

Materialien

Band 65

Arbeitshilfe Deponiegas



Arbeitshilfe Deponiegas

Konkretisierung der
Deponiegasüberwachung gemäß
DepSüVO einschließlich Darstellung der
eingesetzten Mess- und
Auswertverfahren incl. der Fehler- und
Grenzwertbetrachtungen

erarbeitet im Auftrag des

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen

von

Prof. G. Rettenberger

Ingenieurgruppe RUK

Prof. G. Rettenberger und Dipl.-Ing. S. Urban-Kiss, GbR

Essen 2004

Impressum

Herausgeber: **Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW)**
Wallneyer Straße 6 • D-45133 Essen
Telefon (02 01) 79 95-0 • Telefax (02 01) 79 95-14 48
e-mail: poststelle@lua.nrw.de
Essen 2004

erarbeitet im Auftrag des

Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen

von

Prof. G. Rettenberger

Ingenieurgruppe RUK

Prof. G. Rettenberger und Dipl.-Ing. S. Urban-Kiss, GbR

ISSN 0948-079X 0947-5206

Informationsdienste: **Umweltdaten aus NRW** (Aktuelle Luftqualität, Pegeldata online, Hochwassermeldungen, etc.) sowie

Fachinformationen:

- Internet unter www.landesumweltamt.nrw.de

Aktuelle Luftqualitätswerte:

- Telefonansagedienst (02 01) 1 97 00
- WDR-Videotext (3. Fernsehprogramm, Tafeln 177 bis 179)

Bereitschaftsdienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LUA NRW
(24-Std.-Dienst): Telefon (02 01) 71 44 88

Vorwort

Deponiegas bildet sich in Siedlungsabfalldeponien, wenn organischer Abfall durch mikrobielle Prozesse abgebaut wird. Es besteht in etwa aus 55 % Methan und 45 % Kohlendioxid. Insbesondere das Methan erweist sich in mehrerer Hinsicht als problematisch. Zum einen ist es brennbar und kann mit dem Luftsauerstoff ein explosionsfähiges Gasgemisch bilden. Zum anderen ist es in hohem Maße klimarelevant. Die Wirkung von Methan auf den Treibhauseffekt ist ca. 21-fach stärker als die von Kohlendioxid. Deponiegas kann darüber hinaus auch zu Geruchsbelästigungen führen. Hierfür sind die im Deponiegas enthaltenen Spurengase, insbesondere der Schwefelwasserstoff, verantwortlich.

Die Abfallablagerungsverordnung und die Deponieverordnung schreiben vor, dass das Deponiegas nach Möglichkeit gefasst und verwertet wird. Bei Entstehen von Deponiegas sind in jedem Fall Maßnahmen zur Überwachung zu ergreifen. In Nordrhein-Westfalen enthält die Deponieselbstüberwachungsverordnung (DepSüVO) Regelungen über die Art und Häufigkeit der Deponiegasüberwachung. Diese Regelungen enthalten jedoch keine konkreten Festlegungen der anzuwendenden Messverfahren und des Messumfangs.

Aus diesem Grund beauftragte das Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen die Ingenieurgruppe RUK mit einem Untersuchungsvorhaben, in dem die Methoden zur Deponiegasüberwachung spezifiziert wurden. Zum Nachweis der Praxis-tauglichkeit wurden die Methoden unter realen Randbedingungen auf der Zentraldeponie Mechernich getestet. Die hier vorliegende Arbeitshilfe Deponiegas stellt das Ergebnis dieses Untersuchungsvorhabens dar.

Essen 2004



Dr.-Ing. Harald Irmer
Präsident des
Landesumweltamtes
NRW

Inhaltsverzeichnis:

Abkürzungsverzeichnis	7
Hinweise	11
Abschnitt 1 Überwachungsmethode (ÜM 2.4.1) Deponiegasuntersuchung im Fassungsssystem	13
1.1 Bezug	13
1.2 Theoretische Grundlagen	13
1.3 Methodenvorschrift	26
1.4 Auswertung und Dokumentation	29
1.5 Bezugswerte	31
1.6 Fehlerbetrachtung, Querempfindlichkeiten	32
1.7 Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers	33
Abschnitt 2 Überwachungsmethode (ÜM 2.4.1.1) Absaugversuch	34
2.1 Bezug	34
2.2 Theoretische Grundlagen	34
2.3 Methodenvorschrift	40
2.4 Auswertung und Dokumentation	46
2.5 Bezugswerte	48
2.6 Fehlerbetrachtung und Querempfindlichkeit	49
2.7 Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers	49
Abschnitt 3 Überwachungsmethode (ÜM 2.4.2.1) Wirkungskontrolle der Entgasung	50
3.1 Bezug	50
3.2 Theoretische Grundlagen	50
3.3 Methodenvorschrift	60
3.4 Auswertung und Dokumentation	61
3.5 Bezugswerte	62
3.6 Fehlerbetrachtung, Querempfindlichkeiten	62
3.7 Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers	63

Abschnitt 4 Überwachungsmethode (ÜM 2.4.2.2) Emissionsmessungen auf endabgedeckten/abgedichteten Deponien oder Deponieabschnitten mittels FID	64
4.1 Bezug	64
4.2 Theoretische Grundlagen	64
4.3 Methodenvorschrift	67
4.4 Auswertung und Dokumentation	71
4.5 Fehlerbetrachtung, Querempfindlichkeiten	73
4.6 Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers	74
Abschnitt 5 Überwachungsmethode (ÜM 2.4.3) Gasmigrationsmessungen im Deponieumfeld mit Gaspegeln	75
5.1 Bezug	75
5.2 Theoretische Grundlagen	75
5.3 Methodenvorschrift	79
5.4 Auswertung und Dokumentation	91
5.5 Bezugswerte	91
5.6 Fehlerbetrachtung	92
5.7 Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers	93
Abschnitt 6 Überwachungsmethode (ÜM 2.4.4) Gaszufuhr zur Deponiegasbehandlungs-/Verwertungsanlage	95
6.1 Bezug	95
6.2 Theoretische Grundlagen	95
6.3 Methodenvorschrift	97
6.4 Auswertung und Dokumentation	97
6.5 Bezugswerte	99
6.6 Fehlerbetrachtung, Querempfindlichkeiten	99
6.7 Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers	99
Abschnitt 7 Überwachungsmethode (ÜM 2.4.5) Abgas der Deponiegasbehandlung- / Verwertungsanlage	100
7.1 Bezug	100
7.2 Theoretische Grundlagen	100
7.3 Methodenvorschrift	108
7.4 Auswertung	110
7.5 Bezugswerte	110
7.6 Fehlerbetrachtung, Querempfindlichkeiten	111
7.7 Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers	111

Abschnitt 8 Überwachungsmethode (ÜM 2.4.6) Geruchsemissionen	112
8.1 Bezug	112
8.2 Theoretische Grundlagen	112
8.3 Methodenvorschrift	122
8.4 Auswertung und Dokumentation	132
8.5 Bezugswerte	133
Teil II Messverfahren	136

Abkürzungsverzeichnis

$m(i)$:	Masse des Stoffes i
$u(i)$:	Stoffmenge des Stoffes i
$V(i)$:	Volumen des Stoffes i
$\xi(x)$:	Massenkonzentration des Stoffes x bezogen auf das Volumen der Mischung %
$\sigma(x)$:	Volumenkonzentration eines Stoffes x bezogen auf das Vol. der Mischung v [%]
$\sigma(\text{CH}_4)$:	Volumenkonzentration von Methan [%]
$\sigma(\text{CH}_4)_r$:	Volumenkonzentration von Methan [%] vor einem Absaugversuch
$\sigma(\text{CO}_2)$:	Volumenkonzentration von Kohlendioxid [%]
$\sigma(\text{O}_2)$:	Volumenkonzentration von Sauerstoff [%]
$\sigma(\text{N}_2)$:	Volumenkonzentration von Stickstoff [%]
$\sigma(\text{N}_{2;\text{zus}})$:	Volumenkonzentration des zusätzlichen Stickstoffes [%]
p_s :	Sättigungsdampfdruck des Wasserdampfes bei Betriebstemperatur [mbar] Im Betriebszustand
ϑ	Temperatur [°C]
T :	Temperatur [°K]
T_n :	Temperatur im Normzustand (273 K)
\dot{V}	Volumenstrom (im Betriebszustand) (m^3/s) oder [l/s] oder [m^3/h]
\dot{V}_{50} :	Volumenstrom [m^3/h] bei einer Methankonzentration von 50 %
p_{amb} :	Atmosphärendruck [mbar] oder [Pa]
p_{abs} :	absoluter Druck [mbar] oder [Pa]
p_e :	Differenzdruck $p_{\text{abs}} - p_{\text{amb}}$ (bei negativem Druck Unterdruck)
p_1 :	statischer Druck
p_2 :	dynamischer Druck
δ	Dichte des Gases [kg/m^3]
v	Geschwindigkeit des Gases [m/s]
A	Fläche des Rohrquerschnittes [m^2]
A^*	Fläche unter Berücksichtigung der Querschnittseinengung
a_k	Korrekturfaktor A^*/A
Re	Reynoldszahl – dimensionslos
K	Korrekturfaktor zur Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit
\dot{V}_{luft}	bei der FID-Messung der Saugglocke zuströmender Luftvolumenstrom [l/h]
\dot{V}_{FID}	bei der FID-Messung durch das FID-Messgerät abgesaugter Probenvol.strom [l/h]
$\dot{V}_{\text{Deponiegas}}$:	der aus der Deponie an der Saugglocke bei der FID-Messung emittierende Deponiegasvolumenstrom [l/h]
K_G	Korrelationskoeffizient zur Charakterisierung unterschiedlicher Deponietypen bezüglich der Geruchsemission
GE	Geruchseinheit

Tabellenverzeichnis:

Tab.1-1:	Deponiegastypen	14
Tab.1-2:	Sättigungsdruck des Wasserdampfes in Abhängigkeit der Temperatur	22
Tab.1-3:	Tabelle zur Bearbeitung der Rohdaten bei der Deponiegasuntersuchung im Fassungs-system für Hauptgase	29
Tab.1-4:	Tabelle zur Bearbeitung der Rohdaten bei der Deponiegasuntersuchung im Fassungs-system für Spurengase	30
Tab.1-5:	Übersicht über übliche Messbereiche von Spurenstoffkonzentrationen im Deponiegas	31
Tab. 1-7:	Empfohlene Prüfgaskonzentrationen zur Kalibrierung der Geräte	32
Tab.2-1:	Dokumentation des Absaugversuchs	42
Tab.3-1:	Exponent n und Faktor K in Abhängigkeit von der Re-Zahl	55
Tab. 3-2:	Sättigungsdruck des Wasserdampfes in Abhängigkeit der Temperatur	59
Tab.3-3a:	Messprotokoll Wirkungskontrolle an Gaskollektoren bzw. Sammelleitungen	61
Tab.3-3b:	Messprotokoll Wirkungskontrolle an Gaskollektoren bzw. Sammelleitungen	61
Tab.5-1:	Empfohlene Konzentration von Prüfgasen	93
Tab.7-1:	Richtlinien für Abgasmessungen	109
Tab.8-1:	Geruchsintensitätsstufen	115
Tab.8-2:	Immissionswerte IW für verschiedene Baugebiete	121
Tab.8-3:	Ergebnisprotokoll Geruchsmessungen	132
Tab.8-4:	Zusammenhang Immissionsbeitrag - Geruchsintensität	133

Abbildungsverzeichnis:

Abb.1-1:	Herkunft der an der Messstelle analysierten Gase	14
Abb.1.-2:	Qualitative Darstellung der Gaskonzentrationen im Deponiekörper im zeitlichen Verlauf für die Deponiegas-Hauptkomponenten mit Unterteilung in Gasphasen (Langzeitphasen der Deponiegasentwicklung)	17
Abb.1-3:	Prinzipiell zu unterscheidende Messstellen bei der Deponiegasuntersuchung	24
Abb.1-4:	Messaufbau zur Durchführung von Deponiegasmessungen	27
Abb. 1-5:	Ablaufschema Deponiegasmessungen	28
Abb. 2-1:	Zusammenhang zwischen Volumenstrom \dot{V} und Methankonzentration σ (CH ₄) bei der Deponiegasabsaugung	35
Abb. 2-2:	Modellhafte Betrachtung des Deponiekörpers bei der Ausbreitung von Deponiegas	36
Abb. 2-3:	Kurvenanpassung an die beim Absaugversuch ermittelten Messwertpaare	38
Abb. 2-4:	Einzugsbereich und abgesaugter Gasvolumenstrom bei der Deponiegasabsaugung	38
Abb.2-5:	Beispielhafter Verlauf zweier Ausgleichskurven bei einem Absaugversuch.	40
Abb. 2-6:	Untersuchungsanordnung für Absaugversuch	41
Abb. 2-7:	Beispielhafte Darstellung der Ergebnisse des Absaugversuches	47
Abb. 3-1:	Messen von statischem Druck und Gesamtdruck	54
Abb. 3-2:	Geschwindigkeitsverlauf $v(r)$ bei turbulenter Innenströmung	55
Abb. 3-3:	Geschwindigkeitsmessung	56
Abb. 3-4:	Anlaufströmung	57
Abb. 3-5	Temperaturverteilung über den Querschnitt	57
Abb. 3.6:	Messanordnung zur Temperaturmessung	58
Abb. 4-1:	Messprinzip bei der FID-Messung	65
Abb. 5-1	Beispiel für Porengasgradienten im Umfeld einer Deponie	76

Abb. 5-2: Prinzipielle Anordnung der Gasentnahmestelle bei der Gasmigrationsmessung	77
Abb. 5-3: Beispiel eines tiefendifferenzierten Bodenluftmessstellenausbaus	81
Abb. 7-1 Mögliche Emissionen bei der Deponiegasverbrennung	101
Abb. 7-2: Darstellung des Verbrennungsverlaufes bei der Gasverbrennung	103
Abb. 7-3: Anordnung der Messpunkte bei einer Netzmessung in einem kreisrunden Querschnitt mit zwei Messachsen	106
Abb. 7-4: Schema der isokinetischen Teilstromentnahme	108
Abb. 8-1: Ausbreitungsgeometrie bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten	124
Abb. 8-2: Kaltluftabfluss	125
Abb. 8-3: Schematischer Ablauf der Ermittlung und Bewertung von Geruchsimmissionen	125
Abb. 8-4: Theoretischer Strömungsverlauf in Haube	127
Abb. 8-5: Messprinzip mit Haube	127
Abb. 8-6: Skizze des Rasters	131
Abb. KoM 1: Schematischer Aufbau eines IR-Photometers	138
Abb. KoM 2: Prinzip eines Gaschromatographen	140
Abb. OIM 1: Schematischer Aufbau eines Olfaktometers (hier: TO6 SIH System Mannebeck)	150

Hinweise

Die „Arbeitshilfe Deponiegas“ wurde maßgeblich in den Jahren 1999 und 2000 verfasst. Auf die neuesten gesetzlichen Regelwerke (Abfallablagerungsverordnung, Deponieverordnung, TA Luft i.d.F. von 2002) konnte daher noch nicht eingegangen werden. Die Arbeitshilfe folgt der Systematik des Anhangs I, Abschnitt 2.4 „Deponiegasüberwachung“ der Deponieselbstüberwachungsverordnung (DepSüVO). Dementsprechend werden die Begriffe wie folgt definiert:

- Überwachungsmethode (ÜM): Die für die Überwachungsvorgänge nach DepSüVO, Abschnitt 2.4 anzuwendenden messtechnischen Vorgehensweisen
- Messverfahren (MV): Die im Rahmen der Überwachungsmethode angewandten Probenahmeverfahren, Messgeräte bzw. Messtechniken.

Bei den verwendeten Einheiten wird das 1984 in Kraft getretene „Gesetz über Einheiten im Messwesen“ konsequent berücksichtigt. Zum besseren Verständnis werden die für manche ungewohnten Bezeichnungen nachfolgend kurz erläutert.

Bei der Angabe von Konzentrationen beschreibt man die Zusammensetzung von Mischphasen, wobei unter Phase eine homogene gasförmige, flüssige oder feste Stoffportion verstanden wird. Zur Beschreibung der Zusammensetzung einer Mischphase, die aus mehreren Stoffen besteht, kann für jeden einzelnen Stoff i eine der folgenden Größen verwendet werden:

Masse $m(i)$
 Stoffmenge $u(i)$
 Volumen $V(i)$

Üblicherweise werden die Symbole für die zu beschreibende Stoffportion in Klammern hinter das Formelzeichen gesetzt, also z.B.

$m(\text{CH}_4)$ oder $V(\text{CO}_2)$.

Im Zusammenhang mit Deponiegasuntersuchungen sind dabei besonders relevant:

Massenkonzentration ζ^* (früher Konzentration und Gewichts-Volumenprozent)

Die Massenkonzentration eines Stoffes $\zeta^*(x)$ in einer Mischung ist der Quotient aus seiner Masse $m(x)$ und dem Volumen V der Mischung:

$$\zeta^*(x) = m(x) / V \quad (\text{Angabe üblicherweise in Prozent})$$

Volumenkonzentration σ (früher Volumenprozent)

Die Volumenkonzentration σ eines Stoffes x in einer Mischung ist der Quotient aus seinem Volumen $V(x)$ und dem Volumen V der Mischung.

$$\sigma(x) = V(x) / V \quad (\text{Angabe üblicherweise in Prozent})$$

Abschnitt 1

Überwachungsmethode (ÜM 2.4.1)

Deponiegasuntersuchung im Fassungssystem

1.1 Bezug

Die Durchführung dieser Überwachungsmethode ergibt sich aus TA Siedlungsabfall Anhang C, Abschnitt 7: „Deponiegasuntersuchungen dienen dazu, Angaben über Qualität und Quantität des erfassten Gases zu erhalten.“

*TASi, Anhang C,
Abschnitt 7*

Nach der TASi sind die Untersuchungen im Anschluss an den Absaugversuch, teilweise im Rahmen der Emissionsmessungen an den Verbrennungs- und sonstigen Behandlungsanlagen sowie den Untersuchungen zur Optimierung der Anlage, in jedem Fall aber mindestens einmal jährlich durchzuführen. Die Probenahme soll im Sammelstrang bzw. bei Betrieb von Gasfackel und Gasnutzung in jedem Teilstrom erfolgen.

Der Mindestumfang der Deponiegasuntersuchung nach TASi soll die Parameter Methan, Kohlenstoffdioxid, Stickstoff, Sauerstoff, Gesamt-Chlor, Gesamt-Fluor, Gesamt-Schwefel, Benzol und Chlormethan umfassen und ggf. erweitert werden (z.B. durch anorganische Verbindungen), wobei auch das Kondensat berücksichtigt werden soll.

Die Überwachungsmethode Deponiegasuntersuchung beschreibt die nach TASi mindestens jährlich durchzuführende Untersuchung des gefassten Deponiegases hinsichtlich seiner Zusammensetzung.

*Jährlich
durchzuführende
Untersuchung*

1.2 Theoretische Grundlagen

Ziel der Deponiegasuntersuchung ist es, für die Deponie bzw. die Deponieanlage eine repräsentative Aussage über die Qualität des gefassten Gases zu erhalten. Um zu einer solchen Aussage zu kommen, muss aus dem gefassten Deponiegasstrom eine repräsentative Probe entnommen und analysiert werden. Zur Bewertung der

Analyseergebnisse müssen darüber hinaus die den Deponiegashaushalt beeinflussenden bzw. verändernden Einflüsse beachtet und erfasst werden.

Wie in der Überwachungsmethode Absaugversuch dargestellt, verändern sich mit dem abgesaugten Volumenstrom die Konzentrationen im abgeleiteten Gas. Dabei stellt sich in der Deponie mit der Zeit ein Gleichgewichtszustand unter Betriebsbedingungen ein. Dieser Zustand ist geprägt durch (vgl. Abschnitt 2)

Konzentration ändert sich mit dem Volumenstrom

- die Zusammensetzung des im Deponiekörper gebildeten Gases
- die Ansaugung von Luft durch den Deponiekörper hindurch in das Anlageninnere
- die direkte Ansaugung von Luft in das Anlageninnere, ohne dass das Gas eine vorherige Passage durch den Deponiekörper genommen hat.

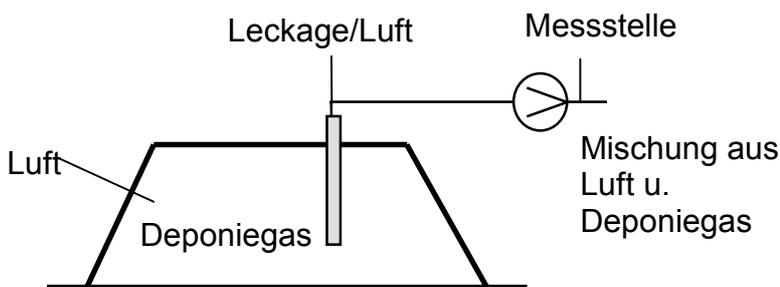


Abb.1-1: Herkunft der an der Messstelle analysierten Gase

Wie aus der Abb. 1-1 hervorgeht, wird somit unter Deponiegas das Gas verstanden, das im Deponiekörper gebildet wird. Üblicherweise wird an der Messstelle ein Gemisch aus Deponiegas und Luft gemessen. Dieses lässt sich in 4 Gastypen einteilen (Tab. 1-1).

Vier Gastypen

Tab.1-1: Deponiegastypen

Gastyp	σ (CH ₄)	σ (CO ₂)	σ (O ₂)	σ (N ₂)
1	59	41	0	0
2	42	33	5	20
3	43	34	1	22
4	37	27	4	26

Gastyp 1 kennzeichnet das aktuell in der Deponie gebildete Gas.

- Gastyp 2 ist im Vergleich zu Gastyp 1 durch eine Erniedrigung des Deponiegasanteiles gekennzeichnet. Dabei wird das Deponiegas in der Probe durch Luft ersetzt. Das Verhältnis von $\sigma(\text{O}_2)$ zu $\sigma(\text{N}_2)$ entspricht dabei etwa dem von Luft (ca. 0,26), sodass sich die Erniedrigung der Methankonzentration auf eine Undichtigkeit an der Anlage zurückführen lässt. Der Gasvolumenstrom repräsentiert daher nicht die Entgasungswirkung.
- Gastyp 3 hat zwar etwa das gleiche Verhältnis $\sigma(\text{CH}_4)$ zu $\sigma(\text{CO}_2)$ wie Gastyp 2, jedoch unterscheidet sich das Verhältnis $\sigma(\text{O}_2)$ zu $\sigma(\text{N}_2)$ wesentlich, sodass hier keine Leckage an der Anlage vorliegt. Vielmehr wird Luft über den Deponiekörper in das Anlageninnere gesaugt. Dabei wird durch heterotrophe Mikroorganismen sofort der Sauerstoff veratmet, was häufig an spontanen Temperaturerhöhungen in der Deponie bis über 80°C festgestellt werden kann. Daher weicht das Verhältnis $\sigma(\text{O}_2)$ zu $\sigma(\text{N}_2)$ deutlich von dem der Luft ab. Da Stickstoff in der Deponie praktisch nicht fixiert wird, entsteht so der sogenannte zusätzliche Stickstoff $\sigma(\text{N}_{2,\text{zus}}) = \sigma(\text{N}_2) - \sigma(\text{O}_2) \cdot 3,78$.
- Gastyp 4 ist eine Mischung aus Gastyp 2 und 3.

Gastyp 2 und 4 werden vom abgesaugten Volumenstrom verändert. Gastyp 1 hängt vom Zustand der mikrobiellen Abbauprozesse im Deponiekörper ab.

Nachdem sich die Deponiegasbildung im Deponiekörper entfaltet hat, was an neuen Deponien bzw. Deponieabschnitten nach ca. ½ - 1 Jahr der Fall ist und sich dann die sogenannte stabile Methanphase eingestellt hat, zeigen die Deponiegasparameter über längere Zeiträume eindeutige Tendenzen. Für die in einer Deponie vorhandenen Gaskonzentrationen wurde 1992 aufbauend auf den Untersuchungen von Rettenberger, der erkannt hat, dass die Gasentwicklung in typische zeitlich strukturierte Phasen unterteilt werden kann (Gasphasen der Deponiegasentwicklung), das Phasenkonzept im Rahmen einer bundesweiten Datenerhebung an 84 Altablagerungen zu der Typisierung, ebenfalls von Rettenberger, fortentwickelt. (Rettenberger, G.; Mezger, H.: Der Deponiegashaushalt in Altablagerungen und Technik zu seiner Erkundung und Bewertung (Leitfaden Deponiegas). Hrsg., Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg als Band 10 der Reihe: Materialien für Altlastenklarheit, April 1992). Abb. 1-2 zeigt

*Typische, zeitlich
strukturierte Phasen*

den qualitativen Konzentrationsverlauf der Deponiegashauptkomponenten mit dem Verlauf der Gasphasen der Deponiegasentwicklung.

Bedingt durch örtliche Gegebenheiten, wie z.B. Bebauung, Versiegelung oder unterschiedliche Abfallzusammensetzung, kann die Zuordnung zu diesen Phasen für Teilbereiche einer Abfallablagerung in gewissen Grenzen differieren. Erfahrungsgemäß ist der Ablauf in Phasen nicht reversibel.

*Ablauf der Phasen
nicht reversibel*

Aerobe Phase (Phase I, Saure Phase (Phase II) und Instabile Methan-gärung (Phase III) treten zu Beginn der Gasentwicklung auf und sind bei Deponien nach 0,5 - 1 Jahr abgeschlossen. Die danach folgenden Gasphasen werden nachfolgend beschrieben, wobei die Merkmale gegenüber der Darstellung im Leitfaden Deponiegas durch Rettenberger entsprechend neuerer Erkenntnisse fortgeschrieben sind, (VDI 3790 Blatt 2: Umweltmeteorologie, Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen, Deponie VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b).

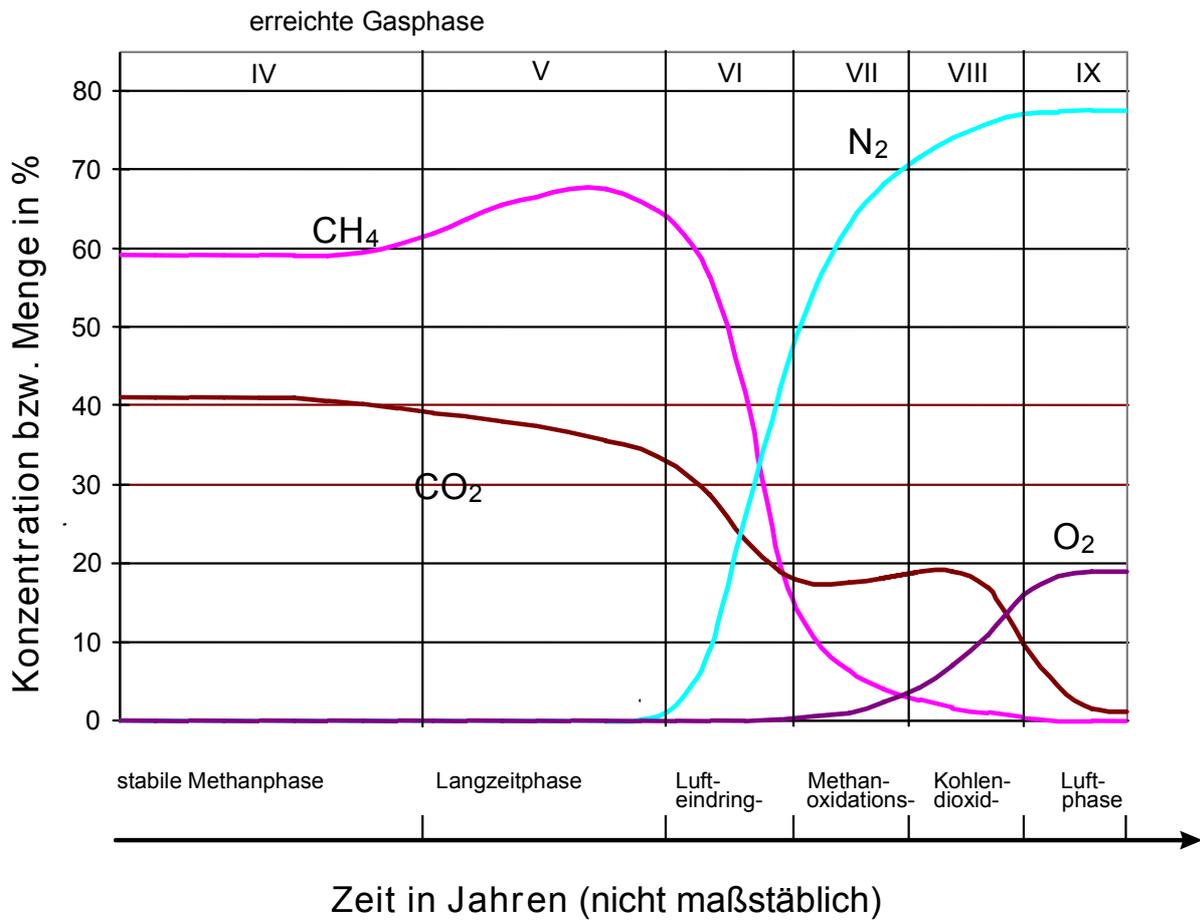


Abb.1.-2: Qualitative Darstellung der Gaskonzentrationen im Deponiekörper im zeitlichen Verlauf für die Deponiegas- Hauptkomponenten mit Unterteilung in Gasphasen (Langzeitphasen der Deponiegasentwicklung)

Stabile Methanphase (Phase IV):

Die Methanphase wird in der Regel etwa ½ bis 3 Jahre nach Ablageungsbeginn erreicht. Die Gasbildung ist hier am höchsten. Die Methankonzentration liegt um 59 %, die Kohlenstoffdioxidkonzentration bei etwa 41 %. Gegen Ende der Phase ist ein leichter Anstieg der Methanvolumenkonzentration und ein leichtes Absinken der Kohlenstoffdioxidvolumenkonzentration zu erkennen. Das Verhältnis Methan zu Kohlenstoffdioxidvolumenkonzentration kann Werte um 1,5 erreichen. Bei der in dieser Phase ablaufenden Deponiegasproduktion, bildet sich im Innern der Ablagerung bei nicht entgasten Deponien ein leichter Überdruck aus. Das Gas strömt aus der Deponie in die Atmosphäre, ggf. auch in den Boden und unterbindet so den Eintrag von Außenluft in die Deponie. Daher lassen sich bei Deponien in diesem Stadium ohne geeignete Oberflächenabdichtungen und entsprechende Entgasungsmaßnahmen noch sehr hohe Emissionswerte (FID-Messwerte) an der Oberfläche nachweisen.

