20	Vol.-%

Die Dichte des Deponiegases schwankt im Mittel zwischen 1,2 kg/m³ und 1,24 kg/m³. Eine Entmischung des Deponiegases ist unter den normalen Randbedingungen nicht möglich.

5 Grundlagen der Methanoxidation

Einige Bakterien, die einerseits hochspezialisiert aber andererseits ubiquitär, das heißt überall vorhanden, sind, können Methan über einzelne Zwischenschritte für ihren Stoffwechsel nutzen. Das Ergebnis der mikrobiellen Methanoxidation entspricht dem Ergebnis der Verbrennung von Methan, es werden Kohlendioxid und Wasser gebildet:



Die flächenspezifische Methanoxidationsrate ist von der Aktivität der Mikroorganismen, von der Nährsalzversorgung und der Sauerstoffzufuhr über Diffusion aus der Atmosphäre abhängig. HOEKS ("Effect of Leaking Natural Gas on Soil and Vegetation in Urban Areas". Diss. 1973, Universität Wageningen, NL) sieht die Methanoxidation vornehmlich durch die erforderliche Sauerstoffzufuhr begrenzt und hält für gering durchlässige Böden eine flächenspezifische Methanoxidationsrate von 5 und für durchlässige Böden von 25 m³/m²/a für möglich. Die Bodentemperatur hat einen Einfluss auf die Umsetzungsgeschwindigkeit.

In der Literatur finden sich Hinweise auf Methanoxidationsraten, die um den Faktor 15 über dem zu wählenden oberen Wert nach HOEKS liegen. Diese Reaktionsgeschwindigkeiten wurden unter Laborbedingungen bei nicht limitierter Methan- und Sauerstoffversorgung gewonnen. Auf reale Verhältnisse auf Deponien sind die Ergebnisse nicht übertragbar. Nachgewiesen wurde aber auch, und diesen Ergebnissen können wir uns anschließen, dass in einem Kubikmeter Kompost wesentlich höhere Umsetzungsraten erzielt werden, als in einem Kubikmeter Boden.

Weiterhin ist zu bedenken, dass die Methanoxidation in der durchlüfteten Bodenzone zu einem erheblichen Sauerstoffverbrauch führt. Neben dem für das Pflanzenwachstum notwendigen Sauerstoff, der verbraucht wird, wird das oberhalb von 5 Vol.-% toxische Kohlendioxid gebildet und Wärme durch die biochemische Bakterientätigkeit freigesetzt. Hohe Bodentemperaturen führen zur Verdunstung von Wasser und damit zur fortschreitenden Austrocknung sowie insgesamt zu Bodentemperaturen, die für ein ungehemmtes Pflanzenwachstum unzutraglich sein können.

Die mikrobielle Methanoxidation leistet auf Deponien mit niedriger Gasproduktion einen hinreichenden Beitrag zur Reduktion des Treibhausgases Methan. Dieser Effekt kann bei abklingender Gasproduktion auch beim Einsatz von Biofiltern ausgenutzt werden. Etwa 15 bis 20 Jahre nach Abschluss einer Deponie ist die Methanoxidation im Boden ausreichend, um einen effektiven Beitrag zur Umweltentlastung leisten zu können. Nach erfolgter oberer Abdichtung kann das Deponiegas passiv über Biofilter abgeleitet werden. Aufbauend auf einer eigenen Veröffentlichung zum Thema (WEBER: Erfahrungen mit der Gasbehandlung in Biofiltern, Trierer Berichte Band 6, 1994) und Kontrollmessungen auf einer Deponie in Niedersachsen sind Methanoxidationsraten in passiv belüfteten Biofiltern von 25 bis 40 l Methan/(m² x h) einzustellen. Die Wirksamkeit dieses System sollte über einen Zeitraum von 5 Jahren beobachtet werden, bei Bedarf ist die Filterfläche zu erweitern.