Verhältnis von Methankonzentration zu Kohlenstoffdioxidkonzentration etwa bei 1,5

Hohe Emissionswerte mit dem FID nachweisbar

Langzeitphase (Phase V)

Die Langzeitphase ist durch eine hohe Methanvolumenkonzentration von deutlich über 60 % bei entsprechend verringerter Kohlenstoffdioxidkonzentration gekennzeichnet. Das Verhältnis Methan zu Kohlenstoffdioxid kann Werte bis zu 4 erreichen, was vermutlich u.a. auf ein Auswaschen von Kohlenstoffdioxid zurückzuführen ist. Ebenso wie bei Phase IV ist typisch, dass durch die noch ausgeprägte Gasentwicklung ein Druckgefälle zur Umgebung besteht. Damit ergibt sich eine zu Phase IV vergleichbare Situation. Das Deponiegas strömt aus der Deponien in die Atmosphäre und ggf. in den Boden und unterbindet den Eintrag von Außenluft in die Deponie. Daher lassen sich auch bei Deponien in dieser Phase mittels FID noch Methankonzentrationen an der Oberfläche nachweisen.

Methanvolumenkonzentration steigt an

An der Oberfläche sind noch Emissionen nachweisbar

Luft eindringphase (Phase VI)

Die Luft eindringphase ist dadurch gekennzeichnet, dass die Gasbildung so stark abgenommen hat, dass Luft in die Deponie eindringen kann. Typisch für diese Phase ist das Auftreten von Stickstoff und das Fehlen von Sauerstoff. Bei weit fortgeschrittener Luft eindringphase kann eine Stickstoffvolumenkonzentration um 25 % auftreten. Dementsprechend sinkt die Methanvolumenkonzentration auf Werte um 30 % und Kohlenstoffdioxidvolumenkonzentration auf Werte um 20 % ab. Das Verhältnis σ (Methan) zu σ (Kohlenstoffdioxid) entspricht dem der fortgeschrittenen Langzeitphase. Die aufgetretene Verdünnung des Deponiegases mit

Es tritt Stickstoff auf, aber kein Sauerstoff

Luft ist zeitlich und örtlich nicht homogen in allen Bereichen der Deponie gegeben. Es ist z.B. denkbar, dass am Rand der Deponie schon deutliche Verdünnungen festgestellt werden, während im Deponiezentrum dies nicht zu beobachten ist. Durch die zurückgegangene Gasentwicklung ist ein Überdruck im Deponiekörper praktisch nicht mehr gegeben. Ein Austrag findet kaum noch statt. Methan kann nur ab einer bestimmten Tiefe festgestellt werden.

Methan nur in bestimmten Tiefen

Methanoxidationsphase (Phase VII)

Diese Phase ist dadurch gekennzeichnet, dass infolge der weiter zurückgegangenen Gasentwicklung verstärkt Luft in den Deponiekörper eindringt und Methan durch methanotrophe Bakterien zu Kohlenstoffdioxid oxidiert wird. Dieser Vorgang verschiebt das Verhältnis $\sigma(\text{Methan})$ zu $\sigma(\text{Kohlenstoffdioxid})$ auf Werte unter 1. Sauerstoff tritt deutlich auf (< 5 %). Das Verhältnis $\sigma(\text{Sauerstoff})$ zu $\sigma(\text{Stickstoff})$ weicht erheblich von dem der Luft ab. Der Vorgang der Methanoxidation vollzieht sich von außen nach innen in die Ablagerung hinein, sodass Methan nur noch in größeren Tiefen vorhanden ist, wobei auch hier wie bei Phase VI eine ungleiche räumliche und zeitliche Verteilung zu berücksichtigen ist. In dieser Phase finden normalerweise keine Emissionen in den Luftraum mehr statt.

Keine Emissionen mehr

Kohlenstoffdioxidphase (Phase VIII)

In dieser Phase geht die Methanvolumenkonzentration gegen Null und die Kohlenstoffdioxidkonzentration liegt zwischen 10 % und 20 %. Die Stickstoffvolumenkonzentration erreicht Werte, wie sie in normaler Bodenluft vorkommt. Ferner sind bereits deutlich erhöhte Sauerstoffvolumenkonzentrationen im Bereich von 5 % bis 15 % nachweisbar. Die Konzentrationsverteilung ist inhomogen. Methan bildet sich, wenn überhaupt nur noch in größeren Tiefen. Eine Emission durch Deponiegas findet nicht mehr statt.

Luftphase (Phase IX)

In dieser Phase geht die Kohlenstoffdioxidvolumenkonzentration auf Werte unter 4% zurück, die Methanvolumenkonzentration geht gegen Null, die Sauerstoffkonzentration liegt zwischen 1 % bis 20% und die Stickstoffvolumenkonzentration bei 78%. Die Konzentrationen von Sauerstoff und Stickstoff erreichen die für Bodenluft normale Werte.

Eine Beeinflussung der Austauschprozesse von Deponiegas und Luft und dadurch veränderte Porengaskonzentrationen sind möglich, z.B.

durch Baumaßnahmen an der Deponie. Dies ist vor allem bei nachträglich aufgebrachtten Oberflächenabdichtungen oder Versiegelung durch Schwarzbelag zu erwarten. Auch wäre es durch eine Veränderung des Wasserhaushaltes in der Deponie theoretisch möglich, die Gasproduktion zu beeinflussen. Inwieweit dies jedoch in der Praxis relevant ist, lässt sich bisher nicht abschätzen. Bei der o.g. Auswertung der Daten von 84 Altablagerungen wurden solche Einflüsse nicht festgestellt.

Auch kann es vorkommen, dass einzelne Deponieabschnitte durch verschiedene Gasphasen gekennzeichnet sind.

Da sich nun bei einer konkreten Anlage die Gasphasen mit den vg. Gastypen aufgrund der Absaugung überlagern, ist bei der Auswertung neben dem absoluten Wert der Konzentrationen das Verhältnis σ (CH_4) zu σ (CO_2) bzw. σ (O_2) zu σ (N_2) von Bedeutung, da es den Zustand der Deponiegasentwicklung charakterisiert. (Hinweis: Insbesondere die Methankonzentration charakterisiert den Zustand des Absaugbetriebes und in Kombination mit der Sauerstoffkonzentration den Zustand der Anlage im Rahmen des Explosionsschutzes).

Verhältnis σ (CH_4) zu σ (CO_2) bzw. σ (O_2) zu σ (N_2)

Neben diesen Hauptkomponenten können im Deponiegas noch weitere Komponenten in Spuren enthalten sein. Prinzipiell lassen sich im Deponiegas Stoffe nachweisen, die entweder durch

- die biologischen Abbauvorgänge entstanden sind
- im Deponiekörper zur Ablagerung kamen und entsprechend ihres Dampfdruckes in der Gasphase auftreten.

Große Zahl von Spurenstoffen

Wie groß die Gesamtsumme der Spurengase ist, hängt von den in der Deponie abgelagerten Stoffen ab. So können im Deponiegas auch eine Vielzahl von Kohlenwasserstoffen (bislang weit über 100 Verbindungen), die z.T. Chlor bzw. Fluor enthalten (sogenannte CKW bzw. FCKW (halogenierte Kohlenwasserstoffe)), nachgewiesen werden. Die meisten dieser Spurenstoffe treten in äußerst geringer Konzentration auf. Insgesamt liegt die Summe aller Spurengase in der Größenordnung von ca. 0,15 % bezogen auf das Deponiegas (ausgenommen Wasserdampf). Tendenziell nimmt der Spurenstoffanteil mit zunehmendem Deponiealter ab. Die TASI fordert in dem Anhang C, Abschnitt 7 die Messung von Benzol und Chlorethen sowie die Summenparameter Gesamt Cl, -Fl und -S.

Wie oben angeführt, entstehen die Spurenstoffe im Deponiekörper und sind folgedessen Bestandteil des Deponiegases. Kommt nun Luft hinzu, so führt dies zu einer Verdünnung des Deponiegases. Um verschiedene Analysen miteinander vergleichen zu können, müssen die Spurengase auf eine Bezugsgröße normiert werden. Als Bezugsgröße wird in der Regel das unverdünnte Deponiegas gewählt. Daher müssen die Ergebnisse grundsätzlich auf luftfreies trockenes Deponiegas bezogen werden, was gemäß den beiden Gleichungen 1-1 und 1-2 durchgeführt werden kann:

*Spurenstoffe auf
luftfreies trockenes
Deponiegas
beziehen*

$$\zeta^*(x_{lf}) = \zeta^*(x_1) \cdot \frac{100}{\sigma(CH_4) + \sigma(CO_2)} \quad \text{Gl. 1-1}$$

mit

- $\zeta^*(x_{lf})$: Massenkonzentration des Spurengases x_1 unter luftfreien Bedingungen [mg/m^3]
- $\zeta^*(x_1)$: Massenkonzentration des Spurengases x_1 unter Betriebsbedingungen [mg/m^3]
- $\sigma(CH_4)$: Volumenkonzentration des Methans im beprobten Gas [%]
- $\sigma(CO_2)$: Volumenkonzentration des Kohlenstoffdioxides im beprobten Gas [%]

Die Ergebnisse der im Labor durchgeführten Analysen sollten stets auf trockenes Gas bezogen angegeben werden. Daher muss eine Umrechnung auf trockenes Gas erfolgen. Die Umrechnung erfolgt nach der Gleichung 1-2

*Umrechnung auf
trockenes Gas*

$$\zeta^*(x) = \zeta^*(x_1) \cdot \frac{1013\text{mbar}}{1013\text{mbar} - p_s} \quad \text{Gl. 1-2}$$

mit

- $\zeta^*(x)$: auf trockenes und luftfreies Gas bezogene Massenkonzentration des Spurengases
- $\zeta^*(x_1)$: luftfrei gerechnete Massenkonzentration des Spurengases
- p_s : Sättigungsdruck des Wasserdampfes bei Betriebstemperatur ϑ am Bezugsort (vgl. Tab. 1-2)

Tab.1-2: Sättigungsdruck des Wasserdampfes in Abhängigkeit der Temperatur

Temperatur °C	Sättigungsdruck mbar *	Temperatur °C	Sättigungsdruck mbar
1	6,108	30	42,41
2	6,566	31	44,97
3	7,575	32	47,53
4	8,129	33	50,36
5	8,718	34	53,18
6	9,345	35	56,29
7	10,012	36	59,40
8	10,720	37	62,82
9	11,472	38	66,24
10	12,270	39	69,99
11	13,116	40	73,75
12	14,014	42	81,98
13	14,965	44	91,00
14	15,973	46	100,86
15	17,039	48	111,62
16	18,168	50	123,35
17	19,362	52	136,13
18	20,620	54	150,00
19	21,960	56	165,11
20	23,37	58	181,47
21	24,85	60	199,92
22	26,42	62	218,40
23	28,08	64	239,10
24	29,82	66	261,50
25	31,66	68	285,60
26	33,60	70	311,60
27	35,64	80	473,60
28	37,78	90	701,10
29	40,04	100	1013,3

*1 mbar=100 Pa; 1 Pa= 1N/m²; 1N=1kg · m/s²

Wird die Gasprobe nach der Fördereinrichtung entnommen, liegt aufgrund der Temperaturerhöhung in der Fördereinrichtung keine Wasserdampfsättigung mehr vor. Der für die Umrechnung gemäß Gl. 2 erforderliche Sättigungsdruck muss daher mit Hilfe der Temperaturmessung vor der Fördereinrichtung bestimmt werden.

Wie aus Gleichung 1-1 ersichtlich muss zur Bewertung der Spurenstoffkonzentrationen also das in der Gasleitung strömende Gas auch hinsichtlich seiner Hauptkomponenten untersucht werden. Sofern sich die Analyse auf sämtliche Hauptkomponenten bezieht, müsste 100 % - Σ Spurenstoffe – Wasserdampf gleich die Summe der Hauptkomponenten ergeben. Wird davon ausgegangen, dass in der Summe die

*Umrechnung auf
100 %*

Spurenstoffe bei etwa 0.5 g/m^3 liegen und das Deponiegas etwa eine Dichte von $1,2 \text{ kg/m}^3$ hat, so wird deutlich, dass die Spurenstoffe unter $1/_{00}$ liegen, also bezüglich der Gesamtsumme von 100 % vernachlässigbar sind. Der Wasserdampfanteil beträgt bei Sättigung und einer Temperatur von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ca. 1 % und liegt somit für die Bestimmung der Hauptkomponenten im Rahmen der Messgenauigkeit und kann daher näherungsweise vernachlässigt werden. Somit müsste nach der Umrechnung auf ein trockenes Gas die Summe der Hauptkomponenten 100 % ergeben. Aufgrund von Messfehlern weicht der tatsächlich gemessene Wert hiervon ab. Da aber der theoretische Wert der wahre Wert ist, muss der Fehler anteilig auf die Gase CH_4 , CO_2 , O_2 , N_2 verteilt werden. Damit werden die einzelnen Analysen vergleichbar und können in Relation zu Bezugswerten gesetzt werden. Die Umrechnung erfolgt nach Gleichung 1-3:

$$\sigma(\text{CH}_4) = \sigma(\text{CH}_4)^* \frac{100}{[\sigma(\text{CH}_4)^* + \sigma(\text{CO}_2)^* + \sigma(\text{O}_2)^* + \sigma(\text{N}_2)^*]} \quad \text{Gl. 1-3}$$

$$\sigma(\text{CO}_2) = \sigma(\text{CO}_2)^* \dots\dots$$

$\sigma(\text{CH}_4)$, $\sigma(\text{CO}_2)$, $\sigma(\text{O}_2)$, $\sigma(\text{N}_2)$ auf $\Sigma 100$ korrigierte
Deponiegaskonzentration

$$\sigma(\text{O}_2) = \sigma(\text{O}_2)^* \dots$$

$$\sigma(\text{N}_2) = \sigma(\text{N}_2)^* \dots$$

$\sigma(\text{CH}_4)^*$, $\sigma(\text{CO}_2)^*$, $\sigma(\text{O}_2)^*$, $\sigma(\text{N}_2)^*$ Wert der gemessenen
Konzentration

Hinsichtlich der Probenahmestellen für die Gasuntersuchungen ist folgender Sachverhalt zu unterscheiden (Abb. 1-3)

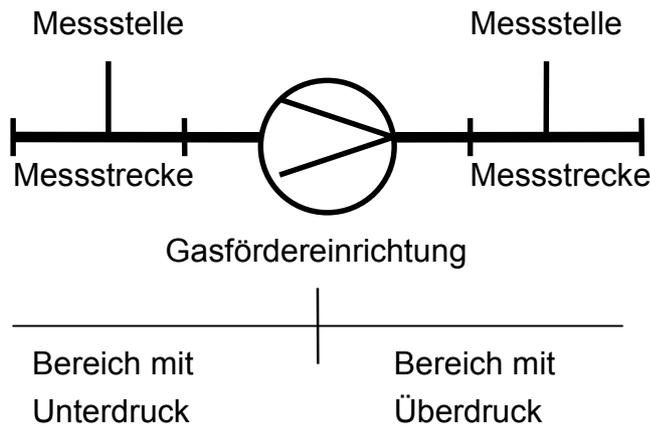


Abb.1-3: Prinzipiell zu unterscheidende Messstellen bei der Deponiegasuntersuchung

Hierbei ist zu beachten, dass durch die Gasfördereinrichtung neben der Druckerhöhung auch eine Temperaturerhöhung stattfindet. Das Probe-
nahmeverfahren muss diesen Bedingungen gerecht werden. Dabei muss folgendes berücksichtigt werden:

Gesichtspunkte bei der Probenahme

- a) Zur Analyse der Spurenstoffe nach TASI ist in der Regel die Entnahme einer bestimmten Gasmenge erforderlich, da nicht für alle Komponenten direkt anzeigend und kontinuierlich messende Verfahren verfügbar sind. Sofern aus dem Bereich $\Delta p < 0$ eine Probe entnommen wird, ist dafür eine Fördereinrichtung erforderlich.
- b) Da bei den Hauptkomponenten nach TASI Stickstoff ebenfalls analysiert werden muss, ist eine gaschromatographische Analyse erforderlich. Diese kann entweder vor Ort mittels transportablem GC oder im Labor mittels Labor-GC erfolgen. Fallweise sind dann Fördereinrichtungen zur Probenahme erforderlich.
- c) Zur Erfassung der Temperatur muss ein Sensor in den Gasstrom eingebracht werden.

Voraussetzung für eine korrekte Probenahme ist die Berücksichtigung der physikalischen Effekte. Um aus dem Gasstrom eine repräsentative Probe zu entnehmen, ist eine volle Durchmischung Voraussetzung. Da bei Deponiegasanlagen generell turbulente Strömungen vorliegen, sodass auch eine senkrecht zur Strömungsbewegung stattfindende Bewegung erfolgt, liegt eine hohe Durchmischung vor. Somit sind dies-

bezüglich bei der Probenahme keine besonderen Gesichtspunkte zu beachten. Eine turbulente Strömung liegt vor, wenn die Reynoldszahl (Re) größer als die kritische Reynoldszahl von 2320 ist. Dies ist bei Deponieanlagen ab etwa einer Geschwindigkeit von 0,2 m/s der Fall.

$$\text{Re} = \frac{c \cdot D}{\nu}$$

mit

c = Geschwindigkeit [m/s]

D = Durchmesser [m]

ν = Kinematische Viskosität [$\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$] bei Deponiegas
etwa $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Ein Konzentrationsunterschied über den Leitungsquerschnitt in Rohrleitungen wurde bislang nicht festgestellt, sodass ein einfacher Anschluss an die Rohrleitung zur Probenahme genügt. Wichtig ist, dass der Anschluss gasdicht ist, um im Falle von $\Delta p < 0$ eine Probenverfälschung durch Luftansaugen zu verhindern bzw. um Explosionsgefahren bei $\Delta p < 0$ bezogen auf das Anlageninnere bzw. bei $\Delta p > 0$ auf die Anlagenumgebung zu vermeiden.

*Ein dichter Abschluss
bei der Probenahme*

Um die Vergleichbarkeit mit früheren oder späteren Analysen zu ermöglichen, ist der abgesaugte Volumenstrom zu bestimmen und auf Normbedingungen umzurechnen. Hierzu muss an der Messstelle repräsentativ die Temperatur und der Druck ermittelt werden. Sofern eine kontinuierliche Deponiegasüberwachungseinrichtung vorhanden ist, (vgl. Abschnitt 6) Gaszufuhr zur Deponiegasbehandlungs-/verwertungsanlage), kann der Volumenstrom von dieser übernommen werden.

*Ermittlung weiterer
Parameter*

Zur kontinuierlichen Bestimmung der Hauptkomponenten sind in vielen Deponiegasanlagen Analysatoren vorhanden. Diese sollten nicht im Rahmen der Überwachungsmethoden eingesetzt werden. Vielmehr sollte die Deponiegasüberwachung dazu genutzt werden, die Richtigkeit der vorhandenen Messeinrichtung zu überprüfen. Daher sind die angezeigten Werte lediglich zusätzlich zu dokumentieren (vgl. Abschnitt 6).

1.3 Methodenvorschrift

Der Aufbau der Messeinrichtung sollte grundsätzlich so erfolgen, dass die im Analysator integrierte Pumpe das Probengas aus der Druckseite der Messgaspumpe ansaugt. Hierdurch können Verfälschungen der Messgenauigkeit durch den entstehenden Unterdruck in der Ansaugleitung ausgeschlossen werden. Abb. 1-4 zeigt schematisch den Messaufbau. Grundsätzlich sollte der Messstellenanschluss absperrbar sein und einen gasdichten Anschluss durch Verschrauben oder Ankopeln ermöglichen. Spezielle Entnahmesonden sind nicht erforderlich (siehe theoretische Grundlagen).

*Probeentnahme
auf der Druckseite*

Die bei der Methode zu erbringenden einzelnen Arbeitsschritte sind im nachstehenden Ablaufplan Abb. 1-5 dargestellt. Prinzipiell ist hierbei zu beachten, dass für eine sinnvolle Interpretation der Gasanalyse nicht nur die nach TAsi/DepSüVO vorgegebenen Parameter Summe Chlor, Fluor und Schwefel sowie die Einzelkomponenten Benzol und Vinylchlorid zu bestimmen sind, sondern auch verschiedene Bezugsgrößen wie die saugseitige Gastemperatur (wg. Ermittlung des Wasserdampfanteils), die vorliegenden Druckverhältnisse sowie die Hauptkomponenten zu erfassen sind.

Probenahme jährliche Gasanalyse auf
Saugseite **Druckseite**
Gasbeutel oder Gasbehälter

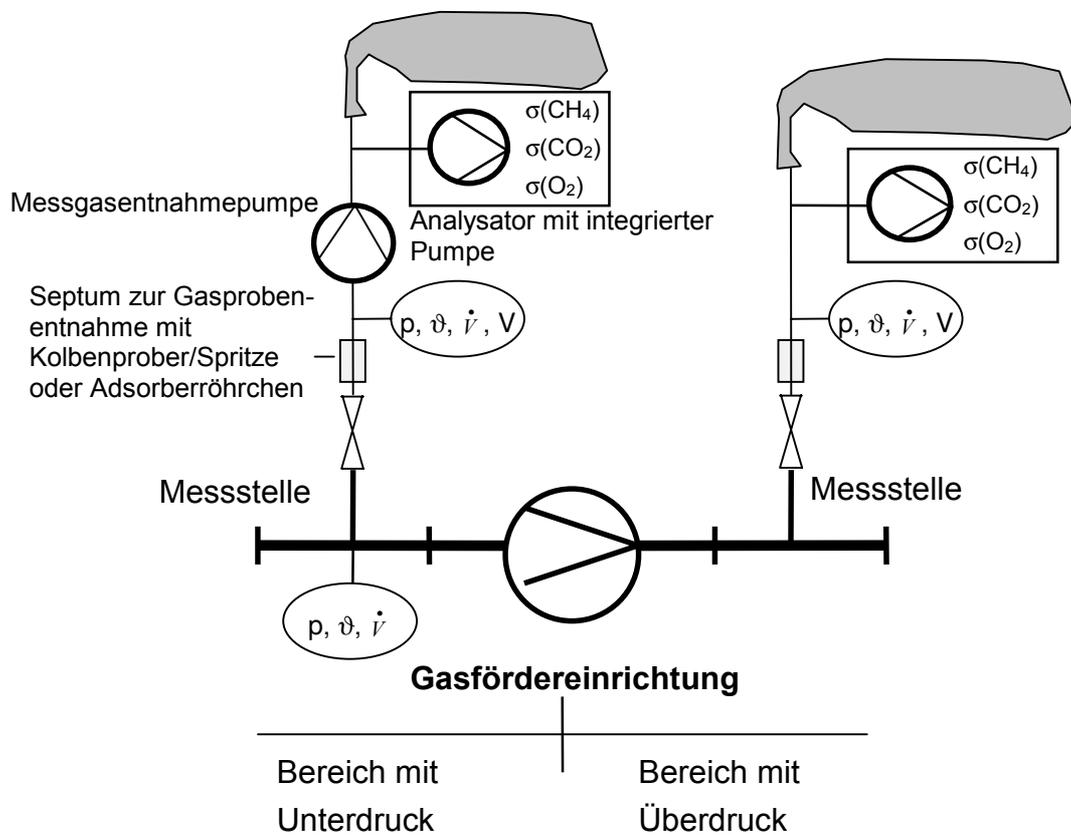


Abb.1-4: Messaufbau zur Durchführung von Deponiegasmessungen

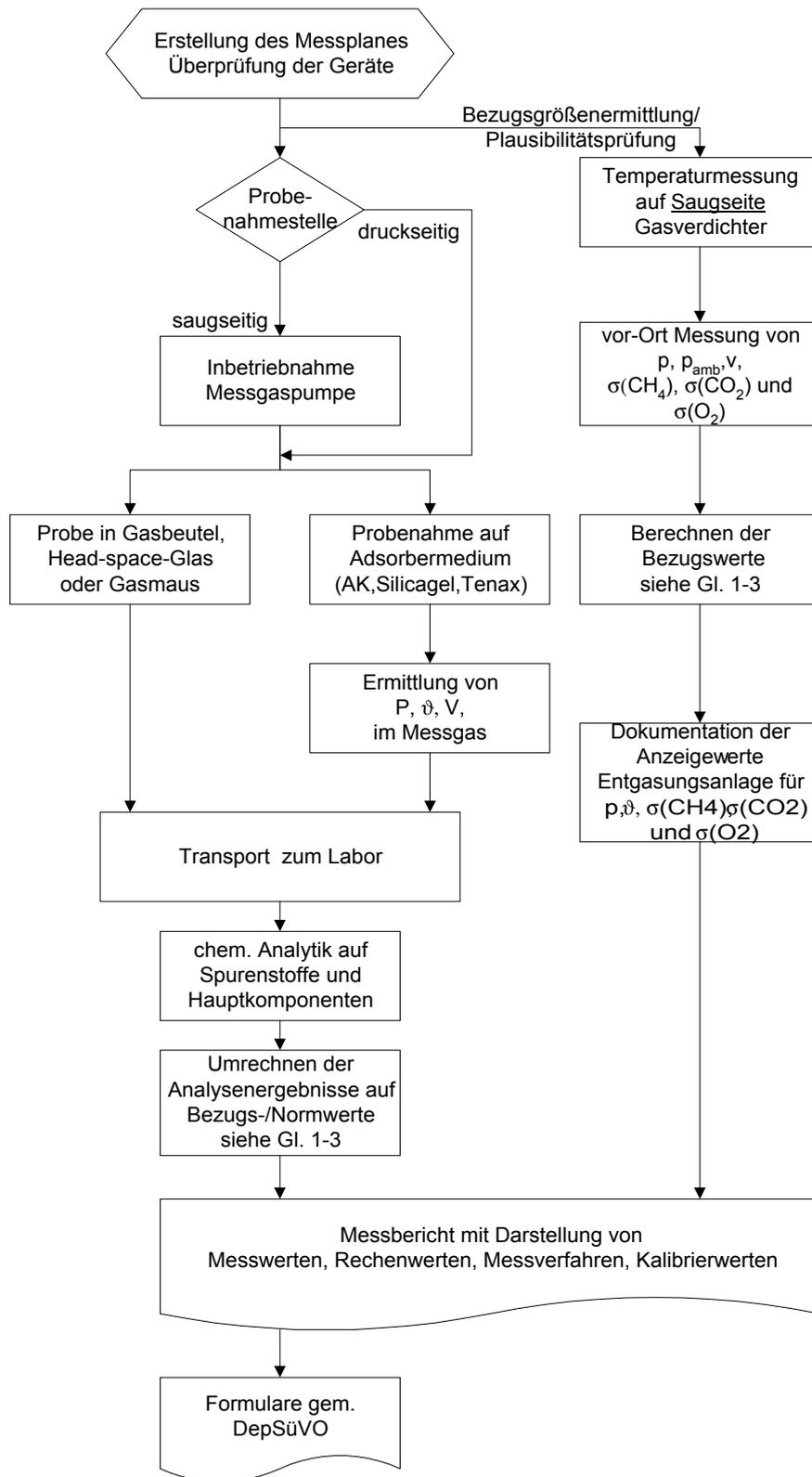


Abb. 1-5: Ablaufschema Deponiegasmessungen

1.4 Auswertung und Dokumentation

Die im Rahmen der Spurenstoffanalyse ermittelten Rohdaten sind in Tabellenform darzustellen. Für die Spurenstoffkomponenten haben dabei die Angaben in mg/m³ zu erfolgen. Diese Konzentrationsangaben sind gemäß der Formeln 1-1 und 1-2 auf den Bezugsstandard trockenes und luftfreies Gas unter Normbedingungen umzurechnen.

Bei den Hauptkomponenten sind die ermittelten Rohdaten und die auf 100 % korrigierten Konzentrationswerte in Tabellenform darzustellen. Die Konzentrationsangaben erfolgen in Volumenkonzentration.

Um eine Plausibilitätsprüfung zu ermöglichen, sind die vor Ort mittels Handmessgeräten ermittelten oder von der Entgasungsanlage übernommenen Konzentrationen der Hauptkomponenten mit in die Dokumentation aufzunehmen.

Tab.1-3 und 1.4 zeigen die Auswertung und Darstellung der Deponiegashauptkomponenten sowie der Spurenstoffkonzentrationen.

Tab.1-3: Tabelle zur Bearbeitung der Rohdaten bei der Deponiegasuntersuchung im Fassungs-system für Hauptgase

Parameter	Einheit	Messwert roh	Messwertermittlung für trockene Gase		Messwert bezogen auf Summe 100	
			Umrechnungsfaktor *	Messwert	Umrechnungsfaktor **	Messwert
$* \frac{1013 + p_s}{1013 - p_s} = \frac{1013 - p_s}{1013 - \dots} = \dots \quad ** \frac{100}{\sigma(CH_2) + \sigma(CO_2) + \sigma(O_2) + \sigma(N_2)} = \frac{100}{\dots + \dots + \dots + \dots} = \dots$						

Tab.1-4: Tabelle zur Bearbeitung der Rohdaten bei der Deponiegas-
untersuchung im Fassungsssystem für Spurengase

Parameter	Einheit	Messwert roh	Messwertermittlung bei trockenem Gas		Messwertermittlung bei luftfreiem und trockenem Gas	
			Umrech- nungs- faktor*	Messwert	Umrech- nungs- faktor**	Messwert
$* \frac{1013}{1013 - ps} = \frac{1013}{1013 - \dots} = \dots \quad ** \frac{100}{\sigma(CH_2) + \sigma(CO_2)} \cdot \frac{1013}{1013 - ps} = \frac{100}{\dots + \dots + \dots} \cdot \dots = \dots$						

1.5 Bezugswerte

Tab.1-5 Übersicht über übliche Messbereiche von Spurenstoffkonzentrationen im Deponiegas

Komponente:	übliche Konzentrationen [mg/m ³]	
	von	bis
Dichlordifluormethan	0,8	10
Trichlorfluormethan	<0,1	5
Trichlormethan	<0,1	1
Dichlormethan	<0,1	3
Chlormethan	<0,1	1
Tetrachlorethen	<0,1	5
Trichlorethen	<0,1	3
1,1- Dichlorethen	0,1	5
cis- 1,2- Dichlorethen	<0,1	10
trans- 1,2- Dichlorethen	<0,1	1
Vinylchlorid	<0,1	5
1,1,2- Trichlortrifluorethan	<0,1	1
1,1,1- Trichlorethan	<0,1	1
1,1- Dichlorethan	<0,1	3
1,2- Dichlorethan	<0,1	3
Summe Chlor (nach Wickbold)	<0,5	25
Summe Fluor (nach Wickbold)	<0,5	15
Summe Schwefel (n. Wickbold)	6,0	500
Benzol	<0,1	20
Toluol	<0,1	100
m+p-Xylol	<0,1	20
o-Xylol	<0,1	50
Ethylbenzol	<0,1	100

1.6 Fehlerbetrachtung, Querempfindlichkeiten

Bei der Durchführung der Gasprobennahme können Undichtigkeiten im Probenentnahmesystem auftreten, deren Ursache in lockeren Verschraubungen/Übergängen oder Rissen in der Probenahmeleitung durch Quetschungen und/oder Versprödungen (insbesondere bei Teflonleitungen) liegen können. Diese Undichtigkeiten führen zu einer Vermischung der Gasprobe mit Luft.

Undichtigkeiten vermeiden

Zur Vermeidung von Fehlmessungen sind die zur Vor-Ort-Messung der Deponiegashauptparameter einzusetzenden Messgeräte auf ihre Funktion zu prüfen bzw. zu kalibrieren. Dieser Funktionscheck besteht i. a. aus einer Überprüfung des Messgerätenullpunktes mit Nullgas und einer Überprüfung der Messgenauigkeit. Da die Deponiegaskonzentrationen bei Deponien erheblichen Schwankungen unterliegen, sollte die Empfindlichkeitsprüfung im oberen und unteren Bereich der Messspanne erfolgen. Angesichts der bei Deponien ermittelten Gaskonzentrationen sollten nachstehende Prüfgaskonzentrationen zur Kalibrierung der Geräte eingesetzt werden.

Funktionsprüfung und Kalibrierung

Tab. 1-6: Empfohlene Prüfgaskonzentrationen zur Kalibrierung der Geräte

	Nullgas	Prüfgas, untere Messspanne	Prüfgas, obere Messspanne
CH ₄		1-5 Vol.-%	55-65 Vol.-%
CO ₂		2-10 Vol.-%	30-35 Vol.-%
O ₂		0,5-2 Vol.-%	
N ₂	99,9 Vol.-%	70-85 Vol.-%	1-5 Vol.-%

Das Analysengerät ist zu Beginn und Ende jedes Messtages zu überprüfen. Die ermittelten Ist- und Sollwerte sind in einem Messprotokoll zu dokumentieren.

1.7 Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers

Das zu den Vor-Ort Messungen eingesetzte Personal muss sachkundig sein. Sachkundiger ist, wer aufgrund seiner fachlichen Ausbildung und Erfahrung ausreichend Erkenntnisse auf dem Gebiet von Deponiegas-einrichtungen und der Gasmesstechnik hat sowie die grundlegenden Zusammenhänge des Deponiegasgeschehens und des Explosionsschutzes kennt. Die Sachkunde kann auf speziellen Probenehmerlehrgängen oder vergleichbaren Lehrgängen erworben werden.

Personal muss sachkundig sein

Der Leiter der Überwachung, der den Messplan aufstellt, der die Messung bzw. das Messpersonal überwacht, die Auswertung verantwortlich durchführt, sollte sachverständig sein. Sachverständiger ist, wer aufgrund seiner fachlichen Ausbildung und Erfahrung besondere Kenntnisse auf dem Gebiet der Deponiegasanlagen, insbesondere der Gasmesstechnik hat und mit den einschlägigen staatlichen Arbeitsschutzvorschriften, Unfallverhütungsvorschriften, Richtlinien und allgemein anerkannten Regeln der Technik vertraut ist. Er soll Deponie- bzw. Deponiegasanlagen prüfen und gutachterlich beurteilen können.

Messplan durch Sachverständigen erstellen

Abschnitt 2

Überwachungsmethode (ÜM 2.4.1.1)

Absaugversuch

2.1 Bezug

Nach Inbetriebnahme des Fassungssystems ist ein Absaugversuch durchzuführen. Die Durchführung dieser Überwachungsmethode ergibt sich aus TAsiedlungsabfall Anhang C, Abschnitt 7: „Aus den bereits vorhandenen bzw. repräsentativ niedergebrachten Gaskollektoren ist durch einen mindestens einen Monat dauernden Absaugversuch die Erfassbarkeit und das Bildungspotential des Gases in der Deponie zu ermitteln.“ Ziel dieser Überwachungsmethode ist es somit, unter definierten Bedingungen Aussagen über die Leistungsfähigkeit der Entgasung zu gewinnen.

*TASi Anhang C,
Abschnitt 7*

2.2 Theoretische Grundlagen

Bei der Absaugung von Deponien hat sich gezeigt, dass die Methankonzentration im abgesaugten Deponiegasvolumenstrom von diesem direkt abhängig ist:

*Methankonzentration
von Deponiegas-
volumenstrom
abhängig*

$$\sigma(\text{CH}_4) = f(\dot{V}) \quad \text{Gl. 2-1}$$

Der Graph dieser Funktion gehorcht der Funktion:

$$\sigma(\text{CH}_4) = \frac{\sigma(\text{CH}_4)_r}{a\dot{V}^2 + 1} \quad \text{Gl. 2-2}$$

mit

$\sigma(\text{CH}_4)$: Volumenkonzentration von Methan bei einem bestimmten Volumenstrom

\dot{V} : Volumenstrom [m^3/h]

- $\sigma(\text{CH}_4)_r$: Volumenkonzentration von Methan im Ruhezustand vor der Absaugung [%] (für junge Deponien ca. 59 %)
- a : Konstante $[\frac{h}{m^3}]$, ermittelt durch statistisches Ausgleichsverfahren

Ebenso ist der Differenzdruck vom Volumenstrom abhängig und gehorcht folgender Gleichung:

- $[p_e] = b \cdot V$ Gl. 2-3
- $[a_1] =$ Betrag des Differenzdruck in mbar
- $b =$ Konstante, ermittelt aus statistischen Ausgleichsverfahren
- $\dot{v} =$ Volumenstrom $[m^3/h]$

Abb. 2-1 zeigt ein Beispiel.

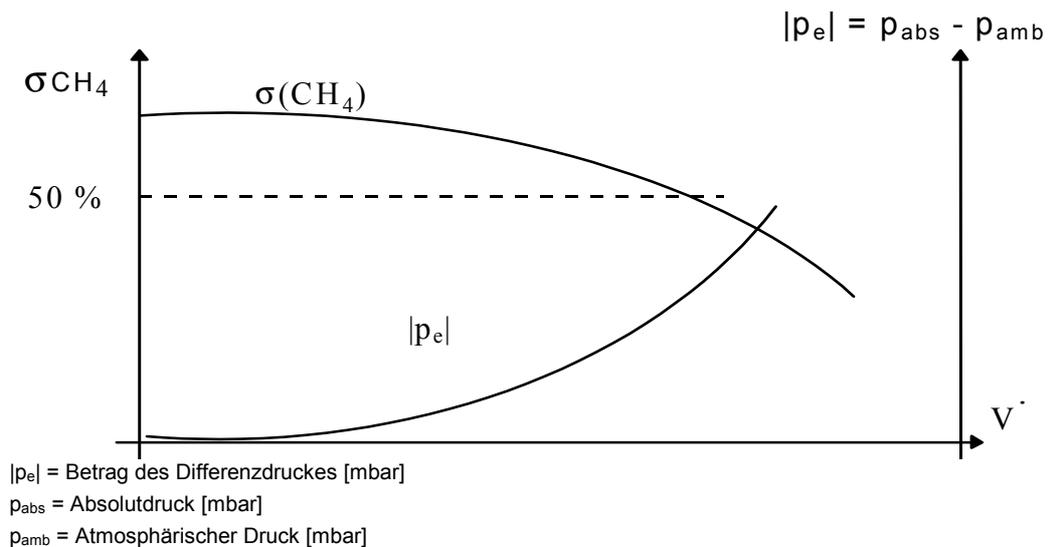


Abb.2-1: Zusammenhang zwischen Volumenstrom \dot{v} und Methankonzentration $\sigma(\text{CH}_4)$ bei der Deponiegasabsaugung

Die Ursache für diesen Sachverhalt ist darin zu sehen, dass bei einer Absaugung von Deponiegas aus dem Deponiekörper nicht nur Deponiegas, sondern auch Luft über die Oberfläche angesaugt wird. Damit kommt es zu einer Verdünnung von Deponiegas.

Damit wird deutlich, dass der aus einer Deponie absaugbare Gasvolumenstrom bis zu einem gewissen Grad beliebig ist, wenn er nicht auf eine bestimmte Methankonzentration bezogen wird.

Beliebigkeit der Methankonzentration

Somit wird unter einem Absaugversuch eine Methode verstanden, mit der bei einer definierten Methankonzentration absaugbare Volumenstrom ermittelt wird. Da ein Übersaugen einer Deponie unerwünscht ist, wird in der Regel die Bezugsmethankonzentration gewählt, bei der eine aktive Deponieentgasung ohne nennenswerte Auswirkungen auf die Gasbildungs-Prozesse im Deponiekörper betrieben werden kann. Diese liegt meist bei 50 %.

Bezugskonzentration bei 50 %

Da dieser Volumenstrom zunächst nicht bekannt ist, muss er durch den Absaugversuch ermittelt werden. Dazu werden zweckmäßigerweise die Volumenströme variiert und die Methankonzentrationen gemessen. Dabei muss der aus Abb. 1-2 ersichtliche Sachverhalt über die Gasbewegung im Deponiekörper berücksichtigt werden.

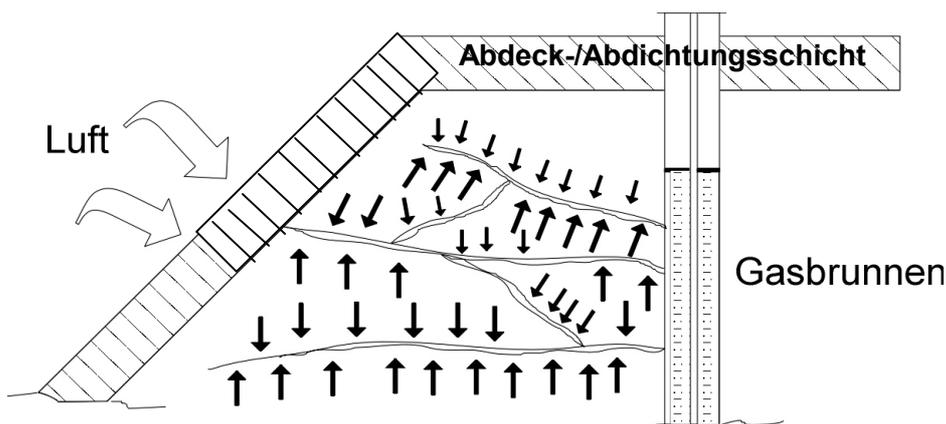


Abb. 2-2: Modellhafte Betrachtung des Deponiekörpers bei der Ausbreitung von Deponiegas

Wird der abgesaugte Deponiegasvolumenstrom erhöht, was durch eine Erhöhung des Differenzdruckes an der Absaugeinrichtung bewirkt wird, so wird vermehrt über die bevorzugten Bahnen im Deponiekörper Gas transportiert. Bis dieses Gas die Absaugeinrichtung erreicht hat, können in der Realität mehrere Stunden bzw. Tage vergehen. Wird also der Gasvolumenstrom erhöht, so bleibt zunächst die vorhandene Methankonzentration unverändert, der Zustand jedoch ist instabil. Im Laufe der Zeit wird sich die Methankonzentration je nach der angesaugten Luftmenge solange erniedrigen, bis ein neuer stabiler Zustand erreicht ist.

Stabilen Zustand abwarten

Wie wird nun das oben genannte Ziel des Absaugversuches, also den Volumenstrom zu bestimmen, bei dem die Methankonzentration gerade 50 % beträgt, erreicht? Da nicht vorhersehbar ist, welche Methankonzentration sich bei einer Erhöhung des Gasvolumenstromes einstellt, kann der Zustand mit 50 % CH₄ nicht genau ermittelt werden. Daher ist es zweckmäßig, den Verlauf von Gl. 2-2 im Umfeld von 50 % Methankonzentration zu ermitteln. Um die erheblichen Auswirkungen auf den Deponiekörper wie Temperaturerhöhung oder Beeinträchtigung der Biogasbildung, wenn die Methankonzentration deutlich unter 45 - 50 % liegt, zu vermeiden, muss die Erhöhung in kleinen Schritten ausgehend von hohen Methankonzentrationen vorgenommen werden.

Damit erhält man je nach Absaugversuch mehrere Datenpaare Methankonzentration/Gasvolumenstrom (Hinweis: Zweckmäßigerweise werden weitere Parameter erfasst \Rightarrow siehe Methodenvorschrift). Die Methankonzentration wird sich dabei sowohl über als auch unter dem Bezugswert von 50 % bewegen. Somit muss der zu 50 % CH₄ zugehörige Volumenstrom durch Interpolation gewonnen werden. Hierzu wird auf Gl. 2-2 als Modell zurückgegriffen und mittels eines statistischen Verfahrens der Kurvenanpassung die Konstante a bestimmt. Damit kann dann der Wert für \dot{V}_{50} für die Bezugskonzentration 50 % errechnet oder abgelesen werden. Damit ergibt sich die beispielhaft in Abb. 2-3 angegebene Situation:

*Interpolation durch
statistisches
Verfahren*

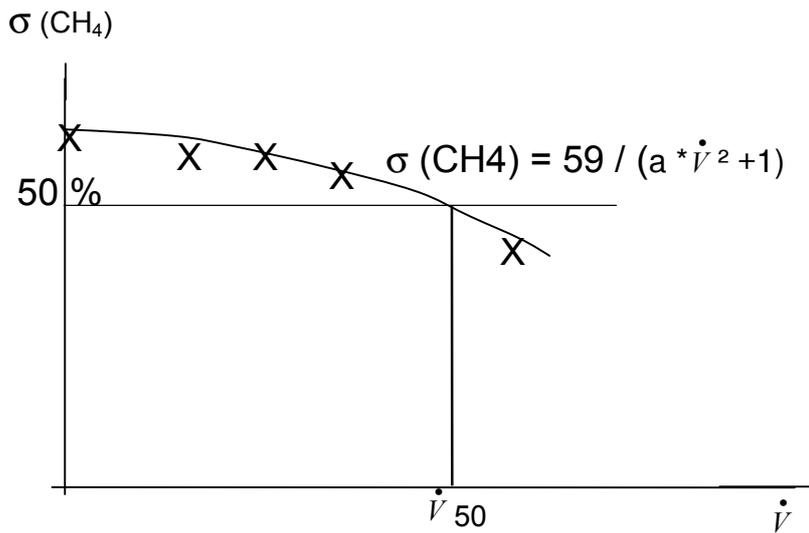


Abb.2-3: Kurvenanpassung an die beim Absaugversuch ermittelten Messwertpaare

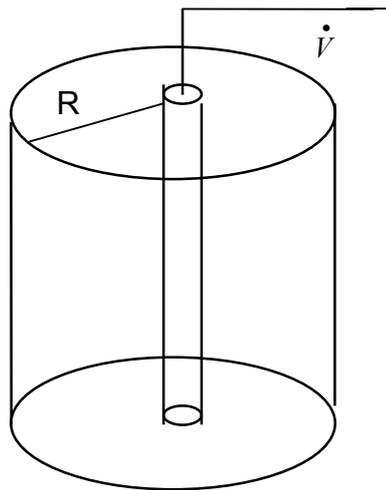


Abb.2-4: Einzugsbereich und abgesaugter Gasvolumenstrom bei der Deponiegasabsaugung

Der Wert \dot{V}_{50} ist somit die maximal aus der Deponie absaugbare Gasmenge bezogen auf die Bezugsmethankonzentration 50 %. (Hinweis: Zum Vergleich mit Werten aus der Gasprognose o.ä. muss der Wert noch auf ein trockenes, luffreies Gas umgerechnet werden).

Die Angabe eines Wertes \dot{V}_{50} geht also davon aus, dass die Absaugung in einem stabilen Zustand stattgefunden hat. Dies ist aber insbesondere bei neuen Anlagen nicht immer gegeben. Die Ursache hierfür ist in folgendem Sachverhalt zu sehen:

*Absaugung in
stabilem Zustand*

Grundsätzlich steht der aus der Deponie abgesaugte Gasvolumenstrom im Gleichgewicht mit der in einem bestimmten Volumen der Deponie gebildeten Gasmenge, wie dies in Abb. 1-4 für einen idealisierten Zustand dargestellt ist. Der Radius R ist somit gerade so groß, dass die hierin gebildete Gasmenge gleich \dot{V} ist. Wird aber jetzt eine Deponie neu abgesaugt, kann der Fall eintreten, dass der Gleichgewichtszustand nicht sofort erreicht wird. Ein Grund besteht z. B. darin, dass zunächst das im Deponiekörper vorhandene (gespeicherte) Gas abgesaugt wird, d. h. sich erst langsam ein Differenzdruck aufbaut. Damit würde sich aber mit der Zeit der Radius R vergrößern, was zu anderen Methankonzentrationen führen könnte. Würde man die anfänglichen Volumenströme als die repräsentativen Werte ermitteln, würde dies zu einer Überschätzung der Deponie führen. Daher ist bei den Absaugversuchen ein längerer definierter Zustand zu erfassen, bei dem dann eine Konstanz der Werte eintreten sollte (Die TASI sieht hierfür einen Zeitraum von 4 Wochen vor). Daher sollte nach der Ermittlung von \dot{V}_{50} durch eine Variation von \dot{V} die Anlage in etwa bei \dot{V}_{50} über 1 - 2 Monate betrieben werden. Besteht Unsicherheit darin, ob sich Gl. 2-2 in gleicher Weise wie am Anfang einstellt, was bei neuen Anlagen grundsätzlich zu unterstellen ist, so sollte Gl. 2-2 nochmals bestimmt werden. Sollte sich dann durch einen Vergleich mit dem Anfangsbestand eine andere Kurve ergeben, so wäre der Wert für \dot{V}_{50} der späteren Kurve zu entnehmen (vgl. Abb. 2-5).

*Längerer definierter
Zustand einhalten*

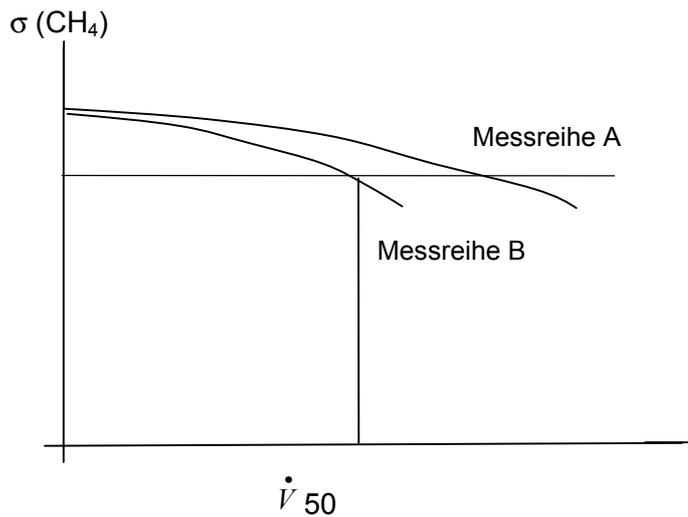


Abb.2-5: Beispielhafter Verlauf zweier Ausgleichskurven bei einem Absaugversuch.

2.3 Methodenvorschrift

Bei der Durchführung des Absaugversuches ist wie folgt vorzugehen:

- Festlegung der Messstelle und der Untersuchungsanordnung. Die Messstelle muss geeignet sein, um Druckfluss, Differenzdruck zum atmosphärischen Druck, Gastemperatur sowie die Gaskonzentration zu messen können. Hierzu können auch fest installierte Messgeräte herangezogen werden. Dabei ist sicherzustellen, dass Einstellungen bezüglich des Durchflusses, die Messergebnisse nicht beeinflussen. Grundsätzlich sollte die Untersuchungsanordnung nach den Prinzipien wie folgt dargestellt aufgebaut sein (Abb. 2-6). Sinngemäße Lösungen sind möglich.

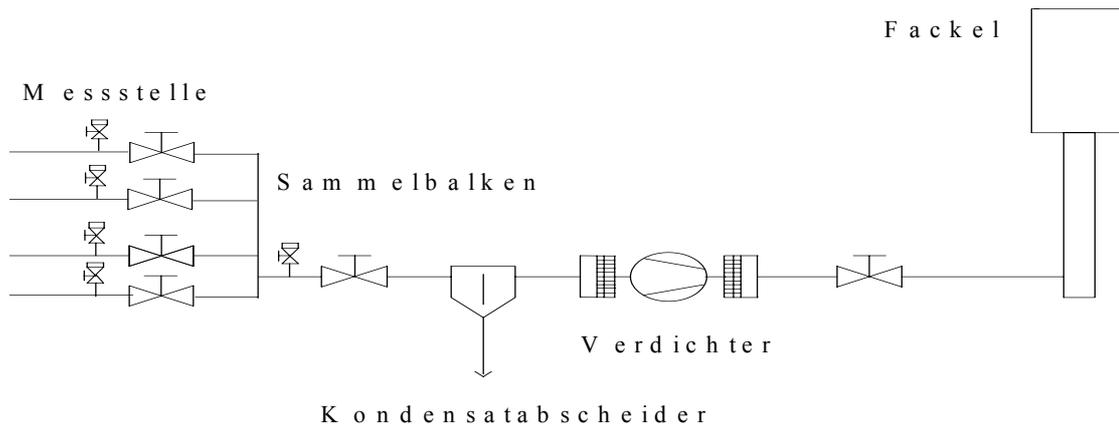


Abb.2-6: Untersuchungsanordnung für Absaugversuch

Grundsätzlich ist anzustreben, dass für jeden einzelnen Gaskollektor ein Absaugversuch durchgeführt wird, wobei an verschiedenen Kollektoren der Versuch parallel durchgeführt werden kann.

Die Untersuchungsanordnung ist zu dokumentieren mit

- Bezeichnung der Messstellen im Lageplan
- Bezeichnung der Messstelle im Fließschema
- Angaben zu den Messstellen mit Abmessungen und Materialien

Untersuchungsanordnung dokumentieren

- Durchführung der Messungen bei unterschiedlichen Gasvolumenströme mit folgendem Ablauf:
- Feststellung des Ruhezustandes entweder vor Beginn des Absaugbetriebes oder durch Abstellen der Anlage für mindestens 2 Tage. Tägliche Messung von σ (CH₄), σ (CO₂), σ (O₂), p_e . Sobald der Wert sich nur noch gering verändert, Beginn des Absaugbetriebes.
- Absaugtest: Einstellen eines Gasvolumenstromes etwa in der Größenordnung von 0,5 m³/(h·lfdm) Kollektorlänge Brunnen oder 0,05 m³/(h·lfdm) Kollektorlänge Horizontaldrainage.

Absaugversuch bei kleinem Gasvolumenstrom beginnen

- Tägliche Messung von σ (CH₄), σ (CO₂), σ (O₂), p_e , ϑ , \dot{V} . Sobald die Werte konstant sind bzw. nach 3 Tagen, Erhöhung des Volumenstromes mit den genannten Schritten. Verändert sich die Methankonzentration nicht von Schritt zu Schritt, kann dieser verdoppelt werden.
- Stellt sich die Methankonzentration auf Werte < 45 % ein, ist der Versuch abzubrechen und die Anlage auf einen Volumenstrom einzustellen, bei dem die Methankonzentration etwa bei 50 % liegt. *Absaugversuch bei σ (CH₄) < 45 % abbrechen*
- Dieser Betriebszustand ist 1 - 2 Monate aufrechtzuerhalten. Hierbei sind wöchentlich folgende Parameter zu messen:
 σ (CH₄), σ (CO₂), σ (O₂), p_e , \dot{V} , ϑ .
- Danach ist der Absaugbetrieb gemäß Arbeitspunkt Absaugtest ggf. zu wiederholen.
- Während des Absaugversuches sind die meteorologischen Daten mindestens arbeitstäglich zu erfassen mit

Temperatur: Lufttemperatur um 14 Uhr in °C
 Luftdruck: Luftdruck um 14 Uhr in hPa
 oder mbar
 Niederschlag: Niederschlagshöhe pro Tag in mm

- Der Absaugversuch ist mit den entsprechenden Protokollen zu dokumentieren, wobei der Mindestumfang sich nach folgendem Tabellenkopf ergibt:

Tab.2-1: Dokumentation des Absaugversuchs

Messstellenummer:

Datum, Uhrzeit der Messung	σ (CH ₄) [%]	σ (CO ₂) [%]	σ (O ₂) [%]	Δp_e [mbar]	\dot{V} [m ³ /h]	ϑ [°C]	Einstel- lungen	Bemer- kungen

Hinweise zum Arbeitsschutz:

Zur Vermeidung von Explosionsgefahren sind grundsätzlich die Explosionsschutz-Richtlinien (BGR 104) anzuwenden. Darüber hinaus muss ferner für den Explosionsschutz an elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln die Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Räumen (ElexV) eingehalten werden. Wichtige Hinweise zur Durchführung des Explosionsschutzes können auch der Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF) mit den betreffenden technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF, z.B. TRbF 100) und den Unfallverhütungsvorschriften, insbesondere der Unfallverhütungsvorschrift Gase (BGV B6) entnommen werden.

*Explosionsschutz wie
bei betrieblichen
Entgasungsanlagen*

Die Explosionsschutz-Richtlinien (Ex-RL, BGR 104) nennen für den Explosionsschutz folgende Maßnahmen:

- Maßnahmen, welche eine Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindern oder einschränken (primärer Explosionsschutz);
- Maßnahmen, welche die Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindern (sekundärer Explosionsschutz);
- Maßnahmen, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken (konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen).

Bei Arbeiten in gefährdeten Bereichen scheidet letztere Maßnahme aus Gründen des Arbeitsschutzes aus. Darum sind hier nur die beiden ersten Maßnahmen zu betrachten.

Im Falle einer sicheren Verwirklichung (z.B. redundante Ausführung) des primären Explosionsschutzes durch

- entsprechende Lüftungsmaßnahmen und
- Gaswarngeräte mit Alarmgabe

kann auf den sekundären Explosionsschutz verzichtet werden, d.h. evtl. vorhandene Zündquellen können nicht zu einer Explosion führen. Umgekehrt gilt: Kann der primäre Explosionsschutz nicht garantiert werden, muss der sekundäre Explosionsschutz verwirklicht werden, d.h. Zündquellen müssen mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Zoneneinteilung

als Grundlage für die Beurteilung des Umfanges der Schutzmaßnahmen sind verbleibende explosionsgefährdete Bereiche nach Wahrscheinlichkeit und Dauer des Auftretens gefährlicher explosionsfähiger Atmosphären nach Zonen zu charakterisieren:

- Zone 0 umfasst Bereiche, in denen gefährliche explosionsfähige Atmosphäre durch Gase, Dämpfe oder Nebel ständig oder langfristig vorhanden ist.
- Zone 1 umfasst Bereiche, in denen damit zu rechnen ist, dass gefährliche explosionsfähige Atmosphäre durch Gase, Dämpfe oder Nebel gelegentlich auftritt.
- Zone 2 umfasst Bereiche, in denen damit zu rechnen ist, dass gefährliche explosionsfähige Atmosphäre durch Gase, Dämpfe oder Nebel nur selten und dann auch nur kurzzeitig auftritt.

Für die Arbeitskräfte sind folgende Maßnahmen erforderlich:

Allgemeine Handlungsanweisungen

Vorbereitung

- der Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan ist vom Auftraggeber selbst oder in dessen Auftrag zu erstellen und sollte Bestandteil der Ausschreibungsunterlagen sein
- die Erfordernis und der Umfang einer arbeitsmedizinischen Betreuung ist mit einem Arbeitsmediziner abzustimmen
- alle bei den Erkundungen Beteiligten sind vor Beginn über die Örtlichkeiten, die deponiespezifischen Bedingungen und Gefährdungen, die Sicherheitsbestimmungen, den Brandschutz und Rettungswege zu unterweisen (schriftliche Bestätigung)
- Vorzuhalten sind:
 - Wasser, Reinigungsmittel, Papierhandtücher, Hautschutzcreme
 - Erste-Hilfe-Material
 - Augendusche
 - Behältnisse für benutzte Ausrüstungen

Durchführung:

- vor Beginn der täglichen Erkundungen ist die Schutzausrüstung auf Funktionsfähigkeit zu prüfen
- grundsätzlich gilt ein Alleinarbeitsverbot – Ausnahme: Begehungen
- beim Auftreten unerwarteter Ereignisse (starke Gasemissionen, Sickerwasseraustritte, Setzungen etc.) haben die Beteiligten den Gefahrenbereich umgehend zu verlassen und die Aufsichtsperson zu verständigen
- auf der Altablagerung besteht striktes Trink-, Ess- und Rauchverbot. Trinken und Essen ist nur außerhalb der Deponien und nur nach

<p>Ablegen evtl. Schutzkleidung und Reinigung der Hände gestattet</p> <ul style="list-style-type: none"> • jegliche Tätigkeiten, die zu Flammen- oder Funkenbildung führen können, sind zu vermeiden. Dies gilt auch für Personal in Fahrzeugen • direkter Kontakt mit dem Müllkörper und austretendem Sickerwasser ist zu vermeiden. Ebenso sind Stellen, an denen offensichtlich verstärkt Deponiegas austritt zu meiden • die Arbeiten sind messtechnisch zu begleiten, an offensichtlichen Gasemissionsquellen haben die Arbeiten möglichst von der dem Wind zugewandten Seite zu erfolgen
<p>Beendigung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • nach Beendigung der täglichen Erkundungen ist die Schutzausrüstung zu reinigen und auf Funktionsfähigkeit zu prüfen

standortspezifische Situation	
Überwachungsmethode	Absaugversuch
Oberflächenabdeckung:	vorhanden
Deponietyp:	Haus- und hausmüllähnlicher Gewerbe- und Industriemüll / Haus- und hausmüllähnlicher Gewerbe- und Industriemüll mit begründetem Verdacht auf Abfälle nach §2, Abs. 2 AbfG

Anmerkung: Zusätzlich sind die allgemeinen Handlungsanweisungen zu beachten!

Persönliche Schutzausrüstung
<ul style="list-style-type: none"> • Bauschutzschuhe (P3) • Schutzhandschuhe (PVC, mindestens 0,8 mm dick) am Mann bereithalten

Messtechnik
<ul style="list-style-type: none"> • CH4-Warngerät für direkt an der Anlage arbeitende Personen (Alarm bei 20 % UEG)

Technische und organisatorische Schutzmaßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> • Absperrung Gefahrenbereich (möglichst Zaun) • Feuerlöscher vorhalten • Verwendung nicht funkenziehender Werkzeuge • Festlegung von Explosionsschutzzonen • Aufstellung von Stromaggregat in ausreichendem Abstand

zusätzliche Verhaltensregeln:

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Keine |
|---|

Beendigung der Arbeit:

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Verschließen oder Abdecken der Ansaugöffnung • Reinigung bzw. Entsorgung der Schutzausrüstung |
|--|

Hinweise zu häufig auftretenden Problemen:

2.4 Auswertung und Dokumentation

Für die Auswertung sind nur die Datensätze relevant, die unmittelbar vor der Erhöhung des Gasvolumenstromes gemessen wurden. Diese Datensätze sind zunächst auf Plausibilität zu überprüfen, so sollte

Datensätze überprüfen und aufarbeiten

- das Verhältnis σ (CH₄) zu σ (CO₂) etwa gleich geblieben sein, ansonsten müsste von einer gestörten Biogasbildung ausgegangen werden
- das Verhältnis σ (O₂) zu σ (N₂) mit größerem \dot{V} tendenziell kleiner werden, ansonsten wäre die Anlage undicht, was zu keinen repräsentativen Messungen führen würde.

Danach sind die Datensätze für die weitere Bearbeitung aufzuarbeiten. So ist \dot{V} auf Normbedingungen umzurechnen. Hierbei bedient man sich nachstehender Gleichung 2-3

$$\dot{V}_n = \dot{V} \cdot \frac{T_n}{T_n + \vartheta} \cdot \frac{p - p_s}{p_n} \quad \text{Gl. 2-4}$$

mit

\dot{V}_n	Volumenstrom im Normzustand [m ³ /h]
\dot{V}	Volumenstrom im Betriebszustand [m ³ /h]
p_n	Druck im Normzustand (1013 mbar)
T_n	Temperatur im Normzustand [273 K]
ϑ	Temperatur im Betriebszustand [°C]

p_s Sättigungsdruck des Wasserdampfes bei Temperatur ϑ [...]

Die zum gleichen Zeitpunkt gemessenen Datensätze werden dann in ein Diagramm eingetragen, wie in folgender Abb. 2-7 beispielhaft angegeben.

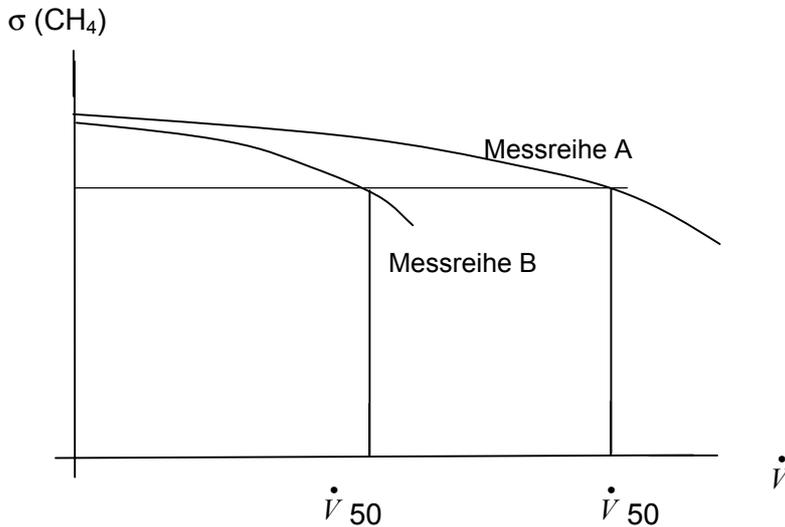


Abb.2-7: Beispielhafte Darstellung der Ergebnisse des Absaugversuches

Mit Hilfe statistischer Ausgleichsverfahren werden dann gemäß Gl. 2-5 und Gl. 2-3 entsprechende Kurven ermittelt, wobei, wie bereits erläutert, von folgendem Funktionstypen auszugehen ist:

$$\sigma(\text{CH}_4) = \frac{\sigma(\text{CH}_4)r}{a \cdot \dot{V}} \quad \text{Gl. 2-5}$$

$$[p_e] = b \cdot \dot{V}^2 \quad \text{Gl. 2-6}$$

Aus Gleichung 2-5 wird durch Einsetzen von $\sigma(\text{CH}_4) = 50 \%$ ermittelt. Eingesetzt in Gl. 2-6 ergibt sich als Funktion von \dot{V} [p_e]. Der Wert \dot{V} muss da er auf $\sigma(\text{CH}_4) = 50 \%$ bezogen ist, dann noch auf luftfreies Gas umgerechnet werden. Beide Werte \dot{V} für $(\text{CH}_4) = 50 \%$ und \dot{V} für luftfreies Gas sind im Berichtsblatt anzugeben.

Um die Werte vergleichen zu können, sollten noch folgende Bezugswerte ermittelt werden

*Vergleich mit
Bezugswerten*

spez. Kollektorergiebigkeit [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{lfdm})$] stündlich abgesaugte
Gasmenge bezogen
auf die Kollektorlänge

bzw. wenn sich der Absaugversuch auf einen repräsentativen Teil der
Deponie erstreckt

spez. Ausbeute [$\text{m}^3/(\text{Mg}\cdot\text{a})$] Gasanfall pro Jahr
bezogen auf die insgesamt
abgelagerten Abfall

Ausbeutegrad [%] abgesaugte Gasmenge
bezogen auf die nach der
Gasprognose aus
beutbare Gasmenge

Die Dokumentation über den Absaugversuch setzt sich aus den ge-
nannten Unterlagen zusammen

1. Ergebnisblatt
2. Untersuchungsanordnung
3. Versuchsdokumentation
4. Auswertung
5. Kurze Erläuterung zum Versuchsablauf, sowie Bewertung

2.5 Bezugswerte

Bezugswerte zu den beim Absaugversuch gewonnen Daten sind nicht
gegeben. Daher sind lediglich Vergleiche zu Werten früherer
Messungen bzw. zu üblicherweise vorgefundenen Größenordnungen
von Messwerten möglich. Hierbei können folgende Werte genannt
werden:

*Vergleiche mit
vorausgehenden
Messergebnissen*

spez. Kollektorergiebigkeit $2 \text{ m}^3 /(\text{h}\cdot\text{lfdm.})$ (Brunnen)
 $0,2 \text{ m}^3 /(\text{h}\cdot\text{lfdm.})$ Drainagen

spez. Ausbeute $2 - 4 \text{ m}^3 /(\text{Mg}\cdot\text{a})$

Ausbeutegrad 35 %

2.6 Fehlerbetrachtung und Querempfindlichkeit

Bezüglich der Angaben bei den einzelnen Messungen, siehe Teil B der Arbeitshilfe Deponiegas. Auf die Absaugversuche haben folgende Faktoren einen Einfluss:

- Veränderung des Luftdruckes
- Veränderung der Oberfläche durch Niederschläge, Frost
- Veränderung der biologischen Prozesse

Erfahrungswerte hierzu sind bislang nicht bekannt.

2.7 Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers

Der Leiter des Absaugversuches sollte auf dem einschlägigen Gebiet Deponiegas sachverständig sein. Er ist zuständig für die Ausarbeitung des Messplanes, der Angaben zur Durchführung sowie zur Auswertung und Ergebnisdarstellung. Die Mitarbeiter vor Ort sollten sachkundig sein und dies durch die Teilnahme an einem einschlägigen Kurs nachgewiesen haben.

Abschnitt 3

Überwachungsmethode (ÜM 2.4.2.1)

Wirkungskontrolle der Entgasung

3.1 Bezug

Die Durchführung dieser Überwachungsmethode ergibt sich aus der TASI Abschnitt 11.2 in Verbindung mit Anhang C, Abschnitt 6. Danach ist die Wirkung der Entgasung durch regelmäßige Kontrollen nachzuweisen. Bei offenen Deponien oder Deponieabschnitten hat dies neben der wöchentlichen Wirkungskontrolle der Entgasung durch den Deponiebetreiber vierteljährlich als Fremdkontrolle durch eine fachkundige Stelle zu erfolgen. Ziel der Überwachungsmethode Abschnitt 3 ist es somit, den Betriebszustand der Entgasungsanlage zu überwachen, um die bestimmungsgemäßen Betriebszustände ausreichend und dauerhaft sicherzustellen bzw. Anpassungen bzw. erforderliche Änderungen rechtzeitig erkennen und vornehmen zu lassen.

*TASI Abschnitt
11.2, Anhang C*

3.2 Theoretische Grundlagen

Das Ziel der Entgasung ist es, dass Gasaustritte über die Deponieoberfläche und Migrationen des Deponiegases in das Deponieumfeld unterbunden werden, zumindest aber so weit minimiert werden, dass keine schädlichen Auswirkungen zu befürchten sind (vgl. TASI Anhang C, Abschnitt 6). Dieses Ziel kann erreicht werden, wenn eine Gaserfassung durch eine aktive Entgasung erfolgt. In der Regel werden diese Anlagen für eine bestimmte Gasmenge (z.B. nach der Gasprognose) dimensioniert und in einen bestimmten Betriebszustand gefahren. Dieser ist in der Regel festgelegt durch:

Ziel der Entgasung

*Kennzeichnende
Parameter für den
Betriebszustand*

- p_e : der in die Deponie eingebrachte Saugdruck
($p_e = p_{amb} - p_{abs}$) [mbar] oder [Pa]
- p_{amb} : Atmosphärendruck [mbar] oder [Pa]
- p_{abs} : absoluter Druck [mbar] oder [Pa]

- \dot{V} : Volumenstrom [m³/h]
 σ (CH₄) : Volumenkonzentration des Methans [%]
 σ (CO₂) : Volumenkonzentration des Kohlenstoffdioxides [%]
 σ (O₂) : Volumenkonzentration des Sauerstoffs [...]
 ϑ : Temperatur des Gases an der Messstelle [°C]

Ein Vergleich der Dimensionierungswerte mit den Betriebswerten führt zur Kontrolle der Anlage.

Vergleich mit Auslegungswerten ist wichtig

Weiter besteht das allgemeine Ziel einer Entgasung, diese optimal zu betreiben, worunter zwei wesentliche Gesichtspunkte zu verstehen sind:

- a) die Entgasungsanlage soll dauerhaft so viel Gas erfassen wie möglich
- b) die Anlage soll in einem für die Deponie sicheren Zustand betrieben werden

Vielfache Erfahrungen an Deponien haben gezeigt, dass eine Übersaugung zu erheblichen Auswirkungen führt. Vor allen Dingen ist eine nachhaltige Schädigung der Biozönose im Deponieinnern bereits nach wenigen Tagen möglich. Daher sollte für die Methankonzentration unter Betriebsbedingungen folgendes gelten (Faktor 50-x-Modell):

Faktor 50-x-Modell

- | | | | |
|--------------------|-----------------------------|------|----------|
| bei neuen Deponien | σ (CH ₄) | soll | > 50 %-x |
| bei alten Deponien | σ (CH ₄) | soll | > 50%+x |

mit x ca. 0-4 %.

Daher ist durch die Wirkungskontrolle der Entgasung sicherzustellen, dass mit der Anlage nicht zu viel Gas (σ (CH₄) ab 50 %) bzw. zu wenig Gas (σ (CH₄) > 50 %) abgesaugt wird. Weiterhin sind die Trends bei der Gasentwicklung zu erfassen, die eine Anpassung der Anlage erforderlich machen. Solche können z.B. sein:

- \dot{V} : wird kleiner : Querschnitt, Gasfördereinrichtung, Fackel müssen angepasst werden
 \dot{V} : wird größer : Kapazität der Anlage muss erweitert werden, Gasverwertung, Fackel etc.

		können bzw. müssen angepasst werden
p_e	: wird größer	: neue Fördereinrichtungen können erforderlich werden
σ (CH ₄ /CO ₂)	: wird größer	: Gasentwicklung nimmt stark ab. Gasverwertung kann nicht mehr ausgelastet werden.

Eine Anlage, die optimal eingestellt ist, reagiert auf äußere Einflüsse wie Niederschläge, Temperaturen vor allem aber auf Änderungen des atmosphärischen Druckes. Daher läuft die Methankonzentration immer wieder aus dem Optimum, sodass eine Nachregelung durch eine Veränderung des Volumenstromes erfolgen muss. Zahlreiche Erfahrungen an Deponien haben gezeigt, dass solche Nachregelungen wenigstens einmal wöchentlich erforderlich werden können.

*Anlage reagiert auf äußere Einflüsse
Nachregelung einmal wöchentlich erforderlich*

Entsprechend den Darstellungen bei der Überwachungsmethode Absaugversuch (ÜM 2.4.1.1) reagiert jeder Gaskollektor auf externe Einflüsse individuell. Dies bedeutet, dass für das Erzielen eines optimalen Entgasungseffektes jeder einzelne Gaskollektor zu überwachen ist.

Jeder Gaskollektor reagiert individuell

Als wesentliche Kenngrößen für einen Gaskollektor sind

- a) die den Gashaushalt betreffenden Parameter \dot{V} , p_e , σ (CH₄, CO₂, O₂) und ϑ
- b) die die Leistungsfähigkeit des Gaskollektors betreffende Parameter wie Tiefe, Kollektorfläche

zu ermitteln.

Da die Größen nach b) sich bis auf einen möglichen Wassereinstau praktisch nicht verändern, ist die freie Filterfläche durch eine Bestimmung der möglicherweise vorhandenen Wasserspiegellage ein wichtiges Merkmal.

Zur Ermittlung der Größen des Gashaushaltes müssen die einzelnen Parameter bestimmt werden.

Um die Untersuchung bezüglich des Gashaushaltes durchführen zu können, müssen somit grundsätzlich an der Messstelle die Parameter

\dot{V} , Δp und Temperatur erfasst werden. Da sich die Werte in der Anlage ändern, sollten alle drei Parameter am gleichen Messort bestimmt werden. Wird der Durchfluss an anderer Stelle gemessen, so sind auch dort die Betriebswerte der Anlage d.h. Differenzdruck und Temperatur zu ermitteln.

Die Messungen der verschiedenen Parameter erfordern grundsätzlich verschiedene Vorgehensweisen, da

- zur Durchführung der Gasanalysen Gas aus dem Anlageninnern entnommen werden muss,
- zur Erfassung des Druckes eine Verbindung mit dem Anlageninnern hergestellt werden muss,
- zur Erfassung von Temperatur und der Geschwindigkeit Sensoren in den Gasstrom eingebracht werden müssen.

Die Erfassung des Druckes ist neben betrieblichen Gesichtspunkten auch erforderlich, um die Zustandsgrößen zur Umrechnung auf Normbedingungen zu bestimmen. Hierzu ist die Bestimmung des statischen Druckes erforderlich. Generell gilt für die Druckverhältnisse in einer Rohrleitung

*Erfassung des
Druckes erforderlich*

$$p_{\text{abs}} = p_1 + \delta \cdot \frac{v^2}{2} \quad \text{Gl. 3-1}$$

mit

p_{abs} absoluter Druck [mbar] = H_{ges}

p_1 Statischer Druck [mbar] = H_{stat}

$P_2 = \delta \cdot \frac{v^2}{2}$ Dynamischer Druck oder Staudruck [mbar] =

H_{dyn}

(δ = Dichte, v Geschwindigkeit)

Durch eine entsprechende Umrechnung könnte so auch die Geschwindigkeit ermittelt werden, wozu in der Regel ein Staurohr (Prandtl-Rohr) benutzt wird.

Der statische Druck kann nur gemessen werden, wenn die Geschwindigkeit am Piezorohr gleich Null ist. Die Bohrung muss daher gratfrei

angesetzt werden, um die Strömung z.B. durch Wirbelbildung nicht zu beeinflussen.

Folgende Abb.3-1 veranschaulicht den Sachverhalt

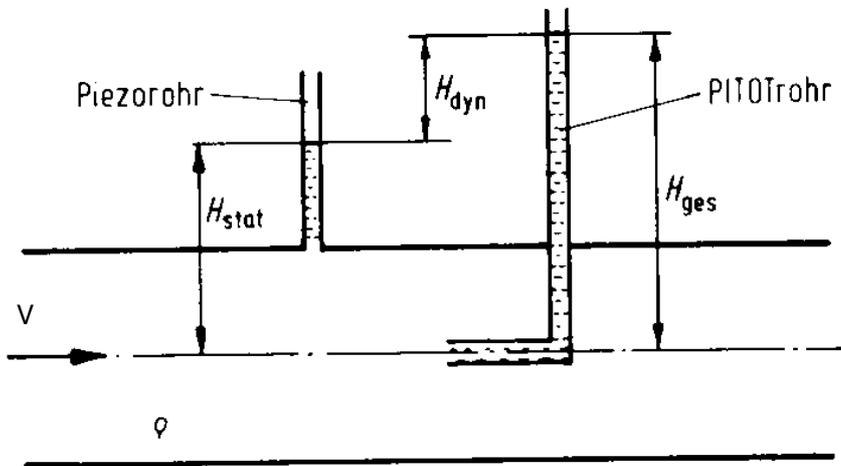


Abb. 3-1: Messen von statischem Druck und Gesamtdruck

Wie bei der Entnahme von Gasproben ist ebenso auf die Dichtigkeit des Messanschlusses zu achten, da dann die Geschwindigkeit nicht mehr gleich Null wäre. Zusätzlich wären Sicherheitsaspekte zu berücksichtigen.

Die Volumenstrommessung wird in den meisten Fällen nicht stationärer Messungen (hierzu gehört die hier erläuterte Überwachungsmethode) über eine Messung der Gasgeschwindigkeit nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\dot{V} = A \cdot v \quad \text{Gl. 3-2}$$

mit

- A Querschnittsfläche
- v Geschwindigkeit

*Geschwindigkeit
über Querschnitt
nicht konstant*

Nun ist die Geschwindigkeit über den Querschnitt, auch bei turbulenter Strömung nicht konstant. Sie lässt sich nach Abb. 3-3

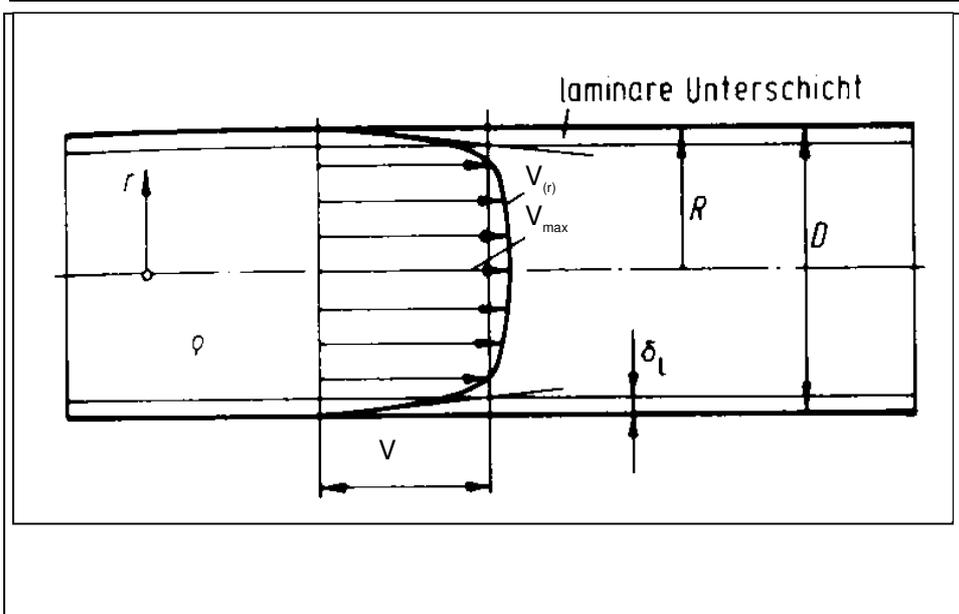


Abb.3-2: Geschwindigkeitsverlauf $v(r)$ bei turbulenter Innenströmung

mit nachstehender Gleichung beschreiben

$$v \cdot (r) = \left(\frac{1-r}{R} \right)^n \cdot v_{\max} \quad \text{Gl. 3-3}$$

Definition von r und R siehe Abb. 3-3.

Für die mittlere Geschwindigkeit gilt vereinfacht, da n ca. $1/7$ ist

$$v = k \cdot v_{\max} \quad \text{Gl. 3-4}$$

n und k können folgender Tabelle 3-1 entnommen werden.

Tab.3-1: Exponent n und Faktor K in Abhängigkeit von der Re- Zahl

Re	$4 \cdot 10^3$	$22,3 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^6$	$(2...3,2) \cdot 10^6$
N	1/6	1/6,6	1/7	1/8,8	1/10
K	0,791	0,807	0,817	0,850	0,865

Somit muss bei der Messung entweder der Geschwindigkeitsverlauf über den Querschnitt ausgemessen werden oder es muss die maximale Geschwindigkeit auf die mittlere Geschwindigkeit umgerechnet werden. Hierzu werden solche Messverfahren eingesetzt, die vergleichsweise

genau an einer bestimmten Position die Geschwindigkeit erfassen (vgl. Abb. 3-3)

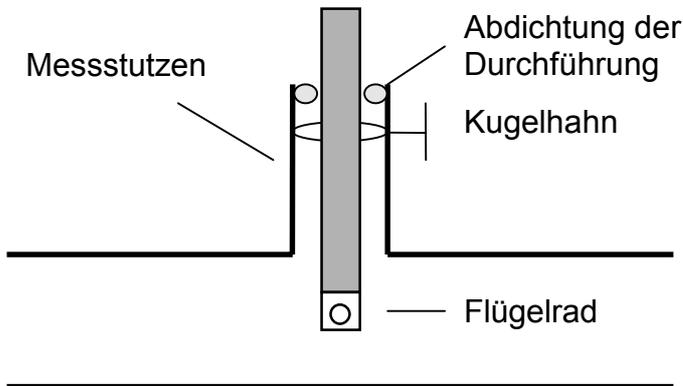


Abb. 3-3: Geschwindigkeitsmessung

Aufgrund von Abb. 3-4 wird deutlich, dass das Messgerät den Querschnitt einengt, sodass es zu einer Geschwindigkeitserhöhung kommt. Dies muss durch einen Korrekturfaktor a_k berücksichtigt werden.

Bei Flügelradmessung Korrekturfaktor berücksichtigen

$$a_k = \frac{A^*}{A} \quad \text{Gl. 3-5}$$

mit

- A^* Fläche unter Berücksichtigung der Querschnittseinengung [m²]
- A Fläche des Rohrquerschnitts [m²]

Treten in einer Rohrleitung Querschnittsänderungen etc. auf, so ändert sich auch die Geschwindigkeit in der Rohrleitung. Dabei treten Übergangszustände auf, was zu einer Änderung der Geschwindigkeitsverteilung in Abhängigkeit von der Länge führt, (vgl. Abb. 3-5). Als Anlaufstelle gilt die Strömungslänge nach

Querschnittsänderungen beachten

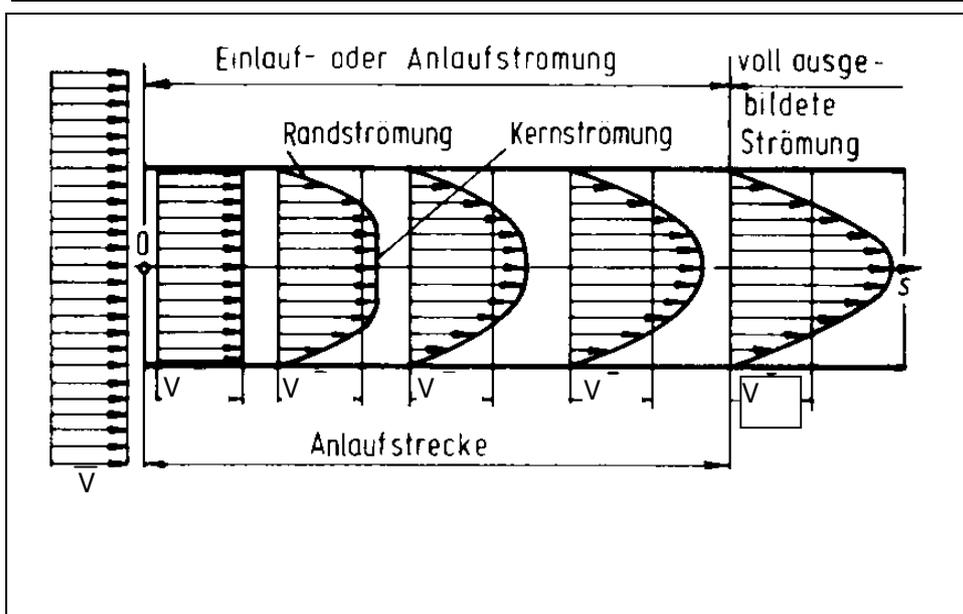


Abb. 3-4: Anlaufströmung

der das Geschwindigkeitsprofil weniger als 1 % vom endgültigen Zustand abweicht. Bei einer turbulenten Strömung ist die Anlaufstrecke L_t abhängig vom Durchmesser (nach Nikuradse):

$$\frac{L_t}{D} = 25 - 50 \quad \text{Gl. 3-6}$$

Bei der Temperaturmessung muss ebenfalls ein Sensor in den Gasstrom eingeführt werden. Die Messanwendung ist der von Abb. 3-6 vergleichbar. Da die Rohrwandung in der Regel durch die Umgebungstemperatur deutlich kühler als die Gastemperatur ist, ergibt sich ein Temperaturprofil über den Rohrquerschnitt (Abb. 3-6).

Temperaturprofil über den Querschnitt

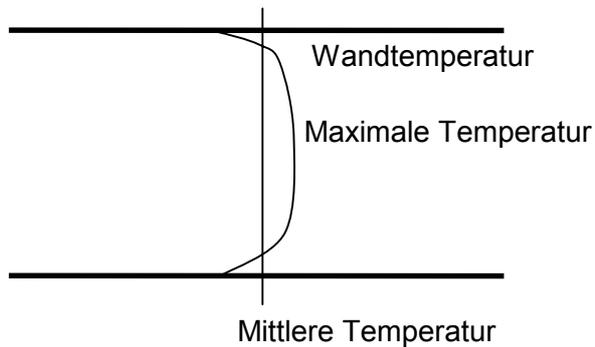


Abb.3-5 Temperaturverteilung über den Querschnitt

Bei den in der Deponieentgasung üblicherweise auftretenden hohen Gasgeschwindigkeiten hat sich in der Regel kein Gleichgewicht zwischen Gastemperatur und Gaswandtemperatur eingestellt. Daher ist die Temperatur des Rohres kein Maß für die Gastemperatur. Somit muss die Gastemperatur direkt im Gasstrom gemessen werden. Erfahrungsgemäß fällt die Temperatur erst dicht an der Rohrwand ab, sodass es genügt, die Temperatur im Zentrum zu erfassen. Hierbei ist wichtig, dass die Messeinheit nicht die Rohrwandtemperatur auf den Sensor überträgt. Ebenso darf keine Luft an der Messstelle eingesaugt werden, da dies zu einer Temperaturveränderung, in der Regel zu einer Abkühlung, führt (Abb. 3-7)

Gastemperatur nicht mit Rohrtemperatur identisch

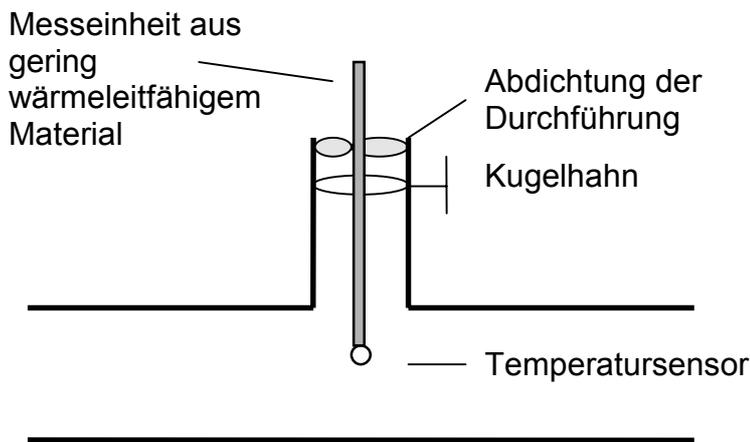


Abb.3.6: Messanordnung zur Temperaturmessung

Die Umrechnung auf ein trockenes Gas unter Normbedingungen erfolgt (vgl. auch Abschnitt 2 bzw. 3) nach folgender Gleichung:

$$\dot{V}_n = \dot{V} \cdot \frac{p_{abs} - p_s}{1013} \cdot \frac{273}{273 + \vartheta} \quad \text{Gl. 3-7}$$

mit

- \dot{V}_n Gasvolumenstrom in trockenem Zustand [...]
- \dot{V} Gasvolumenstrom unter Betriebsbedingungen [...]
- p_{abs} Betriebsdruck [mbar] d.h. atmosphärischer Druck + p_e
- p_e Sättigungsdruck des Wasserdampfes bei Betriebstemperatur ϑ [mbar]
- ϑ Betriebstemperatur [°C]

Wie aus obiger Gleichung ersichtlich, ist ein möglicher Fehler bei nicht durchgeführter Korrektur des Wasserdampfes beträchtlich, bei Temperaturen um 60 °C beträgt dieser ca. 20 %.

Die Feuchte wird in der Regel nicht gemessen, sondern nach Tab. 3-2 entsprechend der Temperatur ermittelt. Hierbei kann davon ausgegangen werden, dass das aus der Deponie strömende Gas wasserdampfgesättigt ist.

Tab. 3-2: Sättigungsdruck des Wasserdampfes in Abhängigkeit der Temperatur

Temperatur °C	Sättigungsdruck mbar	Temperatur °C	Sättigungsdruck mbar
1	6,108	30	42,41
2	6,566	31	44,97
3	7,575	32	47,53
4	8,129	33	50,36
5	8,718	34	53,18
6	9,345	35	56,29
7	10,012	36	59,40
8	10,720	37	62,82
9	11,472	38	66,24
10	12,270	39	69,99
11	13,116	40	73,75
12	14,014	42	81,98
13	14,965	44	91,00
14	15,973	46	100,86
15	17,039	48	111,62
16	18,168	50	123,35
17	19,362	52	136,13
18	20,620	54	150,00
19	21,960	56	165,11
20	23,37	58	181,47
21	24,85	60	199,92
22	26,42	62	218,40
23	28,08	64	239,10
24	29,82	66	261,50
25	31,66	68	285,60
26	33,60	70	311,60
27	35,64	80	473,60
28	37,78	90	701,10
29	40,04	100	1013,3

Wasserdampf-
sättigung prüfen

Wird jedoch die Probe nach der Fördereinrichtung entnommen, liegt aufgrund der Temperaturerhöhung in der Fördereinrichtung keine Wasserdampfsättigung vor. Diese muss anhand der Temperatur vor der Fördereinrichtung bestimmt werden.

3.3 Methodenvorschrift

Der Ablauf der Messungen sollte wie folgt durchgeführt werden:

- a) Wöchentliche Messungen durch Deponiebetreiber vor dem Gassammelbalken in den Sammelstationen und der Gasverdichterstation:
- Aufschrauben bzw. Öffnen des Messstutzens und Anschluss bzw. Ankopplung der Gasentnahmeleitung.
 - Absaugen von Messgas und Messung von $\sigma(\text{CH}_4)$, $\sigma(\text{CO}_2)$ und $\sigma(\text{O}_2)$ mit direktanzeigendem Analysator (vgl. Messverfahren KoM).
 - Durch direkten Anschluss des Druckmessgerätes an den Messstutzen ist sodann die Druckmessung durchzuführen.
 - Durch Einführen eines Temperatursensors in den Messstutzen ist die Temperatur zu erfassen. Die Messstelle ist gasdicht zu halten.
 - Monatlich oder bei signifikanten Änderungen der Gaszusammensetzung oder des Druckes ist die Durchflussgeschwindigkeit zu ermitteln. Dazu wird der Sensor in die Öffnung eingeschoben und positioniert (vgl. Messverfahren DuM). Hierzu sind vor Messbeginn die Abmessungen zu bestimmen und Marken am Gerät anzubringen und zwar sowohl für die Eintauchtiefe als auch für die Richtungsführung. Nach Abschluss ist die Messstelle zu verschließen.
- b) Vierteljährliche Fremdkontrolle
- Wie a) jedoch mit Geschwindigkeitsmessung und zusätzlich:
 - Ermittlung der Gaszusammensetzung und des Unterdruckes unmittelbar an den Gaskollektoren mit $\sigma(\text{O}_2) > 1 \%$.
 - Zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit ist bei allen vertikalen Kollektoren ein evtl. vorhandener Wassereinstau durch Lichtlot zu ermitteln und zu dokumentieren. Dieser Arbeitsschritt darf erst

nach Beendigung der Konzentrationsmessungen erfolgen, um Messwertverfälschungen durch Fremdlufteintritt zu vermeiden.

Die Ergebnisse sind sofort zu dokumentieren. Hierbei sind auch die zusätzlich zu erfassenden Parameter mit einzutragen.

3.4 Auswertung und Dokumentation

Die Vor-Ort-Dokumentation kann entsprechend nachstehender Tabelle erfolgen:

Tab.3-3a: Messprotokoll Wirkungskontrolle an Gaskollektoren bzw. Sammelleitungen

Datum:										
Luftdruck:										
Deponie:										
Mess- - stelle	Uhr- zeit	σ (CH ₄) [%]	σ (CO ₂) [%]	σ (O ₂) [%]	σ (N ₂)* [%]	v (Rohr- mitte) [m/s]	ϑ (Rohr- mitte) [°C]	p _e [mbar]	Probe- nahme ja/nein	Bemer- kung

σ (N₂)* = rechnerisch aus $100 - \sigma(\text{CH}_4) - \sigma(\text{CO}_2) - \sigma(\text{O}_2)$

Tab.3-3b: Messprotokoll Wirkungskontrolle an Gaskollektoren bzw. Sammelleitungen

Anzeigewerte Deponieentgasungsanlage:							
Uhrzeit	σ (CH ₄) [%]	σ (CO ₂) [%]	σ (O ₂) [%]	\dot{V} [m ³ /h]	ϑ [°C]	p _e [mbar]	Bemerkung

Die Auswertung erfolge in mehreren Schritten (vgl. Formblatt):

- Ermittlung der Betriebsgeschwindigkeit (max) durch Korrekturfaktor infolge Querschnittseinengung

$$v_{\max} = v_{\text{gemessen}} \cdot \frac{A^*}{A}$$

- Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit mit

$$v = k \cdot v_{\max}$$

k kann aus oben genannter Tabelle entnommen werden

- Ermittlung des Volumenstroms unter Betriebsbedingungen mit

$$\dot{V} = v \cdot A$$

- Ermittlung des Volumenstroms unter Normbedingungen

$$\dot{V} = \frac{273}{273 + \vartheta} \cdot \frac{p_{abs} - p_s}{1013}$$

mit

$$p = p_{amb} + p_e$$

Umrechnung auf luftfreien Gasvolumenstrom

mit

$$\sigma(N_2) = 100 - \sigma(CH_4) - \sigma(CO_2) - \sigma(O_2)$$

sofern Stickstoff nicht direkt bestimmt wurde

- Ermittlung des spezifischen Wertes der Gasausbeute gemäß

$$\text{Spez. Gasausbeute} = \frac{\dot{V}}{\text{Brunnentiefe}} \text{ in m}^3/(\text{h} \cdot \text{lfd.m})$$

3.5 Bezugswerte

Für eine effektive Gasabsaugung sollte die Methankonzentration in den einzelnen Saugsträngen den Richtwert von 45 % nicht unterschreiten. Längerfristige Überschreitungen führen zur Deponieübersaugung und können unerwünschte Effekte, wie z.B. stark erhöhte Temperaturen durch Kompostierungseffekte bewirken oder bis hin zum Abbruch der Gasproduktion führen. Der Wert für die spez. Gasausbeute sollte bei Betriebsdeponien $> 2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{lfdm})$ sein.

3.6 Fehlerbetrachtung, Querempfindlichkeiten

siehe Abschnitte 1 und 2

3.7 Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers

Der Leiter der Messungen sollte auf dem einschlägigen Gebiet Deponiegas sachverständig sein. Er ist zuständig für die Ausarbeitung des Messplanes, der Angaben zur Durchführung sowie zur Auswertung und Ergebnisdarstellung. Die Mitarbeiter vor Ort sollten sachkundig sein und dies durch die Teilnahme an einem einschlägigen Kurs nachgewiesen haben.

Abschnitt 4

Überwachungsmethode (ÜM 2.4.2.2)

Emissionsmessungen auf endabgedeckten/abgedichteten Deponien oder Deponieabschnitten mittels FID

4.1 Bezug

Die Durchführung dieser Überwachungsmethode ergibt sich aus TA Siedlungsabfall, Abschnitt 4.2 in Verbindung mit Anhang C, Abschnitt 6 „Wirkungskontrolle der Entgasung“. Danach ist die Wirksamkeit der aktiven Entgasung durch regelmäßige Kontrollen nachzuweisen. Auf der Deponieoberfläche und im Deponierandbereich sind bei endabgedeckten (temporären Abdeckungen) und abgedichteten Deponien oder Deponieabschnitten im Rahmen der Fremdkontrolle Deponiegasemissionen jährlich mittels FID (Flammen-Ionisations-Detektor) zu überwachen.

TASi Abschnitt 4.2

*Wirksamkeit durch
regelmäßige Kontrolle
nachweisen*

4.2 Theoretische Grundlagen

Messungen mit dem FID werden an der Geländeoberfläche zur Ermittlung des Ortes und der Intensität von Gasaustritten an der Oberfläche durchgeführt. Bei diesen Gasaustritten ist grundsätzlich in flächige und in punktuelle Emissionen zu unterscheiden.

*Flächige und
punktuelle
Emissionen*

- Bei punktuellen Deponiegasemissionen liegt oft eine Störung in der Abdeckschicht vor. Solche Störungen können z.B. durch Setzungs- oder Schrumpfrisse verursacht sein, aber auch an Durchdringungen der Abdeckschicht im Bereich von Schächten oder Gasbrunnen auftreten. Da bei Deponien in der stabilen Methan- bzw. Langzeitphase aufgrund der stattfindenden Gasbildung ein geringer Überdruck im Ablagerungsinnern gegenüber der Atmosphäre herrscht und die spezifische Gasemission ($l/m^2 \cdot h$) oftmals relativ hoch ist, kann das Deponiegas an diesen Stellen nahezu unverdünnt austreten und durch Vermischung mit Luft je nach Ausbrei-

tungssituation eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre bilden. Darüber hinaus können die im Gas enthaltenen Spurenstoffe Geruchsbelästigungen und das Kohlenstoffdioxid bzw. die Spurenstoffe bei direktem Einatmen Vergiftungserscheinungen verursachen.

- Liegen hingegen flächige Deponiegasemissionen vor, sind die an der Oberfläche vorhandenen Methankonzentrationen und die damit verbundenen Gefahren hinsichtlich Verpuffungen und Bränden meist gering. Hier treten dann verstärkt Fragen hinsichtlich Geruchsbelästigungen und die Ermittlung möglicher Ursachen für Vegetationsausfälle in den Vordergrund.

Die Darstellung des Messprinzips einer FID-Messung zur Ermittlung der Oberflächenemissionen an Deponien kann anhand des nachstehenden Bilanzierungsmodells erfolgen (Abb. 4-1).

Messprinzip der FID-Messung

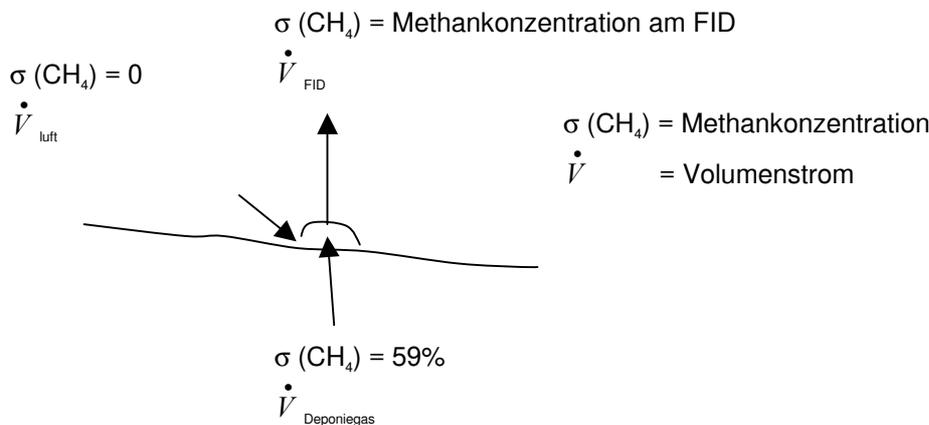


Abb.4-1: Messprinzip bei der FID-Messung

Dabei wird von der Vorstellung ausgegangen, dass die Saugglocke des FID zwar auf die Untersuchungsfläche aufgesetzt wird, jedoch keine Abdichtung gegenüber der atmosphärischen Luft vorhanden ist. Wäre der mit dem Gasspürgerät abgesaugte Volumenstrom genau gleich groß wie der durch die Deponiegasemission an der Saugglocke des Messsystems verursachte Deponiegasvolumenstrom, so wäre die Methankonzentration, die am FID gemessen wird, gleich der Methankonzentration im Deponiegas, d.h. es würde keine zusätzliche Luft (\dot{V}_{Luft}) beim Messvorgang angesaugt werden.

Ansaugung von Luft

Betrachtet man die an Deponien herrschenden realen Verhältnisse und die messgerätespezifischen Eigenschaften, so wird deutlich, dass dieser Fall nicht vorkommt. Die tatsächlich vorhandenen durchschnittlichen flächigen spezifischen Restemissionen liegen in der Größenordnung von 4 l/(m²·h) bis 20 l/(m²·h) bei flachen Deponien (15-30 m) und bis zu 40 l/(m²·h) bei höheren Deponien (> 30 m). Prinzipiell ist mit zunehmender Ablagerungshöhe und steigenden organischem Anteil mit höheren Emissionen zu rechnen. Bei punktuell auftretenden Emissionen konnten in Ausnahmefällen Spitzenwerte bis 1.200 l/(m²·h) ermittelt werden. Gerätetechnisch bedingt benötigt der Flammenionisationsdetektor zur Messung jedoch einen konstanten Messgasvolumenstrom, welcher je nach Fabrikat zwischen 45 – 120 l/h liegt. Bei den meisten FID-Geräten erfolgt die Messgasentnahme an der Geländeoberfläche über eine Saugglocke mit einem Durchmesser von 6-10 cm. Rechnet man den über die Saugglocke entnommenen Volumenstrom auf die Fläche von einem m² um, ergibt sich bei den handelsüblichen Messgeräten eine spezifische Absaugrate im Bereich von 5.700 bis ca. 42.000 l/(m²·h). Hieraus wird ersichtlich, dass die gerätespezifische Messgasmenge deutlich über den auftretenden spezifischen Restemissionen liegt. Daher wird beim Ansaugen des Gases an der Oberfläche bei der Durchführung der Messungen stets Umgebungsluft mit angesaugt, was zu einer entsprechenden Verdünnung führt. Daraus folgt, dass der am FID abgelesene Messwert i.d.R. nicht mit der tatsächlichen Konzentration an der Oberfläche übereinstimmt, sondern wesentlich geringer ist. Dementsprechend lässt sich für die FID-Methode der Messwert wie folgt interpretieren:

*Spitzenwerte bis
1.200 l (m² x h)*

Für die am FID-Analysator durchströmende Methanfracht gilt:

$$\sigma(\text{CH}_4) \cdot \dot{V}_{\text{FID}} = \sigma(\text{CH}_4) \cdot \dot{V}_{\text{Luft}} + \sigma(\text{CH}_4) \cdot \dot{V}_{\text{Deponiegas}}$$

mit

$$\dot{V}_{\text{FID}} = \dot{V}_{\text{Luft}} + \dot{V}_{\text{Deponiegas}}$$

$$\text{hieraus folgt: } \dot{V}_{\text{Deponiegas}} = \frac{\sigma(\text{CH}_4) \cdot \dot{V}_{\text{FID}} - \sigma(\text{CH}_4) \cdot \dot{V}_{\text{Luft}}}{\sigma(\text{CH}_4)}$$

$$\text{angenähert ergibt sich: } \dot{V}_{\text{Deponiegas}} = \frac{\sigma(\text{CH}_4) \cdot \dot{V}_{\text{FID}} - 0 \cdot \dot{V}_{\text{Luft}}}{\sigma(\text{CH}_4)}$$

und bei $\sigma(\text{CH}_4) = 59\% \cong 590.000 \text{ ppm}$ und $\dot{V}_{\text{FID}} = 100 \text{ l/h}$ ergibt sich:

$$\begin{aligned} &= \frac{\sigma(\text{CH}_4) \cdot 100}{590000} \\ &= \frac{1}{5900} \cdot \sigma(\text{CH}_4) \end{aligned}$$

Bei einem FID mit einer Saugglocke $\varnothing d= 0,1$ m ergibt sich ein flächenbezogener Deponiegasvolumenstrom von ca. :

$$\dot{V}_{\text{Deponiegas}} = 0,02 \cdot \sigma (\text{CH}_4) \text{ l}/(\text{m}^2\text{h})$$

Bei einem Messwert von 100 ppm errechnet sich somit

$$\dot{V}_{\text{Deponiegas}} = 0,02 \cdot 100 = 2 \text{ l}/(\text{m}^2\text{h})$$

4.3 Methodenvorschrift

Bei der Durchführung der Emissionsmessungen ist wie folgt vorzugehen:

- Festlegung der Messstellen und der Untersuchungsanordnung:

Randbedingungen festlegen

- Windverhältnisse und Luftdruck

Zur Interpretation der Messergebnisse sind die an den Messtagen herrschenden Temperaturen, Luftdrücke und Windverhältnisse (Richtung und Stärke) zu erfassen. Der Temperatur- und Luftdruckverlauf während des Messzeitraums ist kontinuierlich aufzuzeichnen. Dies kann im Regelfall durch eine auf der Deponie zentral angeordnete Wetterstation erfolgen. Da die Windverhältnisse eine topographische Abhängigkeit aufweisen und lokal sehr unterschiedlich sein können, sind bodennahe Windstärkenmessungen in unmittelbarer Messstellennähe während des Messzeitraumes durch kontinuierliche Messungen zu registrieren. Werden hierbei Windstärken > 4 m/s in Bodennähe ermittelt, sind die Messungen zu unterbrechen bzw. abubrechen. Das Auftreten böiger Winde bei der Messdurchführung ist im Messbericht gesondert zu vermerken.

Messungen unterbrechen

- Bodenverhältnisse an der Geländeoberfläche und Niederschläge

Zur Interpretation der Messergebnisse sind die an den Messtagen vorliegenden Bodenverhältnisse zu charakterisieren. Hierbei sind die Vegetationsverhältnisse zu beschreiben und eine Unterscheidung zwischen abgedeckten und nicht abgedeckten Bereichen vorzunehmen. Die im Bereich der Messpunkte auftretenden Besonderheiten wie Setzungs- oder Schrumpfrisse etc. sind im Messbericht zu vermerken. Darüber hinaus ist der Oberboden flächig in trocken, feucht und vernässt zu klassifizieren.

Bei hohen Windstärken Bodenverhältnisse und Niederschläge charakterisieren

Bei starker Vernässung des Bodens oder bei Niederschlag kann keine Messung erfolgen. Die Messung ist abubrechen und kann auch nicht am gleichen Tag fortgesetzt werden.

- Durchführung

Vor Messbeginn sind Planunterlagen mit der Einteilung der Messflächen zu erstellen. Auf diesem Plan werden bei Messdurchführung die an Ort und Stelle ermittelten Konzentrationswerte eingetragen.

Befindet sich auf den zu begehenden Flächen hoher Grasbewuchs, ist dieser vor Messbeginn abzumähen.

*Grasbewuchs
abmähen*

Wie anhand verschiedener Untersuchungen und Auswertungen ermittelt werden konnte, nimmt das Messsignal mit zunehmendem Abstand zwischen Saugglocke und Geländeoberfläche ab. Um diesen Einfluss bei der Messdurchführung auszuschließen, muss die Saugglocke von Hand auf den Untergrund aufgesetzt und leicht aufgedrückt werden.

Die Durchführung der FID-Begehung muss sich auf den gesamten Ablagerungskörper beziehen und muss insbesondere auch in den Böschungsbereichen erfolgen. Nicht abgedeckte Ablagerungsbereiche können nicht mit der FID-Methode untersucht werden.

Es wird empfohlen, dass zur Erzielung einer ausreichenden Messpunktanzahl die Gesamtfläche in quadratische Teilflächen mit einer maximalen Rasterlänge von 25 m unterteilt wird. Es wird empfohlen, im Böschungsbereich die maximale Rasterlänge auf 12,5 m zu reduzieren.

*Rasterflächen 25 m x
25 m auf ebenem
Gelände und 12,5 m x
12,5 m im Böschungsbereich*

In jeder Teilfläche sind an mindestens einem Punkt Gaskonzentrationsmessungen an der Geländeoberfläche durchzuführen. Bei Werten > 100 ppm sind zusätzliche Messpunkte zur Eingrenzung der räumlichen Ausdehnung erforderlich. Hierbei wird ein Abstand der Messpunkte im Bereich von maximal 2,5 m empfohlen.

Die Messdauer muss an jedem Messpunkt mindestens 60 s betragen. Eine Reduzierung dieser Messdauer ist nur möglich, wenn die gerätespezifische T_{90} -Einstellzeit der gesamten Messanordnung dies zulässt, sie muss also bekannt und dokumentiert sein. Zur Minimierung äußerer atmosphärischer Einflüsse sollte die Messdauer von 15 s an den Messpunkten jedoch nicht unterschritten werden.

*Messdauer
mindestens 60 s*

Bei der Durchführung von FID-Begehungen ist auf das Auffinden punktueller Gasaustritte in den Rasterfeldern besonders zu achten. Das hierzu erforderliche visuelle Erkennen von Stellen mit erhöhten Konzentrationen ist nur mit geschultem und erfahrenem Messpersonal möglich. Daher darf zur Messung nur sachkundiges Personal eingesetzt werden.

*Auffinden
punktuelle
Gasaustritte*

Hinweise zum Arbeitsschutz:

Allgemeine Handlungsanweisungen
<p>Vorbereitung</p> <ul style="list-style-type: none"> • der Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan ist vom Auftraggeber selbst oder in dessen Auftrag zu erstellen und sollte Bestandteil der Ausschreibungsunterlagen sein • die Erfordernis und der Umfang einer arbeitsmedizinischen Betreuung ist mit einem Arbeitsmediziner abzustimmen • alle bei den Erkundungen Beteiligten sind vor Beginn über die Örtlichkeiten, die deponiespezifischen Bedingungen und Gefährdungen, die Sicherheitsbestimmungen, den Brandschutz und Rettungswege zu unterweisen (schriftliche Bestätigung) • Vorzuhalten sind: • Wasser, Reinigungsmittel, Papierhandtücher, Hautschutzcreme • Erste-Hilfe-Material • Augendusche • Behältnisse für benutzte Ausrüstungen
<p>Durchführung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • vor Beginn der täglichen Erkundungen ist die Schutzausrüstung auf Funktionsfähigkeit zu prüfen • grundsätzlich gilt ein Alleinarbeitsverbot – Ausnahme: Begehungen • beim Auftreten unerwarteter Ereignisse (starke Gasemissionen, Sickerwasseraustritte, Setzungen etc.) haben die Beteiligten den Gefahrenbereich umgehend zu verlassen und die Aufsichtsperson zu verständigen • auf der Altablagerung besteht striktes Trink-, Eß- und Rauchverbot. Trinken und Essen ist nur außerhalb der Altablagerung und nur nach Ablegen evtl. Schutzkleidung und Reinigung der Hände gestattet • jegliche Tätigkeiten, die zu Flammen- oder Funkenbildung führen können, sind zu vermeiden. Dies gilt auch für Personal in Fahrzeugen • direkter Kontakt mit dem Müllkörper und austretendem Sickerwasser ist zu vermeiden. Ebenso sind Stellen, an denen offensichtlich ver-

<p>stärkt Deponiegas austritt (Vegetationsschäden, Risse), zu meiden</p> <ul style="list-style-type: none"> die Arbeiten sind messtechnisch zu begleiten, an offensichtlichen Gasemissionsquellen haben die Arbeiten möglichst von der dem Wind zugewandten Seite zu erfolgen
<p>Beendigung:</p> <ul style="list-style-type: none"> nach Beendigung der täglichen Erkundungen ist die Schutzausrüstung zu reinigen und auf Funktionsfähigkeit zu prüfen

standortspezifische Situation	
Überwachungsmethode	Emissionsmessung
Oberflächenabdeckung:	Vorhanden
Deponietyp:	Haus- und hausmüllähnlicher Gewerbe- und Industriemüll / Haus- und hausmüllähnlicher Gewerbe- und Industriemüll mit begründetem Verdacht auf Abfälle nach §2, Abs. 2 AbfG

Anmerkung: Zusätzlich sind die allgemeinen Handlungsanweisungen zu beachten!

Persönliche Schutzausrüstung
<ul style="list-style-type: none"> Bauschutzschuhe (P3) Halbmaske mit Wechselfilter (min. Klasse A2B2P3) am Mann, falls Stellen begangen werden, an denen vermutlich erhöhte Schadstoffemissionen (Staub, Gase) stattfinden

Messtechnik
<ul style="list-style-type: none"> PID-Messung, falls Stellen begangen werden, an denen vermutlich erhöhte Schadstoffemissionen stattfinden

Technische und organisatorische Schutzmaßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> siehe allgemeine Handlungsanweisungen

zusätzliche Verhaltensregeln:
<ul style="list-style-type: none"> keine

Beendigung der Arbeit:
<ul style="list-style-type: none"> Reinigung bzw. Entsorgung der Schutzausrüstung

4.4 Auswertung und Dokumentation

Alle Randbedingungen der Messungen und die ermittelten Werte sind in einem Messbericht zu dokumentieren. Aus Gründen der Qualitätssicherung sind hierbei insbesondere die eingesetzten Geräte, deren Kalibrierdaten und das eingesetzte Messpersonal zu benennen.

Die Linearität des Messsignals ist im relevanten Messbereich (i.d.R. 10 bis 2.000 ppm) halbjährlich zu überprüfen. Der letzte Termin dieser Überprüfung ist im Ergebnisbericht der FID-Begehung zu dokumentieren.

Linearität prüfen

Um eine korrekte Bewertung der ermittelten Ergebnisse zu ermöglichen, muss die Beprobung an der Geländeoberfläche mit bekanntem und konstantem Durchfluss erfolgen. Daher ist zu Beginn und am Ende eines Arbeitstages der Messgasdurchfluss des Gesamtsystems zu überprüfen. Je nach Typ und Alter zum Betrieb des Messgerätes eingesetzten Akkus empfiehlt es sich diese Kontrollmessungen bereits in kürzeren Zeitintervallen durchzuführen. Sollte hierbei eine Abweichung vom anfänglichen Volumenstrom von > 10 % auftreten, sind die Akkus auszutauschen bzw. aufzuladen und die Abweichung im Messprotokoll zu vermerken.

Durchfluss prüfen

Die an den einzelnen Messpunkten ermittelten Methankonzentrationen sind tabellarisch darzustellen, fortlaufend zu nummerieren und tagesweise zusammenzufassen. Hierbei ist jeweils die Start- und Endzeit der Begehung anzugeben.

Start- und Endzeit angeben

Die Lage der Messpunkte ist in einen Lageplan der Deponie einzutragen. Da es für die Bewertung der Messungen zweckmäßig ist, Flächen mit gleichen oder ähnlichen Messwerten zu kennzeichnen, sind die in den einzelnen Teilflächen ermittelten Konzentrationen einer Emissionsklasse zuzuordnen. Flächen in denen gleiche Emissionsklassen gegeben sind, sind entsprechend darzustellen und in einen zweiten Lageplan einzuarbeiten. Damit werden die Bereiche an der Altablagerung/Deponie mit erhöhten Emissionen identifiziert. Die Unterteilung der Emissionsbereiche soll unter der Prämisse erfolgen, auftretende Belastungen (Geruch) und Gefahren durch Deponiegase frühzeitig erkennen

Flächen gleicher Emissionsklassen kennzeichnen

zu können. Daher sind die umseitig aufgeführten Konzentrationsbereiche zu unterscheiden. Für die Darstellung der Emissionsbereiche werden nachstehende Farben bzw. Schraffuren empfohlen:

Konzentrationsbereich FID-Signal auf $\sigma(\text{CH}_4)$ kalibriert	Emissionsklasse	Beschreibung	Schraffur
< 10 ppm	I	keine bzw. geringfügige Gasemission	
10 – 100 ppm	II	gering bis leicht erhöhte Gasemission	
101 – 1000 ppm	III	erhöht bis hohe Gasemission	
> 1.000 ppm	V	starke bis sehr starke Gasemission	

Die Ergebnisse sind in das Formblatt gemäß [DepSüVO] einzutragen. Durch Interpolation sind die Flächen gleicher Konzentrationsbereiche nach folgender Einteilung zu bestimmen:

	<	100
101	-	500
501	-	1000
1001	-	2000
2001	-	5000
5001	-	10000
	>	10001

Die angegebenen Konzentrationsbereiche gelten für eine Ermittlung mit einem FID-Messgasvolumenstrom von 100 l/h und einen Saugglocken-Durchmesser von 7,5 cm. Erfolgt die Messung unter anderen gerätespezifischen Bedingungen, sind die Konzentrationsbereiche durch Korrekturfaktoren anzupassen. Dieser gerätebedingte Korrekturfaktor ist an

*Saugglocken-
durchmesser
beachten*

einer Prüfeinrichtung zu ermitteln. Der Faktor sollte hierbei für einen Emissionsvolumenstrom von 5 l/m²·h bei einer max. zulässigen Abweichung von 10 % ermittelt werden. Als Prüfgas sollte ein Mischgas mit einer CH₄-Konzentration von 60 % einer CO₂-Konzentration von 35 % und einer N₂-Konzentration von 5 % eingesetzt werden. Die Ermittlung des gerätespezifischen Faktors ist in mindestens 3 voneinander unabhängigen Messungen durchzuführen, jährlich zu wiederholen und in der Prüfmittelkartei zu dokumentieren. Diese Prüfeinrichtung kann auch zur Linearitätsprüfung des FID eingesetzt werden. Hierbei sind dann spezifische Durchflüsse von 5, 10 und 20 l/m²·h einzustellen. Somit entfällt eine Überprüfung der Linearität mit Prüfgasen unterschiedlicher Konzentrationen.

*Prüfmittelkartei
führen*

Um eine vernünftige Interpretation der ermittelten Ergebnisse zu gewährleisten, sollte der Entgasungszustand des Deponiekörpers bei der Bewertung berücksichtigt werden. Hierzu sind Kenntnisse über die Gasqualität und abgesaugte Gasmenge der Einzelkollektoren zum Zeitpunkt der FID-Messung erforderlich.

4.5 Fehlerbetrachtung, Querempfindlichkeiten

Generell lassen sich die möglichen Beeinflussungsfaktoren auf die Ergebnisse einer FID-Begehung wie folgt unterteilen:

Verschiedene
Einflussfaktoren

Deponiespezifische Gegebenheiten:

- Emittierte Gasmengen sind lokal sehr unterschiedlich, z.B. kann Deponiegas an Rissen in der Abdeckschicht und besonderen Austrittsstellen wie Schächten etc. verstärkt austreten und in geringem Abstand davon an der Oberfläche nicht mehr feststellbar sein.

Äußere Einflüsse

- Windgeschwindigkeit beeinflusst Messergebnisse,
- Luftdruckänderungen können Änderung der freigesetzten Gasmenge bewirken,
- durch aus Niederschlag resultierende variierende Bodenfeuchte können bevorzugte Strömungswege für Deponiegas entstehen, sodass es zu örtlich unterschiedlichen Emissionen kommen kann,

- Wasserflächen auf der Ablagerungsfläche oder Temperaturen unter dem Gefrierpunkt können gasundurchlässige Bereiche verursachen,
- andere Emissionsquellen von detektierbaren Gasen, z.B. Kfz-Abgase, Treib- und Brennstofftanks oder Farb-, Lack und Lösemittel aus beschichteten Oberflächen und Lagerbehältern, stark ausgasendes mitunter organisches Material.

Messgerätespezifische Gegebenheiten:

- Es kann zu einem Abdriften des Nullpunktes während des Zeitraums der Messung kommen.
- Volumenstrom der Messgasentnahme ist über den Zeitraum der Messung nicht konstant.
- Es kann beim Geländeeinsatz zu Instabilitäten des Messsignals auf Grund von Erschütterungen kommen.
- Es kann durch Anstoßen oder Erschütterungen zu einem versehentlichen mechanischen Verstellen des Nullpunktes kommen.

Unsicherheiten bei der Messdurchführung:

- Das Erreichen der gerätespezifischen T_{90} -Einstellzeit wird bei den Messungen nicht abgewartet.
- Die Absaugglocke wird an den einzelnen Messpunkten in unterschiedlicher Höhe platziert.
- Die Messglocke wird mit unterschiedlichem Druck auf der Messoberfläche aufgesetzt.
- Das Probenahmesystem weist Undichtigkeiten auf.
- Unterschiedlich „dichtes“ Aufsetzen der Messglocke.
- Unzureichende Anzahl von Messpunkten.
- Bei Wiederholungsmessungen können die ursprünglichen Messpunkte in der Regel nicht exakt wiedergefunden werden.

4.6 Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers

Der Leiter der Messungen sollte auf dem einschlägigen Gebiet Deponiegas sachverständig sein. Er ist zuständig für die Ausarbeitung des Messplanes, der Angaben zur Durchführung sowie zur Auswertung und Ergebnisdarstellung. Die Mitarbeiter vor Ort sollten sachkundig sein und Kenntnisse im Umgang mit Deponiegas aufweisen.

Abschnitt 5

Überwachungsmethode (ÜM 2.4.3)

Gasmigrationsmessungen im Deponieumfeld mit Gaspegeln

5.1 Bezug

Die Durchführung dieser Überwachungsmethode ergibt sich aus TA Siedlungsabfall Anhang C, Abschnitt 6: Wirkungskontrolle der Entgasung „Die Deponiegasfreiheit im Deponieumfeld wird in Gaspegeln überprüft. Der Abstand der Pegel untereinander, die die gaswegsames Schicht erschließen müssen, darf höchstens 50 m betragen. Zur Migrationskontrolle gedichteter Deponien sind größere Abstände ausreichend.“ Ziel dieser Überwachungsmethode ist es somit, die aus einer Deponie über dem Untergrund austretenden Gase repräsentativ zu erfassen.

*TASi Anhang C,
Abschnitt 6,
Wirkungskontrolle*

5.2 Theoretische Grundlagen

Aus Abb. 5-1 wird ersichtlich, dass für Porengaskonzentrationsmessungen vor allem für die Konzeption hinsichtlich Art und Anzahl von Messstellen die Tatsache entscheidend ist, dass sich im Deponiekörper Porengasgradienten einstellen. Damit ist die Verteilung des Gases grundsätzlich dreidimensional zu betrachten. Eine Messung, die diesen Sachverhalt nicht berücksichtigt, gibt den Zustand der Gasphase im Boden nicht repräsentativ wieder und führt infolgedessen zu Fehlinterpretationen.

Porengasgradienten

*Dreidimensionale
Verteilung*

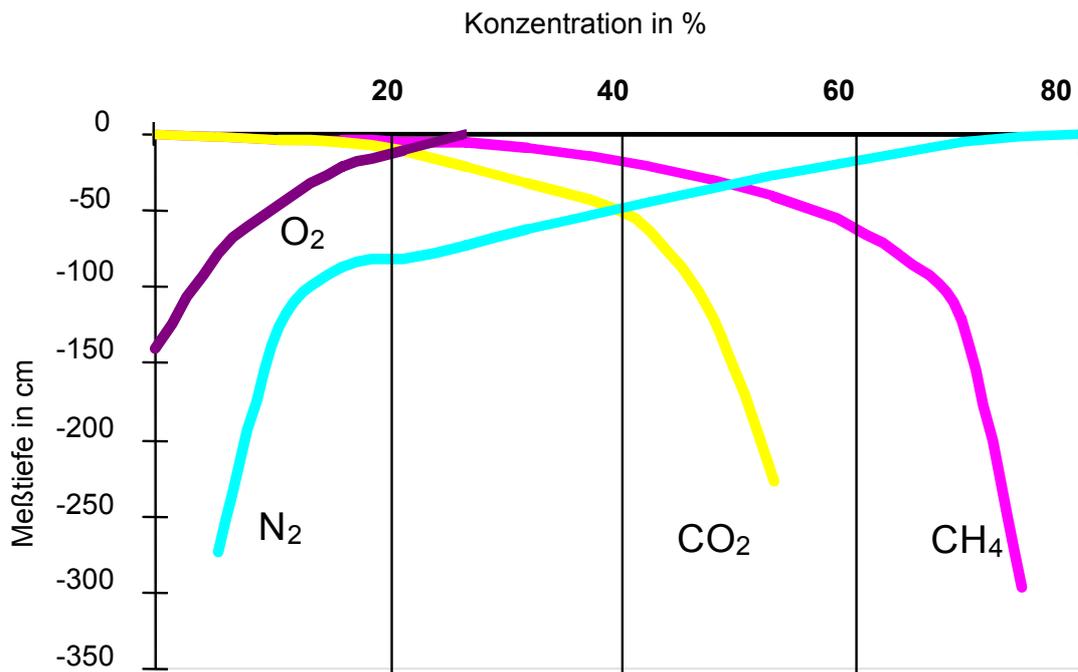


Abb.5-1 Beispiel für Porengasgradienten im Umfeld einer Deponie

Die Ermittlung der in einem bestimmten Bodenvolumen vorhandenen Gaszusammensetzung setzt also voraus, dass genau dieses Volumen entnommen und analysiert wird. Da eine ungestörte Bodenprobe nicht möglich ist, wird in der Regel das entsprechende Bodenvolumen abgesaugt. Hierzu wird in den Untergrund ein Hohlraum eingebaut (Abb.5-2)

*Ortsbezogene
Beprobungen
erforderlich*

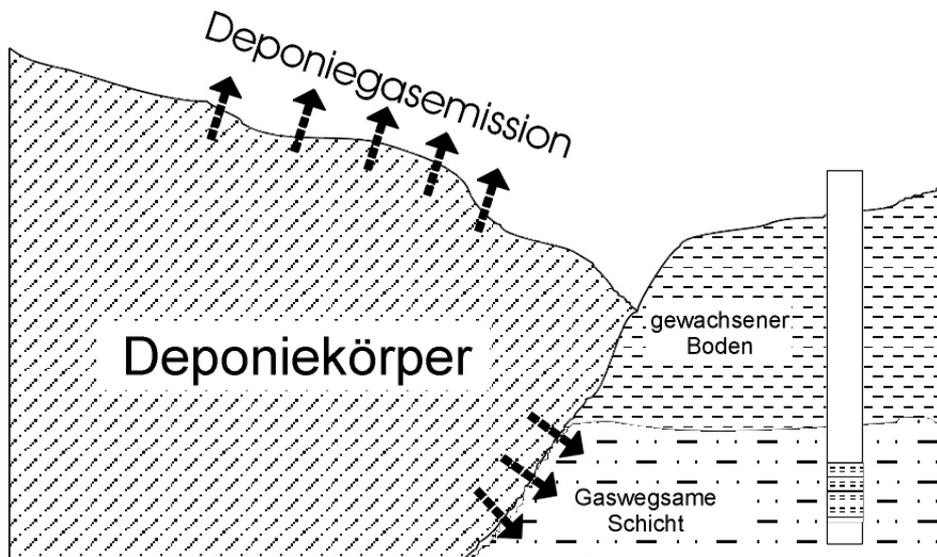


Abb.5-2: Prinzipielle Anordnung der Gasentnahmestelle bei der Gasmigrationsmessung

Um den Gradienten möglichst genau zu erfassen müsste also das Volumen der Messstelle bzw. die Länge des perforierten Rohrteiles möglichst klein sein. Da diesem probenahmetechnische Anforderungen entgegenstehen, wird für den perforierten Teil zumeist 0,30-0,50 m gewählt.

Nach dem Einsetzen des Pegels ist dieser natürlich mit atmosphärischer Luft gefüllt. Damit kommt es naturgemäß zu einer Veränderung der Bodenluft. Aufgrund von Diffusionsvorgängen wird sich im Boden bzw. im Pegel ein Gleichgewichtszustand einstellen, der somit dazu führt, dass Pegelvolumen und Bodenluft etwa gleiche Zusammensetzung aufweisen. Folgedessen müsste nunmehr das Pegelvolumen analysiert werden. Zur Analyse des Gases muss also dem Pegel ein genau bestimmtes Gasvolumen entnommen werden. Entsprechend der Gasentnahme wird dann aber dem Bodenvolumen Gas zuströmen. Da die Böden selten homogen sind, wird dem Pegel somit entweder Gas aus horizontalen Schichten oder auch aus tiefer- oder höherliegenden Schichten zuströmen. Dies hätte zwangsläufig zur Folge, dass die Probe verfälscht

*Gleichgewichts-
zustand abwarten*

*Definiertes Gasvo-
lumen entnehmen*

würde. Je nachdem, aus welchen Bereichen die Zuströmung stattfindet, käme es z.B. bei der Methankonzentration zu einer Werterniedrigung (Gas aus oberen Bereichen) oder Werteerhöhung (Gas aus tieferen Bereichen).

Von grundlegender Wichtigkeit bei der Durchführung von Porengaskonzentrationsmessungen sind daher zwei Punkte.

- Die Gasprobe muss aus einem definierten Tiefenbereich stammen.
- Die Probenahme, aber auch die Messstelle selbst, dürfen den Zustand der Gasphase in der Deponie/im Boden nicht stören.

*Messstelle stört
Gasphase nach
Erstellung*

Daher sind folgende Punkte wesentlich:

- Nach Errichtung der Messstelle muss daher bis zur Durchführung der Probenahme solange abgewartet werden, bis sich wieder der ursprüngliche Ausgangszustand der Gasphase im Untergrund eingestellt hat.
- Um den Porengaskonzentrationsgradient zu erfassen, ist es erforderlich, die Messstelle mit mehreren Ausbautiefen auszubauen.
- Die Probeentnahme darf den Gradienten nicht beeinflussen.

*Beprobungen ver-
schiedener Tiefen
ggfl. erforderlich*

Werden Messstellen zur Ermittlung der Porengaskonzentration abgeteuft, so sind daher folgende Punkte zu beachten:

- Wird bei den Messstellen nur ein Entnahmehorizont ausgebaut, können keine Gradienten ermittelt und somit u.U. nicht repräsentative Konzentrationsverhältnisse angetroffen werden. Folgende Fehlermöglichkeiten ergeben sich hierbei:

- Die Messstellen sind zu flach:
Es werden Luftanteile gemessen, die ermittelten Werte werden als zu gering eingestuft und ein evtl. vorhandener Handlungsbedarf (z.B. für Keller, Schächte etc.) wird nicht erkannt.
- Die Messstellen sind zu tief:
Es wird ein zu hoher Methangehalt vorgetäuscht, die ermittelten Werte werden als zu hoch eingestuft und der daraus abgeleitete Handlungsbedarf ist vielleicht übertrieben.
- Die eingebaute Filterstrecke ist zu groß:
Bei Beprobung der Messstelle wird ein Mischgas abgesaugt, welches eine Mischung aus der über die Oberfläche eindringenden Luft und dem Deponiegas darstellt. Dies kann z.B. der Fall sein, wenn bei einer

4 m tiefen Messstelle die unteren 3 m als Filterstrecke ausgebaut sind. Auch hier kann, wie bei Punkt 1 dieser Aufzählung, ein evtl. Handlungsbedarf unerkannt bleiben.

5.3 Methodenvorschrift

Da Porengasgradienten zu ermitteln sind, müssen die Messstellen tiefendifferenziert ausgeführt werden. Sie sind ggf. in den Randbereichen so zu platzieren, dass auch unterschiedliche Entfernungen von der Deponie erfasst werden. Die geologischen Verhältnisse sind hierbei zu berücksichtigen, insbesondere ist im Messplan auf gaswegsame Schichten wie Sande oder Kiese einzugehen.

Für tiefendifferenzierte Untersuchungen haben sich Untersuchungstiefen von 2, 4 und 6 m bewährt. Bei Grubendeponien ist im Zusammenhang mit den geologischen Verhältnissen zu prüfen, ob tiefere Messstellen erforderlich sind, um Migrationen im Bereich der Deponiesohle erfassen zu können. Der Ausbau erfolgt hierbei mit 1“ oder 5/4“-Rohren. Die einzelnen Entnahmehorizonte müssen gegeneinander durch Tondichtungen abgedichtet sein. Abb. 5-3 zeigt als Beispiel einen dreifach tiefendifferenzierten Messstellenausbau. Die genauen Tiefen der einzelnen Messstellen müssen in jedem Fall unter Berücksichtigung ortsspezifischer Gesichtspunkte, wie z.B. Tiefe der Ablagerung oder Mächtigkeit der Abdeckschicht, im Detail festgelegt werden.

Messstellenausbau

Prinzipiell stehen zum Niederbringen der Messstellen folgende Verfahren zur Verfügung:

- Direktes Einrammen der Filter- bzw. vollwandigen Rohre
- Herstellen eines Bohrloches z.B. durch
 - Rammkernbohrung
 - Schnecken- oder Kernbohrverfahrenund anschließendem Ausbau mit Filter- bzw. vollwandigen Rohren.

Die einfachste und kostengünstigste Möglichkeit der Errichtung von Messstellen ist die Durchführung von Rammkernsondierungen bzw. das Einrammen von Stahlsonden. Aufgrund der bei Deponien häufig anzutreffenden hohen Eindringwiderstände eignen sich die beiden beschriebenen Verfahren nur für die Errichtung flacher Pegel. Bei gerammten Stahlsonden können keine Aussagen zur Untergrundbeschaffenheit

gewonnen werden. Außerdem sind diese teurer als Messstellen mit HDPE- oder PVC-Rohren, die in Bohrlöcher eingesetzt werden.

Bewährt hat sich auch das Einrichten von Messstellen mittels Kernbohrverfahren. Durchmesser von mehr als 178 mm können entsprechend

Abb. 5-3 problemlos tiefendifferenziert ausgebaut werden. Um Bohrtiefen von 6 m zu erreichen, ist ein schweres Bohrgerät erforderlich, welches auf geländegängigen Fahrzeugen oder Selbstfahrlafetten montiert ist. Bei leichten Kleinbohrgeräten reichen oftmals der Anpressdruck bzw. das Eigengewicht und das Drehmoment des Bohrgerätes nicht aus, um die erforderlichen Bohrtiefen zu erreichen.

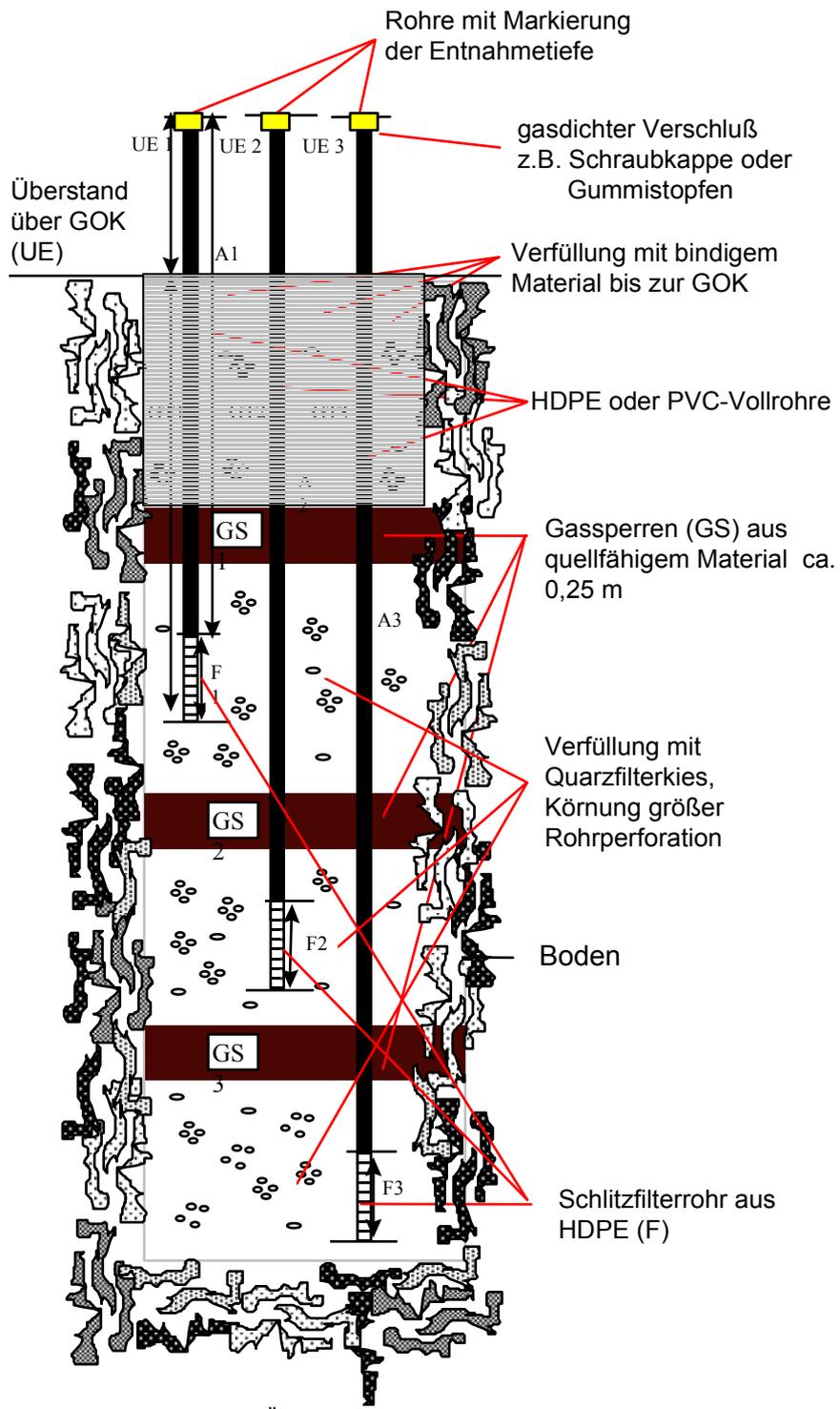


Abb.5-3: Beispiel eines tiefendifferenzierten Bodenluftmessstellenausbaus

Unmittelbar nach dem Messstellenausbau sollte ein Austausch des Messstellenvolumens erfolgen. Hierbei sollte bei einer Absaugrate im Bereich von 2 bis 4 l/min ein 5-facher Luftaustausch des Messstellenvolumens (Produkt aus Bohrtiefe mal Bohrdurchmesser) erfolgen.

Austausch des Messstellenvolumens

Zur Gewinnung repräsentativer Daten aus tiefendifferenzierten Messstellen bei Messstellen zur Ermittlung von Gasmigrationen im Umfeld von Deponien muss eine Mindeststandzeit zwischen Messstellenausbau und Beprobung von 1 Woche eingehalten werden. Empfehlenswert ist ein Zeitraum von 2 Wochen. Während dieser Zeit ist die Messstelle mit einer dichtschießenden Kappe zu versehen.

Mindeststandzeit erforderlich

Eine Auswertung der Ergebnisse von Deponiegasmessungen an Messstellen zeigte, dass eine Beprobung unmittelbar nach Errichtung der Messstelle falsche Ergebnisse liefert. Durch die für die Errichtung der Messstellen erforderlichen Eingriffe in den Untergrund (Abteufen des Bohrloches bzw. der Sondierung, Einbringen der Messstellenrohre) kommt es zu einem Lufteintrag in den Untergrund.

Im Rahmen verschiedener durchgeführter Untersuchungsprogramme konnte festgestellt werden, dass mit zunehmender Standzeit der Bodenluftmessstelle die Streuung der Summenkonzentrationen deutlich abnimmt.

Der Aufbau der Messeinrichtung sollte grundsätzlich so erfolgen, dass die im Analysator integrierte Pumpe das Proben gas aus der Druckseite der Messgaspumpe ansaugt. Hierdurch können Verfälschungen der Messgenauigkeit durch den entstehenden Unterdruck in der Ansaugleitung ausgeschlossen werden. Abb. 5-4 zeigt schematisch den Messaufbau.

Aufbau der Messeinrichtung

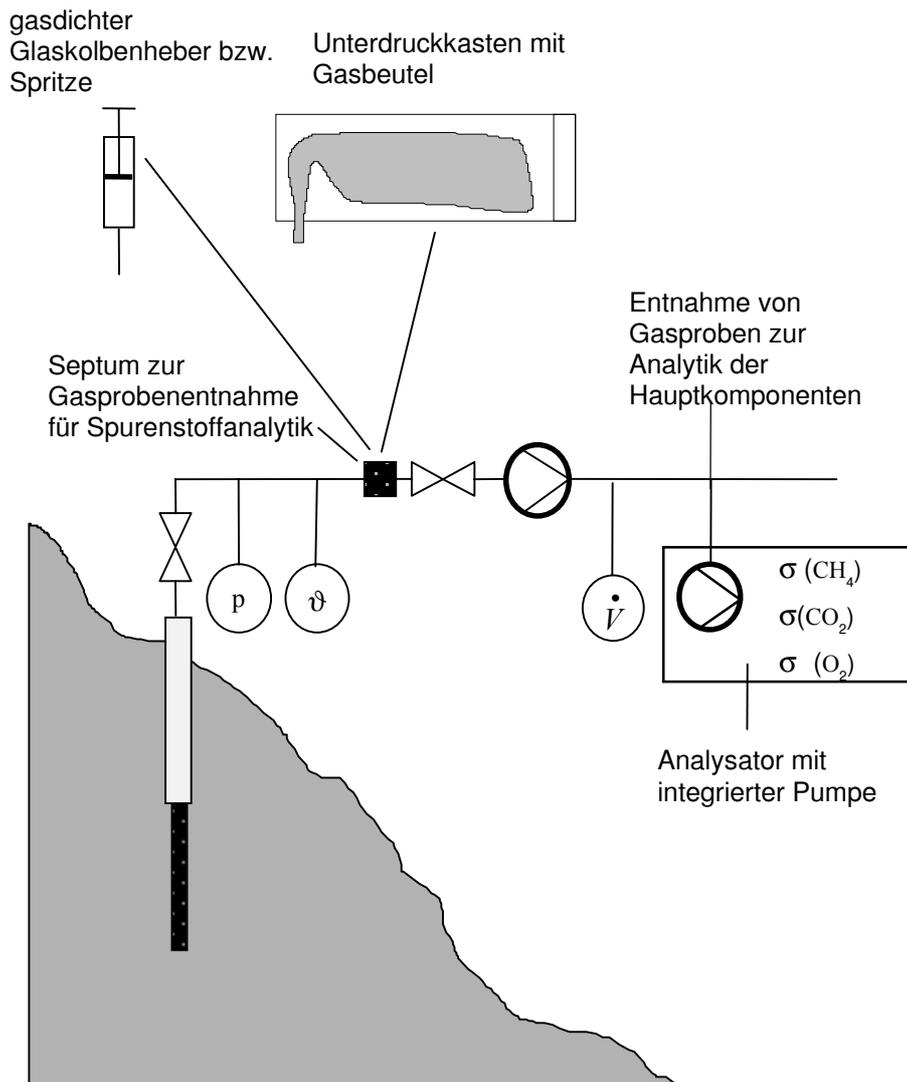


Abb. 5-4: Messaufbau zur Durchführung von Deponiegasmessungen und Entnahme von Gasproben an Bodengasmessstellen

Wie in der Abbildung dargestellt, hat die Probenahme zur Untersuchung von Spurengasen zur Vermeidung von Messwertverfälschungen auf der Saugseite der Absaugpumpe zu erfolgen.

Ablauf der Messungen

Ermittlung des Ruhedruckes in der Bodenluftmessstelle

Vor Beginn jeder Probeentnahme sollten Messungen des Ruhedruckes in der Messstelle durchgeführt werden. Hierdurch können zusätzliche Erkenntnisse über den Gashaushalt in der Ablagerung gewonnen wer-

Ruhedruckbestimmung

den. Da erfahrungsgemäß nur sehr geringe Differenzdrücke im Ruhezustand auftreten und auch zur Probenahme nur Drücke im Bereich von wenigen Pa erforderlich sind, sollte zur Druckmessung ein Gerät mit einer Auflösung und Reproduzierbarkeit im Pascal-Bereich eingesetzt werden.

Gasaustausch in der Bodengasmessstelle und Ermittlung des Messgasstromes

Vor der Gasprobenentnahme muss ein einfacher Volumenaustausch des in der Messstelle vorhandenen Gasvolumens (Produkt aus Bohrtiefe mal Bohrdurchmesser) erfolgen, sodass möglichst kein atmosphärischer Lufteintrag erfolgt. Dieser Volumenaustausch sollte mit einem Gasvolumenstrom von 2 l/min erfolgen. Bei größeren Bodenluftmessstellenvolumina, etwa ab 20 l können ausnahmsweise auch Volumenströme bis 6 l/min angewendet werden.

Einfacher Volumenaustausch

Nach Aufschrauben des Messstellenverschlusses und Anschluss der Mess- oder Probenahmeeinrichtungen kann es zu einem Lufteintrag in den Messstellen und zu einer Verdünnung der Gaskonzentrationen kommen. Bei Untersuchungen wurde ermittelt, dass ab einer Austauschmenge des einfachen Messstellenvolumens dieser Einfluss vernachlässigt werden kann und eine ausreichende Konstanz der Messwerte vorliegt.

Ermittlung der Temperatur und des Saugdruckes

Zur Beschreibung des physikalischen Gaszustandes ist die Erfassung der Temperatur und des Gasdruckes erforderlich. Durch die Registrierung des Saugdruckes können zusätzliche Aussagen über die Funktionsfähigkeit der Messstelle getroffen werden. Hohe und sich aufbauende Unterdrücke weisen z.B. auf ein Verstopfen des Filterrohres oder einen Wassereinstau hin.

Ermittlung der Hauptkomponenten durch tragbare Analysatoren

Die Bestimmung der Deponiehauptgase erfolgt i.d.R. unmittelbar an der Messstelle durch tragbare Analysengeräte. Hierbei sollten die Gase Methan, Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff erfasst werden. Diese Forderung kann u.a. durch den Einsatz von Deponiegasanalysatoren mit IR-Messzellen und chemischer bzw. paramagnetischer Messzelle erfüllt werden.

Bestimmung der Deponiegase

Bei allen Geräten ist zu beachten, dass Messwertverfälschungen z.B. durch die Veränderung der Lage des Gerätes infolge Drehen oder Kippen unterbleiben. Bei verschiedenen Gerätetypen wurden nämlich schon hierdurch Instabilitäten beobachtet. Dies gilt insbesondere für die Deponiegasmonitore mit chemischer Messzelle zur Sauerstoffmessung. Diese werden bei der Messung zur Verbesserung der Ablesemöglichkeit oftmals gekippt oder gedreht. Die meist in Kofferform gebauten Geräte mit paramagnetischer Sauerstoffmessung sind zwar wesentlich schwerer und unhandlicher, werden aber dadurch bei der Messung kaum in ihrer Lage verändert und sind deshalb sicherer.

Wie in Abb. 5-4 dargestellt, soll die Ansaugleitung des Analysensystems hinter der Probenahmepumpe liegen. Hierdurch kann ein konstanter Messgasfluss zu den Messzellen, welcher gerätespezifisch im Bereich von 0,5 bis 2 l/min liegen kann, ohne Beeinflussungen durch Druckschwankungen gewährleistet werden. Da die meisten Messgeräte auf Druckschwankungen mit einer Messwertänderung reagieren, ist auf einen konstanten Messgasfluss zu achten.

Entnahme von Bodenluftproben zur Gasanalytik

Zusätzlich zur Messung mit tragbaren Geräten sollte die Ermittlung der Gaszusammensetzung aufgrund der höheren Messgenauigkeit und der Möglichkeit der direkten Stickstoffmessung durch GC-Analytik erfolgen. In der Regel wird der Stickstoff als Differenz zu 100 Vol.-% und der Summe des CH₄, CO₂ und O₂-Gehaltes bestimmt. Da bei dieser Vorgehensweise eine Kontrolle nicht vorhanden ist, wird empfohlen jede Probe mit GC zu analysieren. Die GC-Analysen sollten nach Möglichkeit unmittelbar Vor-Ort mittels eines mobilen GC's mit Wärmeleitfähigkeitsdetektor (WLD) entweder direkt an der Messstelle oder im Messfahrzeug durchgeführt werden.

Werden die Messgasleitungen zu lange, was z.B. passieren kann, wenn die Messungen im Fahrzeug durchgeführt werden, so sind die Proben in geeignete Behältnisse abzufüllen. Für die Durchführung von Spurengasanalysen ist ebenfalls eine Probenentnahme in ein Behältnis erforderlich. Als Probenahmegefäße kommen Gasfolienbehälter, Gassammelgefäße aus Glas oder Head-Space-Gläschen in Frage.

Erfolgt die Probenahme ausschließlich für die GC/WLD-Analysen der Deponiehauptgase, kann das Befüllen der Probenahmebehältnisse auf der Druckseite der Absaugpumpe erfolgen. Sollen Proben zur Spuren-

gasanalytik entnommen werden, muss dies zur Vermeidung von Messwertverfälschungen durch Adsorptions- bzw. Freisetzungseffekte auf der Saugseite der Absaugpumpe erfolgen.

Werden Gasbeutel zur Probenahme eingesetzt, sind diese bei Beprobung auf der Pumpendruckseite zunächst einmal mit dem Probengas zu füllen und durch Walgen und Aufrollen wieder vollständig zu entleeren. Anschließend erfolgt eine Neubefüllung des Gasbeutels mit dem Probengas. Für Spurengasuntersuchungen sollten nur unbenutzte Gasbeutel eingesetzt werden. Hierzu ist der Gasbeutel in einen Unterdruckkasten einzulegen und über eine möglichst kurze Schlauchverbindung mit Bodenluftmessstelle zu verbinden. Anschließend wird der Unterdruckkasten evakuiert und der Gasbeutel zieht sich hierdurch auseinander. Durch den im Gasbeutel entstehenden Unterdruck wird dieser mit Gas aus der Bodenluftmessstelle gefüllt. Nach ausreichender Füllung ist der Gasbeutel zu entnehmen und zu verschließen.

Gassammelgefäße aus Glas werden sowohl bei druckseitiger als auch bei saugseitiger Probenentnahme direkt in die Pumpenleitungen integriert und so von der Bodenluft durchströmt. Nach ausreichender Durchströmung werden die Küken des Gassammelgefäßes aus Glas geschlossen. Zu beachten ist hierbei, dass sowohl bei saugseitiger als auch bei druckseitiger Anordnung zunächst die Küken auf der Abstromseite geschlossen werden.

Bei Verwendung eines Head-Space-Gläschens ist ein ausreichendes Durchspülen des Gassammelgefäßes zu gewährleisten. Erfolgt die Probenahme mittels Pumpe kann das Gas von der Druckseite direkt über eine Kanüle in das Gläschen geleitet werden. Nach ausreichender Durchspülung wird die zweite – zur Entlüftung dienende – Kanüle entfernt. Da die Gasabsaugpumpe weiter Probengas fördert, kommt es zu einem Überdruck im Gläschen. Nach ca. 5 – 10 s wird die Kanüle aus dem Septum des Head-Space-Gläschens entfernt.

Erfolgt die Probenahme auf der Saugseite, so ist eine Gasspritze bzw. ein Kolbenprober erforderlich. Das in der Saugleitung der Absaugpumpe installierte Septum wird mit der Spritze bzw. der Kapillare des Kolbenprobers durchstoßen. Anschließend wird die Spritze bzw. der Glaskolben aufgezogen. Das in der Spritze befindliche Probengas wird anschließend kontinuierlich über eine Kanüle in das Head-Space-Gläschen gedrückt. Wie bei der druckseitigen Anordnung befindet sich im Glä-

schen ebenfalls eine Entlüftungskanüle. Wenn in der Spritze bzw. dem Glaskolbenheber noch ca. das 1,1 bis 1,2 fache Gasvolumen des Gläschen vorhanden ist, wird die Entlüftungskanüle entfernt und das restliche Probengas in das Head-Space-Gläschen gedrückt. Hierdurch entsteht ebenfalls ein Überdruck im Head-Space-Gläschen.

Ermittlung der Messstellentiefe und des Wasserstandes

Zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit der Bodenluftmessstelle ist nach Durchführung der Messung die Tiefe des Messstellenrohres sowie ein evtl. vorhandener Wassereinstau durch Lichtlotmessung zu ermitteln und zu dokumentieren. Dieser Arbeitsschritt darf erst nach Beendigung der Gaskonzentrationsbestimmung bzw. der Probenahme erfolgen, um Messwertverfälschungen durch Fremdluftzutritt zu vermeiden.

*Nach Beendigung
Bodenluftmessstelle
überprüfen*

Sonstige aufzunehmende Randbedingungen

Zur weitergehenden Beurteilung der Messergebnisse sollten die Außenlufttemperatur, der atmosphärische Luftdruck und der Zustand des Bodens aufgenommen bzw. dokumentiert werden. Bei letzterem reicht eine Klassifizierung in die Bereiche trocken, feucht und nass aus.

*Randbedingungen
festhalten*

Hinweise zum Arbeitsschutz:

Allgemeine Handlungsanweisungen
Vorbereitung <ul style="list-style-type: none">• Der Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan ist vom Auftraggeber selbst oder in dessen Auftrag zu erstellen und sollte Bestandteil der Ausschreibungsunterlagen sein• Die Erfordernis und der Umfang einer arbeitsmedizinischen Betreuung ist mit einem Arbeitsmediziner abzustimmen• Alle bei den Erkundungen Beteiligten sind vor Beginn über die Örtlichkeiten, die deponiespezifischen Bedingungen und Gefährdungen, die Sicherheitsbestimmungen, den Brandschutz und Rettungswege zu unterweisen (schriftliche Bestätigung)• Vorzuhalten sind:<ul style="list-style-type: none">• Wasser, Reinigungsmittel, Papierhandtücher, Hautschutzcreme• Erste-Hilfe-Material• Augendusche• Behältnisse für benutzte Ausrüstungen

Durchführung:

- Vor Beginn der täglichen Erkundungen ist die Schutzausrüstung auf Funktionsfähigkeit zu prüfen
- Grundsätzlich gilt ein Alleinarbeitsverbot – Ausnahme: Begehungen
- Beim Auftreten unerwarteter Ereignisse (starke Gasemissionen, Sickerwasseraustritte, Setzungen etc.) haben die Beteiligten den Gefahrenbereich umgehend zu verlassen und die Aufsichtsperson zu verständigen
- Auf der Altablagerung besteht striktes Trink-, Eß- und Rauchverbot. Trinken und Essen ist nur außerhalb der Altablagerung und nur nach Ablegen evtl. Schutzkleidung und Reinigung der Hände gestattet
- Jegliche Tätigkeiten, die zu Flammen- oder Funkenbildung führen können, sind zu vermeiden. Dies gilt auch für Personal in Fahrzeugen
- Direkter Kontakt mit dem Müllkörper und austretendem Sickerwasser ist zu vermeiden. Ebenso sind Stellen, an denen offensichtlich verstärkt Deponiegas austritt (Vegetationsschäden, Risse), zu meiden
- Die Arbeiten sind messtechnisch zu begleiten, an offensichtlichen Gasemissionsquellen haben die Arbeiten möglichst von der dem Wind zugewandten Seite zu erfolgen

Beendigung:

- Nach Beendigung der täglichen Erkundungen ist die Schutzausrüstung zu reinigen und auf Funktionsfähigkeit zu prüfen

standortspezifische Situation

Überwachungsmethode	Gasmigrationsmessung Herstellen von Bohrungen
Oberflächenabdeckung:	nicht vorhanden / vorhanden
Deponietyp:	Haus- und hausmüllähnlicher Gewerbe- und Industriemüll /

Anmerkung: Zusätzlich sind die allgemeinen Handlungsanweisungen zu beachten!

Persönliche Schutzausrüstung

- Sicherheitsgummistiefel (S5)
- Einweg-Chemikalienschutzanzug, PE-beschichtet
- Schutzhandschuhe (PVC, mindestens 0,8 mm dick)
- Filteratemschutz der Schutzstufe ABEK2-P3 mit Gebläseunterstützung
- Schutzhelm, bei nassem Bohrgut mit Gesichtsschutzschirm

Messtechnik

- Mehrfach – Messgerät (Ex-O₂) am Bohrloch, kontinuierliche Messung (Alarm bei 10 % UEG, 19 % O₂)
- Bei Messung Windrichtung beachten!
- Kontinuierliche PID-Messung am Bohrloch

Technische und organisatorische Schutzmaßnahmen

- Einstellung der Arbeiten bei CH₄-Konzentrationen > = 20 % UEG am Bohrloch, Inertisierung mit Stickstoff, CO₂ oder Belüftung bis <= 10 % UEG (bei CO₂-Inertisierung: CO₂-Messgerät am Bohrloch)
- Feuerlöscher vorhalten
- Dichte Behälter für Bohrgut
- Befeuchten bei Staubentwicklung
- Windrichtungsanzeiger und –geschwindigkeitsmesser
- Aufstellung Bohraggregat auf windzugewandter Seite
- Sicherung des Bohrlochs bei Arbeitsunterbrechung
- Je nach Umfang der Erkundungsmaßnahme Schwarz-Weiß-Anlage
- Schwarz-Bereich umzäunen

zusätzliche Verhaltensregeln:

- Aufenthalt möglichst auf der dem Wind zugewandten Seite

Beendigung der Arbeit:

- Verschließen bzw. Abdecken der Bohrung
- Reinigung des Bohrgestänges und Bohrwerkzeuges vor Ort oder Transport zu Waschplatz in geschlossenem Behälter
- Reinigung bzw. Entsorgung der Schutzausrüstung

standortspezifische Situation	
Überwachungsmethode	Gasmigrationsmessung Herstellen von Sonden
Oberflächenabdeckung:	vorhanden
Deponietyp:	Haus- und hausmüllähnlicher Gewerbe- und Industriemüll / Haus- und hausmüllähnlicher Gewerbe- und Industriemüll mit begründetem Verdacht auf Abfälle nach § 3, Abs. 8 KrW-/AbfG

Anmerkung: Zusätzlich sind die allgemeinen Handlungsanweisungen zu beachten!

Persönliche Schutzausrüstung
<ul style="list-style-type: none"> • Sicherheitsgummistiefel (S5) • Einweg-Chemikalienschutzanzug, PE-beschichtet • Schutzhandschuhe (PVC, mindestens 0,8 mm dick) • Filteratemschutz der Schutzstufe ABEK2-P3 mit Gebläseunterstützung
Messtechnik
<ul style="list-style-type: none"> • PID-Messung, falls Stellen begangen werden, an denen vermutlich erhöhte Schadstoffemissionen stattfinden

Technische und organisatorische Schutzmaßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> • Abdecken von Sondierlöchern nach Sondenentnahme • Absperrung der Einschlagstelle

zusätzliche Verhaltensregeln:
<ul style="list-style-type: none"> • Keine

Beendigung der Arbeit:

- Reinigung des Sondiergestänges vor Ort oder Transport zu Waschplatz in geschlossenem Behälter
- Wiederverschließen und Abdichtung von Sondierlöchern
- Markierung überstehender Sondiergestänge, falls diese nicht gezogen werden
- Reinigung bzw. Entsorgung der Schutzausrüstung

5.4 Auswertung und Dokumentation

Die Ergebnisse sind vergleichbar zu den Abschnitten 1 bis 4 auf trockenes Gas umzurechnen und auf eine Gesamtsumme von 100 % zu korrigieren. Dabei kann die Tabelle entsprechend Abschnitt 1 herangezogen werden.

5.5 Bezugswerte

Bezugswerte lassen sich in allgemeiner Form nicht nennen. Generell können Konzentrationen auftreten, die

- den Werten von Luft entsprechen
- den Werten von Deponiegas entsprechen
- deutliche Effekte von chemisch-physikalischen bzw. biologischen Vorgängen zeigen, z. B.
 - deutlich erhöhte CO₂-Konzentration
 - $R \sigma(\text{CH}_4):\sigma(\text{CO}_2) < 1$, was als Hinweis auf Methanoxidation verstanden werden kann
 - $\sigma(\text{O}_2):\sigma(\text{N}_0) < 1:4$, was als Hinweis auf aerobe Abbauprozesse verstanden werden kann.
 - deutlich erhöhte Spurenstoffkonzentrationen, z. B. Benzol oder Vinylchlorid, was als Abbauprozesse von CKW interpretiert werden kann.

5.6 Fehlerbetrachtung

Bei der Durchführung der Gasprobenahme können Undichtigkeiten im Probenentnahmesystem auftreten, deren Ursache in lockeren Verschraubungen/Übergängen oder Rissen in der Probenahmeleitung durch Quetschungen und/oder Versprödungen (insbesondere bei Telefonleitungen) liegen können. Diese Undichtigkeiten führen zu einer Vermischung der Bodengasprobe mit Luft.

Daher ist es erforderlich, eine Dichtheitsprüfung der Probenahmeapparatur analog des Entwurfes der VDI-Richtlinie 3865 Blatt 2 (Techniken für die aktive Entnahme von Bodenluftproben) durchzuführen. Hierzu wird die Filterstrecke der Messstelle oberhalb des perforierten Filterrohres durch einen Packer gasdicht verschlossen oder die am Pegelkopf befindliche Absperrklappe geschlossen. Das gesamte Entnahmesystem wird mit der zur Probenahme vorgesehenen Pumpe evakuiert und anschließend die unmittelbar vor der Ansaugpumpe befindliche Absperrklappe geschlossen. Anschließend wird der im System herrschende Unterdruck kontrolliert. Ist dieser über einen Zeitraum von 5 Minuten konstant, ist das Probenahmesystem im Sinne dieser Handlungsanweisung und VDI 3865E als dicht anzusehen. Eine Übersaugung der Messstelle kann zu einer Verdünnung mit Luft führen, aber auch zu einem Ansaugen von Deponiegas aus tieferen Schichten. In beiden Fällen ist eine erhebliche Verfälschung das Resultat.

Dichtheitsprüfung durchführen

Zur Vermeidung von Fehlmessungen sind die zur Vor-Ort-Messung der Deponiegashauptparameter einzusetzenden Messgeräte auf ihre Funktion zu prüfen bzw. zu kalibrieren. Dieser Funktionscheck besteht i.a. aus einer Überprüfung des Messgerätenullpunktes mit Nullgas und einer Überprüfung der Messgenauigkeit. Da die Deponiegaskonzentrationen bei Altablagerungen erheblichen Schwankungen unterliegen, sollte die Empfindlichkeitsprüfung im oberen und unteren Bereich der Messspanne erfolgen. Angesichts der bei Altablagerungen ermittelten Gas-konzentrationen sollten nachstehende Prüfgaskonzentrationen zur Kalibrierung der Geräte eingesetzt werden.

Prüfung und Kalibrierung erforderlich

Tab.5-1: Empfohlene Konzentration von Prüfgasen

	Nullgas	Prüfgas, untere Messspanne	Prüfgas, obere Messspanne
CH ₄		1-5 Vol.-%	55-65 Vol.-%
CO ₂		2-10 Vol.-%	30-35 Vol.-%
O ₂		0,5-2 Vol.-%	
N ₂	99,9 Vol.-%	70-85 Vol.-%	1-5 Vol.-%

Das Analysengerät ist zu Beginn und Ende jedes Messtages zu überprüfen. Die ermittelten Ist- und Sollwerte sind in einem Messprotokoll zu dokumentieren.

Im Teil B der Arbeitshilfe ist ein Beispiel eines solchen Messprotokolls angegeben. Alternativ kann die Dokumentation auch EDV-gestützt oder mit einem Datenlogger erfolgen. Bei der EDV-gestützten Dokumentation kann auf einem Notebook bzw. Laptop eine spezielle Datenbankanwendung installiert werden. Die Dateneingabe erfolgt hierbei im Gelände über vorgefertigte Bildschirmmasken. Bei Datenbankanwendung können zum einen die eingesetzten Messgeräte und deren Funktionsprüfungen mit abgespeichert werden und umfangreiche Auswertungen schnell durchgeführt werden. Darüber hinaus kann bereits im Gelände eine „automatisierte“ Plausibilitätsprüfung der Messdaten erfolgen.

Bei Einsatz eines Datenloggers werden i.d.R. die Ergebnisse manuell eingegeben und im Büro über eine Schnittstelle auf EDV übertragen. Bei verschiedenen Gasmessgeräten ist bereits ein Datenlogger integriert bzw. eine automatisierte Weitergabe der Messdaten an einen externen Datenlogger möglich.

5.7 Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers

Die Anforderungen an das Messpersonal sind vergleichbar mit denen der vorangegangenen Überwachungsmethoden. Das zu den Vor-Ort Messungen eingesetzte Personal muss sachkundig sein. Sachkundiger ist, wer aufgrund seiner fachlichen Ausbildung und Erfahrung ausreichend Erkenntnisse auf dem Gebiet von Deponiegas-

Personal muss sachkundig sein

einrichtungen und der Gasmesstechnik hat sowie die grundlegenden Zusammenhänge des Deponiegasgeschehens und des Explosionsschutzes kennt. Die Sachkunde kann auf speziellen Probenehmerlehrgängen oder vergleichbaren Lehrgängen erworben werden.

Der Leiter der Überwachung, der den Messplan aufstellt, der die Messung bzw. das Messpersonal überwacht, die Auswertung verantwortlich durchführt, sollte sachverständig sein. Sachverständiger ist, wer aufgrund seiner fachlichen Ausbildung und Erfahrung besondere Kenntnisse auf dem Gebiet der Deponiegasanlagen, insbesondere der Gasmesstechnik hat und mit den einschlägigen staatlichen Arbeitsschutzvorschriften, Unfallverhütungsvorschriften, Richtlinien und allgemein anerkannten Regeln der Technik vertraut ist. Er soll Deponie- bzw. Deponiegasanlagen prüfen und gutachterlich beurteilen können.

*Messplan durch
Sachverständigen
erstellen*

Abschnitt 6

Überwachungsmethode (ÜM 2.4.4)

Gaszufuhr zur Deponiegasbehandlungs-/- Verwertungsanlage

6.1 Bezug

Der Bezug zu dieser Überwachungsmethode ergibt sich aus TA Abfall, Anhang G, Tabelle I in Verbindung mit Abschnitt 10.6.6 Kontrollen der TASI. Damit hat die ÜM 2.4.4 zum Teil innerhalb der Kontrollen an der Deponie nachzuweisen, dass die Anforderungen an das Deponieverhalten eingehalten werden und ein bestimmungsgemäßer Deponiebetrieb erfolgt.

*TA Abfall Anhang
G, Tabelle I,
Abschnitt 10.6.6.
Kontrollen TASI*

6.2 Theoretische Grundlagen

Die Überwachungsmethode ÜM 2.4.4 im Rahmen der Anforderungen nach TASI 10.6.6 Kontrollen stellt Anforderungen hinsichtlich der Überwachung

- a) des Deponieverhaltens, worunter im Falle Deponiegas die den Gashaushalt beschreibenden Parameter \dot{V} , Δp , σ (CH_4 , CO_2 , O_2), ϑ zu verstehen sind,
- b) der Funktion der Anlage, worunter im Falle von Deponiegasanlagen die Einhaltung von Teil- und Kontrollparameter sowie Betriebsparameter wie Betriebsstunden, Störungen zu verstehen sind.

*Deponieverhalten
und Funktion der
Anlage*

Damit ist es aber erforderlich, kontinuierliche Messungen durchzuführen. Die TASI fordert zur Registrierung der Daten somit auch konsequenterweise den Einsatz einer elektronischen Datenverarbeitung. Daher sind i.d.R. an Deponiegasanlagen entsprechende Einrichtungen vorhanden.

Bezüglich a) sind die theoretischen Grundlagen identisch mit ÜM 2.4.1 und ÜM 2.4.1.1 bzw. ÜM 2.4.2.1, wobei hier nochmals auf folgende Punkte hingewiesen werden soll:

- Die Veränderlichkeit der Methankonzentration in Abhängigkeit des Volumenstromes, d.h. eine Angabe von σ (CH₄) ohne Angabe des Volumenstromes sagt wenig aus.
- Die Erfordernis der Umrechnung der Daten auf Normbedingungen und standardisierte Größen (trockenes Gas, luftfreier Bezug)

Der wesentliche Unterschied zu ÜM 2.4.1, ÜM 2.4.1.1 bzw. ÜM 2.4.2.1 besteht darin, dass bei ÜM 2.4.4 nunmehr kontinuierlich erfasste Daten bezüglich \dot{V} , Δp sowie σ (CH₄, CO₂, O₂) und ϑ vorliegen. Dabei müssen zwei Punkte betrachtet werden:

- Wie geht man mit Störungen bzw. Betriebsunterbrechungen bei der Überwachung um,
- wie berücksichtigt man Ausfallzeiten im Falle einer Auswertung über längere Zeiträume.

Umgang mit Betriebsunterbrechungen und Ausfallzeiten

Dabei hat sich folgende Vorgehensweise als zweckmäßig erwiesen:

- Ausfallzeiten sollten grundsätzlich durch lineare Interpolation berücksichtigt werden, d.h. liegen z.B. bezüglich von \dot{V} nur Werte von 7800 Stunden/a vor, so ist der Wert bei einer Jahresauswertung auf 8760 h linear hochzurechnen.
- Daten während Zeiten mit Störungen bzw. Unregelmäßigkeiten in der Betriebsführung charakterisieren nicht den Zustand der Anlage, z.B. ist σ (CH₄) bei $\dot{V} = 0$ völlig uninteressant für die Jahresstatistik der Methankonzentration. Daher sind diese Werte in der Langzeitbeurteilung nicht mit einzubeziehen. Sie sollten getrennt behandelt werden.
- Bezüglich b) sind alle die Parameter zu erfassen, die die Funktion der Anlage beschreiben. Hierbei gilt die generelle Zielsetzung der Entgasung, nämlich möglichst viel Gas zu erfassen ohne die Prozesse im Deponiekörper bei Berücksichtigung betriebs- und sicherheitstechnischer Randbedingungen zu beeinflussen. Danach können folgende Bereiche als erforderliche Überwachungskriterien benannt werden:

Ausfallzeiten durch lineare Interpolation berücksichtigen

Nicht typische Werte eliminieren

- Leistung der Anlage im Vergleich zur Dimensionierungsgröße. Bei Deponiegasanlagen ist dies die tatsächlich erfasste und abgeleitete Menge im Vergleich zur Gasprognose. Als Zielgrößen können hier herangezogen werden:
 - Jährlich entsorgte Gasmenge, durchschnittlich stündlich entsorgte Gasmenge, jährlich spezifisch entsorgte Gasmenge ($\text{m}^3/\text{t}\cdot\text{a}$)
 - Einhalten betrieblicher Zielgrößen wie Über- oder Unterschreiten der σ (CH_4)-Vorgabe bzw. σ (O_2)-Vorgabe. Dies kann sowohl aus Ganglinien als auch aus einer zeitlichen Angabe (z.B. Zahl der Tage mit Unter- oder Überschreitung) abgeleitet werden.

- Einhalten der betrieblichen Funktion. Hierzu zählen insbesondere die Betriebsstunden von Gasfördereinrichtung, Fackel und Gasmotor, sowie die Angabe von Störungen. Störungen wären z.B. Unterschreiten der Fackeltemperatur, Überschreiten der σ (O_2) nach sicherheitstechnischen Erfordernissen. Diese Parameter müssen für jede Anlage spezifisch ermittelt werden.

*Zielgrößen
festlegen*

6.3 Methodenvorschrift

In der ÜM 2.4.4 werden die an einer Entgasungsanlage betrieblich vorhandenen, kontinuierlich messenden und registrierenden Messeinrichtungen behandelt. Insoweit gelten bezüglich der Überwachungsmethoden die Methodenvorschriften aus ÜM 2.4.2.1 bzw. 2.4.1.1.

6.4 Auswertung und Dokumentation

Die Auswertung und Dokumentation ist identisch mit ÜM 2.4.2.1. Zusätzlich sind die Auswertungen gem. [TAAbfall] Anhang G durchzuführen.

Die ermittelten Daten sind in der Betriebsphase in monatlichen und jährlichen, in der Nachsorgephase in jährlichen Intervallen auszuwerten.

Bei der Auswertung der Daten müssen mindestens die folgenden Kriterien berücksichtigt werden:

a) In die monatliche Auswertung sind insbesondere einzubeziehen:

- Ermittlung der Wochensummenwerte
 - Ganglinien
- von Niederschlägen, Emissionen und Grundwasserständen

b) Jahresauswertung

Bei der Jahresauswertung sind die gemessenen Daten darüber hinaus statistisch auszuwerten.

Für die Datenzusammenstellung ist das Formblatt J-2-4-GV der DepSüVO heranzuziehen. Die grafische Darstellung erfolgt nach Abb. 4.1/4.2 bzw. 13.1/13.2 der DepSüVO.

Die DepSüVo fordert vier grafische Darstellungen, nämlich

- Deponiegasmenge sowie Zusammensetzung des Gases als Monats- und Jahresmittelwerte
- Verwertete und nicht verwertete Deponiegasmengen über den gesamten Betriebszeitraum als Monats- und Jahresmittelwerte

Bei der Auswertung ist wie folgt vorzugehen:

*Datensätze
überarbeiten*

- zunächst sind die Daten von Betriebsstörungen bzw. anderen unregelmäßigen Zuständen zu eliminieren. Dies ist bezüglich des Zeitraumes und des Grundes zu dokumentieren
- \dot{V} ist auf Normbedingungen umzurechnen
- \dot{V} ist auf Tagesmittelwerte umzurechnen
- die Konzentrationen sind als Tagesmittelwert anzugeben

Es wird die Darstellung folgender Grafiken empfohlen:

*Grafische
Darstellung*

- $\sigma(\text{CH}_4)$ = f (Zeit) mit Kontrollgröße 50 %
- $\sigma(\text{CH}_4/\sigma(\text{CO}_2))$ = f (Zeit)
- $\sigma(\text{CH}_4)$ = $f(\dot{V}) \cdot f(p_e)$

Es empfiehlt sich, folgende Berechnungen zur Charakterisierung der Deponie durchzuführen:

Kennziffern

$\text{m}^3/(\text{Mg}\cdot\text{a})$, $\text{m}^3/(\text{Ifdm}\cdot\text{a})$, % der entsorgten Gasmenge bezogen auf Gasprognose

6.5 Bezugswerte

vgl. Abschnitt 2

6.6 Fehlerbetrachtung, Querempfindlichkeiten

vgl. Abschnitt 2

6.7 Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers

entfällt, da es sich um eine kontinuierlich aufzeichnende betriebliche Überwachung handelt. Das zu den erforderlichen Kalibrierungen der Messgeräte und Messwertaufnehmer eingesetzte Personal muss sachkundig sein.

Abschnitt 7

Überwachungsmethode (ÜM 2.4.5)

Abgas der Deponiegasbehandlung- / Verwertungsanlage

7.1 Bezug

Zum Schutz des Menschen und der Umwelt werden luftverunreinigende Emissionen durch technische Maßnahmen nach dem jeweiligen Stand der Technik begrenzt. Die Notwendigkeit, Anlagen auf Einhaltung von Emissionsbegrenzungen zu überprüfen, ergibt sich aus den Vorschriften zum Immissionsschutz. Die gesetzliche Basis ist das Bundes-Immissionsschutzgesetz. Im dritten Abschnitt des BImSchG „Ermittlung von Emissionen und Immissionen, sicherheitstechnische Prüfungen usw.“ wird in den §§ 26, 28 und 29 die Ermittlung von Emissionen angesprochen. Die Neufassung der ersten Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum BImSchG -Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) von 1986 fordert Emissionsbegrenzungen für genehmigungsbedürftige industrielle und gewerbliche Anlagen entsprechend dem Stand der Technik. Die zur Behandlung von Deponiegasen eingesetzten Gasfackeln und zur energetischen Verwertung installierten Gasmotoren sind in der 4.BImSchV aufgeführt und unterliegen somit prinzipiell der Überwachungspflicht gemäß TA Luft. Als Verwaltungsvorschrift wird die TA Luft erst durch Umsetzung, d.h. durch Bescheid, für den Betreiber einer Anlage wirksam.

Bezug durch Bundesemissionsschutzsatz

7.2 Theoretische Grundlagen

Prinzipiell kann es bei der thermischen Deponiegasbehandlung zu verschiedenen Emissionen kommen, welche einerseits durch die Qualität des Brennstoffes Deponiegas, andererseits durch die technische Verbrennungsführung (Gestaltung des Brennraumes, Luftzuführung etc.) beeinflusst werden. Relevante Emissionen werden nicht durch die Hauptkomponenten des Deponiegases, sondern die Spurenstoffe verursacht.

Ziel der thermischen Deponiegasbehandlung ist es, einen möglichst vollständigen Ausbrand aller Gaskomponenten, auch der Spurenstoffe, zu erreichen, sodass weitgehend nur noch

Möglichst vollständiger Ausbrand

- Kohlendioxid (CO_2)
- Wasserdampf (H_2O)
- Chlorwasserstoff (HCl)
- Fluorwasserstoff (HF)
- Schwefeldioxid (SO_2)

im Abgas der Behandlungsanlage enthalten sind. Die drei letztgenannten Parameter charakterisieren hierbei den vollständigen Ausbrand der Spurenstoffverbindungen. Aufgrund der bei der Verbrennung ablaufenden komplexen Reaktionen gibt es keine Verbrennung, bei der die Ausgangssubstanzen hundertprozentig zu den erwünschten Reaktionsprodukten umgesetzt werden. In den Abgasen von Verbrennungsanlagen werden immer entsprechende Spuren an unerwünschten Produkten und nicht umgesetzten Reaktionspartnern vorhanden sein. Mit zunehmendem verbrennungstechnischen Aufwand nimmt der Gehalt dieser nicht umgesetzten Spurenstoffe ab. In Abbildung [7-1] sind die aus dem Brenngut Deponiegas entstehenden möglichen Emissionen zusammengestellt.

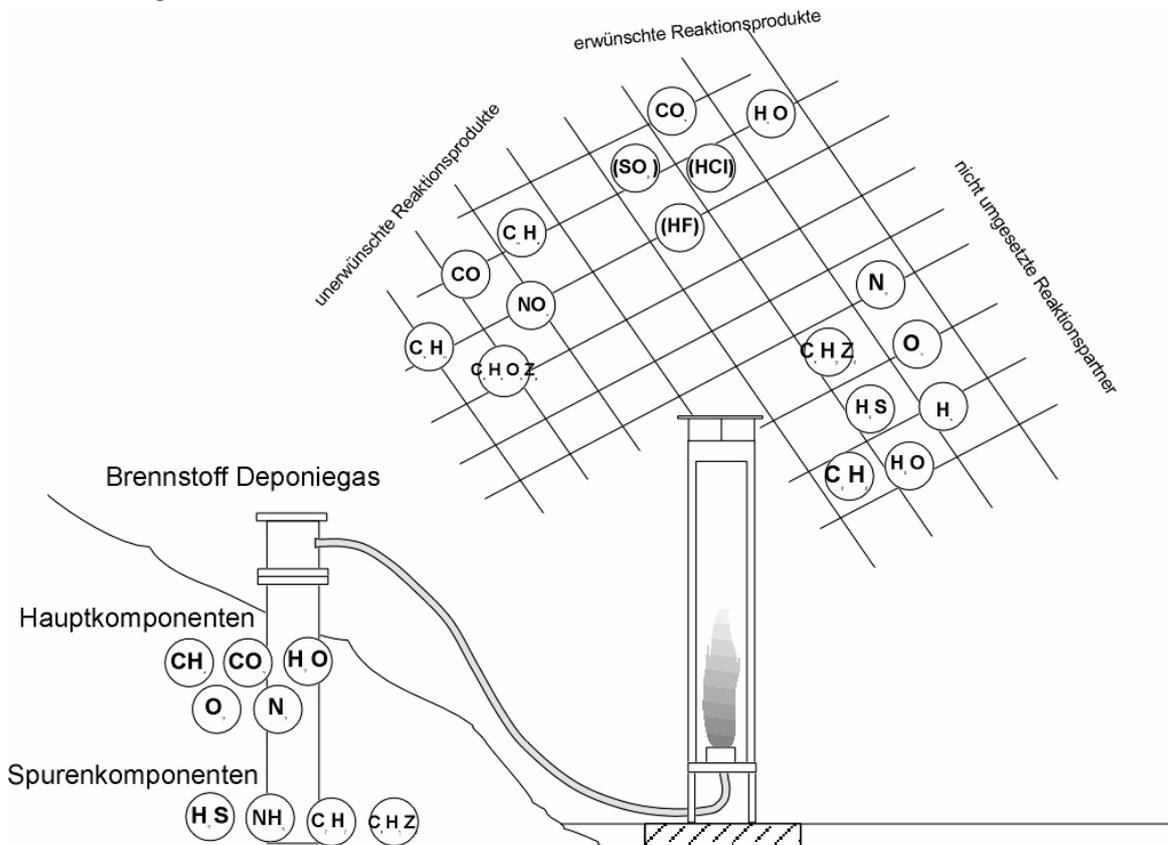


Abb.7-1 Mögliche Emissionen bei der Deponiegasverbrennung

Die entstehenden Emissionen wurden dabei wie folgt klassifiziert:

Erwünschte Reaktionsprodukte:

Unter diesen Überbegriff werden alle Reaktionsprodukte aus der vollkommenen Verbrennung des Brennstoffes eingeordnet. Die Klammern um die Stoffe SO₂, HCl und HF sollen dabei verdeutlichen, dass diese Produkte nur definitionsgemäß als "erwünscht" eingestuft werden. Die Abgasbelastung mit Schwefel-, Chlor und Fluorverbindungen hängt auch bei einer vollständigen Verbrennung ausschließlich von der Qualität des Deponiegases ab.

Nur von Qualität des Deponiegases abhängig

Unerwünschte Reaktionsprodukte:

Unter diesen Überbegriff fallen Reaktionsprodukte aus einer unvollkommenen Verbrennung oder eines unerwünschten Oxidationsvorganges (z.B. NO_x). NO_x - Emissionen aus der Deponiegasverbrennung sind überwiegend auf die Entstehung des sog. thermischen NO_x, dessen Bildung in erster Linie von der Verbrennungstemperatur sowie von der Verweilzeit und der Konzentration an atomarem Sauerstoff abhängig ist, zurückzuführen. Dieser Bildungsprozess erfolgt etwa ab einem Temperaturbereich oberhalb von 1000 °C und setzt verstärkt zwischen 1200 °C und 1600 °C ein.

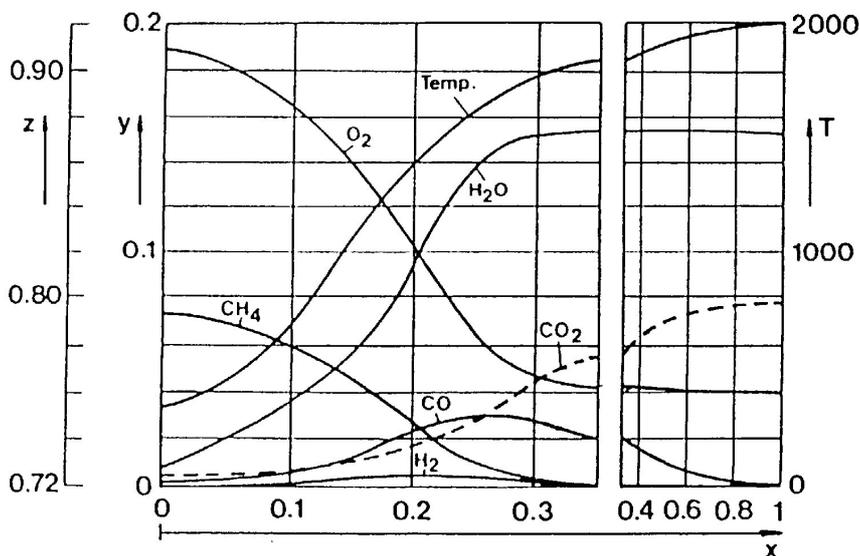
Vom Verbrennungsprozess abhängig

Nicht umgesetzte Reaktionspartner

sind alle Brennstoffsubstanzen aus unvollständiger Verbrennung. Die bei Verbrennungsprozessen ablaufenden Reaktionen können als Summenformeln dargestellt werden, die bilanzartig den Anfangs- und Endbestand der Reaktion angeben. Der tatsächliche Ablauf der Verbrennung ist weitaus komplexer und besteht aus einer Vielzahl von Einzelschritten. Der komplette Oxidationsablauf eines Brennstoffmoleküls läuft über einen Kettenreaktionsmechanismus, der sich in die Einzelschritte Start-, Ketten-, Verzweigungs- und Abbruchreaktion unterteilen lässt. Nach Fristrom und Wetenberg sind zur die vollständigen Oxidation von Methan 16 Reaktionsschritte erforderlich, wobei als stabile Zwischenprodukte H₂, CO und H₂CO auftreten. Bei der Verbrennung höherwertiger Kohlenwasserstoffe kommen weitere Reaktionsschritte und Zwischenprodukte hinzu, wobei hier z. B. ungesättigte Kohlenwasserstoffe zu nennen sind. Am Ende dieser teilweise sehr komplizierten Abbaureaktionen steht u.a. als Zwischenprodukt das Kohlenmonoxid (CO). Abbildung 7-2 zeigt bei einer CH₄-Verbrennung in einer Vormischflamme eine Übersicht des Temperatur- u. Konzentrationsverlaufes der

verschiedenen stabilen Molekülarten. Die Nachverbrennung des gebildeten CO ist deutlich zu erkennen. Dieses langsame Ausbrennen der am Flammenende vorhandenen CO- Anteile, das bei allen Flammen zu beobachten ist, wird als "CO-Nachverbrennung" oder als "zweite Verbrennungsphase" bezeichnet. Bei gasförmigen Brennstoffen stellt diese CO-Abbaukinetik den geschwindigkeitsbestimmenden Schritt zur vollständigen Verbrennung dar. Erhöhte Kohlenmonoxidkonzentrationen im Abgas charakterisieren eine unvollständige Verbrennung des Deponiegases. Untersuchungen an Fackelanlagen zeigten, dass im Falle einer Kohlenmonoxidminimierung unter den Wert von 100 mg/ m^3 auch die anderen verbrennungsbedingten Werte in Bezug zu TA Luft unterschritten werden.

Kohlenmonoxidkonzentration charakterisiert unvollständige Verbrennung



T = Temperatur in Kelvin
 x = Strömungsweg der Flamme
 y = Molenbrüche (ohne O_2)
 z = Molenbruch O_2

Abb.7-2: Darstellung des Verbrennungsverlaufes bei der Gasverbrennung

Aufgrund der gegenüber Gasfackeln oder Feuerungsanlagen wesentlich kürzeren Verweilzeit, ist bei Gasmotoren generell mit höheren CO-Konzentrationen zu rechnen. Der CO-Bildungsmechanismus ist bei Gasmotoren jedoch nicht nur auf den Brennraum beschränkt, sondern findet auch in den nachgeschalteten Abgaswegen statt. Wegen der hohen Abgastemperaturen kommt es hierbei zu einer Nachverbrennung von

nicht vollständig oxidierten Kohlenstoffanteilen. Kommt es z.B. durch undichte Kolbenringe zu einem Eindringen von Öl in den Zylinderraum können die CO-Emissionen erheblich ansteigen. Da mit höherer Betriebsstundenzahl die Kolbenringe verschleifen und damit der Ölverbrauch steigt, kommt es zwangsläufig zu einem Anstieg der CO-Emissionen. Diese können Konzentrationswerte erreichen, die auch durch eine Optimierung der Motoreneinstellung (Änderungen der Temperaturkurven im Brennraum, Verstellung des Zündzeitpunktes, höherer Luftüberschuss) eine Einhaltung der nach TA Luft vorgegebenen Grenzwerte nicht ermöglichen. Daher eignen sich CO-Messungen im Motorenabgas auch als Leitparameter zur Beurteilung des Verschleißzustandes des Gasmotors.

*CO-Messungen
liefern Leitparameter
zum Stand des
Gasmotors*

Anmerkung:

Aus den genannten Gründen erscheint es sinnvoll, wenn zumindest bei den Gasmotoren neben der nach TA Luft alle 3 Jahre wiederkehrenden Emissionsüberwachung zusätzliche Emissionsmessungen durchgeführt werden. Der Parameterumfang sollte hierbei die durch die Fackel- bzw. Motoreinstellung beeinflussbaren Parameter CO und NO_x enthalten. Der Messintervall sollte hierbei halbjährig gewählt werden, wobei eine Messung im Rahmen der Fremdkontrolle der Deponieentgasung durchgeführt werden sollte und eine Messung durch den Betreiber bzw. den Anlagelieferanten im Rahmen von Wartungsarbeiten erfolgen kann.

Im Regelfall werden in den Rechtsverordnungen, die für eine konkrete Messaufgabe einzusetzenden Messverfahren und Messgeräte nicht genannt. Es wird vielmehr darauf hingewiesen, dass dem Stand der Messtechnik entsprechende Messverfahren und geeignete Messeinrichtungen nach näherer Bestimmung der zuständigen Behörde anzuwenden oder zu verwenden sind. Die TA Luft verweist in diesem Zusammenhang auf die im VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft beschriebenen Messverfahren (VDI-Richtlinien) bzw. auf DIN-Verfahren, die dem Stand der Technik darstellen. Die Richtlinien und Normen beinhalten in Form von Handlungsanweisungen grundsätzlich das gesamte Messverfahren von der Probenahme bis zur Berechnung des Ergebnisses. Eine Zusammenstellung der für die thermische Deponiegasbehandlung relevanten Vorschriften befindet sich in Punkt c dieses Kapitels. Im Rahmen länderübergreifender Regelung in der Europäischen Union (EU) ist damit zu rechnen, dass weitere messtechnische Vorschriften, wie sie z. Z. vom Europäischen Komitee für Normung (Comité Européen

de Normalisation - CEN) für die Emissionsüberwachung von Müllverbrennungsanlagen (manuelle und kontinuierliche Messung) erarbeitet werden, zur Anwendung kommen.

Bei der Durchführung der Messungen kommt der Messplanung große Bedeutung zu. Messungen zur Feststellung von Emissionen sollen so durchgeführt werden, dass die Ergebnisse für die Emissionen der Anlage repräsentativ und bei vergleichbaren Anlagen und Betriebsbedingungen miteinander vergleichbar sind. Daher ist zunächst sicherzustellen, dass die Aufgabenstellung der Messungen genau definiert ist und die zur Auswertung der Messungen erforderlichen Randbedingungen ebenfalls mit erfasst werden. (siehe auch VDI 2448, Bl. 1: Planung von mischprobenartigen Emissionsmessungen an geführten Quellen, 4200 Durchführung von Emissionsmessungen an geführten Quellen).

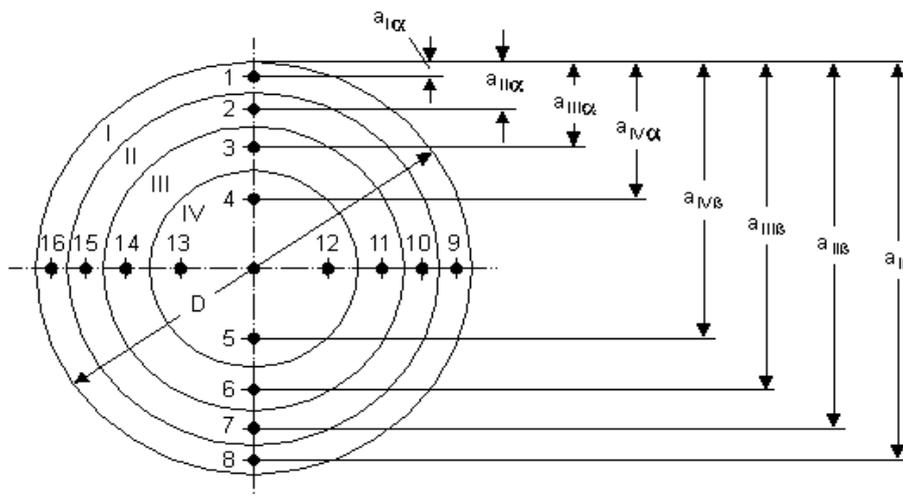
Messplan

Grundsätzlich wird bei der Ermittlung von Emissionen aus geführten Quellen (Abgasrohr des Gasmotors, Fackel) ein Teilvolumenstrom des Abgases entnommen und einer Messeinrichtung zugeführt. Bei dieser Messeinrichtung kann es sich um einen direktanzeigenden Analysator zur Konzentrationsermittlung einer bestimmten Gaskomponente oder aber um eine Sammelphase zur Anreicherung der zu untersuchenden Abgaskomponente (Staubfilter, Waschflaschen mit Absorptionsflüssigkeit, Sammelröhrchen mit Adsorbiermaterial z.B. Aktivkohle oder Tenax) handeln. Bei Einsatz einer Sammelphase erfolgt die analytische Bestimmung der Schadstoffkomponente nach der Probenahme im Labor. Da bei allen Verfahren nur ein Teilstrom des Abgases entnommen wird, ist eine Grundvoraussetzung für die Richtigkeit der Messergebnisse die Entnahme einer repräsentativen Probe. Dies ist nur möglich, wenn in der Messstrecke eine möglichst störungsfreie Strömung vorliegt. Hinweise dazu gibt die Richtlinie VDI 2066, Blatt 1, Staubmessungen in strömenden Gasen. Die Strömungsverhältnisse im Abgaskanal werden durch z.B. durch Umlenkungen (Bögen etc.), Querschnittveränderungen oder Einbauten (Schalldämpfer) beeinflusst. Zur Sicherstellung einer möglichst störungsfreien Strömung soll der Mess- / Probenahmeplatz in einer geraden Strecke des Abgaskanals mit gleichbleibender Größe und Form angeordnet werden. In der Richtlinie VDI 2066 werden ungestörte Einlauf- und Auslaufstrecken von jeweils mindestens dem Dreifachen des hydraulischen Durchmessers gefordert. Bei Deponiegasfackeln ist diese Voraussetzung zumindest für die Auslaufstrecke in vielen Fällen nicht gegeben. Um trotzdem repräsentative Ergebnisse erzielen zu kön-

Repräsentative Probenahme erforderlich

nen und zur Reduzierung äußerer Einflüsse (Wind) ist dann oftmals eine erhöhte Anzahl von Messpunkten erforderlich. Prinzipiell sollte daher die Anordnung der Probenahmestellen so erfolgen, dass Netzmessungen sowohl für die Bestimmung der Staubemission als auch für die gasförmigen Emissionen vorgenommen werden können.

Da die Gasgeschwindigkeit und der Staubstrom im Messquerschnitt nur an einzelnen Punkten gemessen werden können, ist eine für den Messquerschnitt repräsentative Auswahl der Messpunkte zu treffen. Durch entsprechende Anzahl und Lage der Messpunkte muss der Gas- und Staubstrom mit einem vertretbaren Zeit- und Arbeitsaufwand möglichst genau erfasst werden. Für die Messung teilt man den Messquerschnitt in gleich große Teilflächen ein, deren Flächenmittelpunkt als Messpunkte verwendet werden (Netzmessung). Bei dieser Aufteilung setzt man voraus, dass in dem jeweiligen Flächenpunkt die mittlere Gasgeschwindigkeit und die mittlere Massenstromdichte für den Teilquerschnitt vorliegen (VDI 2066, Blatt 1). Bei den üblicherweise an Deponiegasbehandlungsanlagen vorhandenen kreisförmigen Querschnitten wird die Messebene in Ringe gleicher Fläche aufgeteilt. Nachstehende Abbildung aus VDI-Richtlinie 2066 zeigt die Lage der Messpunkte bei kreisförmigen Querschnitten.



$$a_n = D \cdot \frac{1}{2} \left(1 \pm \sqrt{\frac{2i - 2n + 1}{2i}} \right) = D \cdot K_n$$

i Anzahl der Teilflächen
n Ordnungszahl

Abb.7-3: Anordnung der Messpunkte bei einer Netzmessung in einem kreisrunden Querschnitt mit zwei Messachsen

Im Normalfall wird auf zwei 90° versetzten Achsen gemessen. Bei sehr gleichmäßiger Strömung ist auch eine Messachse ausreichend, wäh-

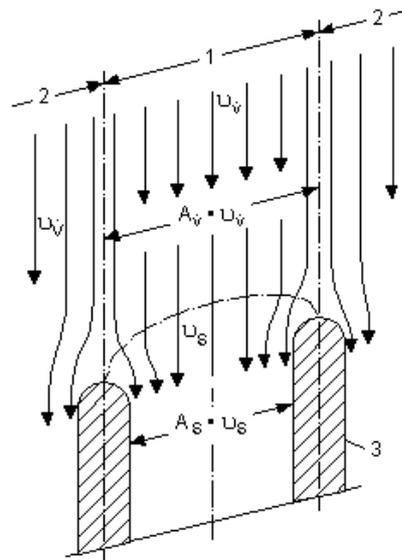
rend in Sonderfällen auch mehr als zwei Achsen erforderlich sein können. Die erforderliche Anzahl der flächengleichen Rechtecke oder Ringe richtet sich nach der Strömungsverteilung und nach der Fläche des Messquerschnittes. Je ungleichmäßiger die Gas- und Staubverteilung ist, um so mehr Messpunkte sind vorzusehen.

Bei der Probenahme von Staub und HCl aus dem strömendem Abgas ist auf geschwindigkeitsgleiche Entnahme zu achten, damit es wegen der Trägheit der Teilchen nicht zu einer Entmischung bzw. Verschiebung der Partikelgrößenverteilung während der Probenahme und damit zu einer Veränderung des Massengehaltes kommt. Ist die Absaugeschwindigkeit zu groß, werden Minderbefunde ermittelt und umgekehrt. Eine schematische Darstellung der isokinetischen (geschwindigkeitsgleichen) Absaugung zeigt nachstehende Abbildung. Die Notwendigkeit einer repräsentativen Erfassung und Probenahme gilt auch für gasförmige Emissionen.

Bei der manuellen Probenahme bestehen prinzipiell zwei Möglichkeiten, die mittlere Konzentration über den Messquerschnitt zu bestimmen.

- An den einzelnen Messpunkten wird jeweils die örtliche Emissionskonzentration, z. B. mit Hilfe eines die Konzentration messenden Gasanalysators, und die örtliche Geschwindigkeit bestimmt oder
- mit Hilfe eines Sammelsystems, z. B. Waschflaschen, wird an jedem Messpunkt eine aliquote Teilmenge entnommen (vergleichbar zur Staubmessung).

Im letzten genannten Fall ist die Probeentnahme geschwindigkeitsproportional durchzuführen. Entscheidend ist, dass der Sammelphase proportional zum Massenstrom in der jeweiligen Kontrollfläche eine bestimmte Masse zugeführt wird. Wenn in einer Kontrollfläche im Messnetz wegen einer höheren Abgasgeschwindigkeit ein höherer Teilmassenstrom vorliegt, ist der Absaugvolumenstrom der extraktiv arbeitenden Sammelphase auf die höhere Geschwindigkeit anzupassen. Das bedeutet jedoch nicht zwangsläufig eine isokinetische Probenahme wie bei der Staubmessung, sondern eine geschwindigkeits- oder massenproportionale Entnahme.



- 1 Teilstrom \dot{v}
- 2 Hauptstrom \dot{V}
- 3 Entnahmesonde S
- A Querschnitt
- A_v Teilstromquerschnitt = wirksamer Sondenquerschnitt A_s
- u Geschwindigkeit
- Gleichheitsbedingung: $u_v = u_s$
- Kontinuitätsbedingung: $A_v \cdot u_v = A_s \cdot u_s$

Abb.7-4: Schema der isokinetischen Teilstromentnahme

7.3 Methodenvorschrift

Die behördlich nach BImSchG vorgeschriebenen und im Genehmigungsbescheid festgelegten Emissionsmessungen nach TA Luft dürfen nur durch nach § 26, 28 bekanntgegebene Messstellen durchgeführt werden. Wichtig ist hierbei, dass eine Messplanung erstellt wird, die mit dem Anlagenbetreiber und ggf. mit der Aufsichtsbehörde abzustimmen ist und dass nur Messverfahren und -geräte zum Einsatz kommen, die dem Stand der Technik entsprechen. Für die Messungen an Deponiegasfackeln und deponiegasbetriebenen Motoren üblicherweise zu bestimmenden Komponenten sind diese Messverfahren in folgenden Richtlinien festgeschrieben:

*Bekanntgegebene
Messstellen*

Tab.7-1: Richtlinien für Abgasmessungen

Komponente	Richtlinie	Datum	Art d. Messung	erforderlich bei
Messplanung	VDI 2448 Bl. 1	04/92		Fackel+Motor
	VDI 2448 Bl. 2	07/97		
	VDI 4200	12/00		
	VDI 2066 Bl. 1	10/75		
Staub	VDI 2066 Bl. 1	10/75	diskontinuierlich	Motor
	VDI 2066 Bl. 7	08/93		
CO	VDI 2459 Bl. 6	11/80	kontinuierlich	Fackel+Motor
NO _x	VDI 2456 Bl. 6	05/78	kontinuierlich	Fackel+Motor
	VDI 2456 Bl. 7	04/81	kontinuierlich	
	DIN 33962		kontinuierlich	
SO ₂	VDI 2462 Bl. 4	08/75	kontinuierlich	Fackel+Motor
HCl	DIN EN 1911 Bl. 1-3E	09/95	diskontinuierlich	Fackel+Motor
HF	VDI 2470	10/75	diskontinuierlich	Fackel+Motor
Gesamt-C	VDI 3481 Bl. 1	08/75	kontinuierlich	Fackel+Motor
Aldehyde	VDI 3862 Bl. 2 E	10/99	diskontinuierlich	Motor
Dioxine/Furane	DIN EN 1948	05/97	diskontinuierlich	Motor

Wie bereits angesprochen, enthalten diese Richtlinien Handlungsanweisung zur Ermittlung der Einzelparameter. Für die als Bezugsparameter zu erfassende Messgröße O₂ und die als Hilfsparameter zur Plausibilitätsprüfung dienende CO₂-Konzentrationen existieren keine VDI-Richtlinien.

Anmerkung:

Bei den im Rahmen der Deponieselbstüberwachung durchzuführenden Abgasmessungen ist es natürlich nicht erforderlich, alle o.g. Messungen durchzuführen. Wie bereits angesprochen, ist es ausreichend, bei den Gasmotoren jährlich die Parameter CO und NO_x zu ermitteln. Hierbei sollten jedoch die Randparameter Abgastemperatur, Strömungsgeschwindigkeit und Sauerstoff mit erfasst werden. Die prinzipiellen Arbeitsschritte einer solchen Messung lassen sich wie folgt aufgliedern:

Eingeschränkter Parameterumfang bei Deponieselbstüberwachung

- Festlegen der Messpunkte nach VDI-Richtlinie 2066

- Durchführen der Strömungsmessung mit Prandtl-Staurohr und Ermittlung des Abgasvolumenstromes
- Ermittlung der Abgastemperaturen an den einzelnen Messpunkten
- Einbau der Messgasentnahmesonde
- Anschluss des Abgasmessgerätes und Durchführung der Messung gemäß Bedienungsanleitung Messgerät

7.4 Auswertung

- Umrechnen der ermittelten CO und NO_x-Konzentrationen auf den Sauerstoffbezugswert gem. TA Luft nach folgendem Formalismus

$$E_B = \frac{21 - O_B}{21 - O_M} \times E_M$$

hierbei gilt:

- E_M : gemessene Konzentration
- O_B : Sauerstoffbezugswert, für Gasmotoren 5 %
- O_M : gemessene Sauerstoffkonzentration
- E_B : auf den Sauerstoffbezugswert bezogene Konzentration

- Vergleich der rechnerisch ermittelten Konzentrationen mit dem Grenzwerten nach TA Luft bzw. Genehmigungsbescheid der Anlage.
- Bei Überschreitung Optimierung der Motoreneinstellung oder Durchführung von Wartungsarbeiten.

7.5 Bezugswerte

Die für die Deponiegasbehandlung bzw. energetische Gasnutzung relevanten Emissionswerte ergeben sich aus der TA Luft bzw.

individuellen Genehmigungsbescheiden. Gemäß TA Luft gelten folgende Emissionsbegrenzungen:

7.6 Fehlerbetrachtung, Querempfindlichkeiten

Mögliche Fehler können durch eine nicht fachgerechte Probenahme auftreten. Beispiele hierfür sind Undichtigkeiten in der Probenahmeeinrichtung, Einsatz nicht kalibrierter Messgeräte etc. Weitere Ausführungen sind den einschlägigen VDI-Richtlinien zu entnehmen.

7.7 Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers

Das im Rahmen der Eigenüberwachung eingesetzte Personal muss sachkundig sein und Kenntnis im Umgang mit den eingesetzten Messgeräten bzw. der grundlegenden Zusammenhänge der Gasverbrennung aufweisen.

Messaufgaben zum Nachweis der Vorgaben aus TA Luft bzw. Genehmigungsbescheiden dürfen nur durch bekanntgegebene Messstellen nach § 26, 28 BImSchG erfolgen.

Abschnitt 8

Überwachungsmethode (ÜM 2.4.6)

Geruchsemissionen

8.1 Bezug

Der Bezug zu dieser Überwachungsmethode ergibt sich aus TA Abfall Anhang G, Tabelle I „Datenerfassung bei oberirdischen Deponien während der Betriebs- und Nachsorgephase“.

8.2 Theoretische Grundlagen

Geruchsmessung und Geruchsprognosen

Zur Beurteilung von Gerüchen gibt es zur Zeit keine objektive Messmethode im herkömmlichen Sinne. Zwar ist es generell möglich, mit Hilfe von aufwändigen chemischen Analysentechniken in der Abluft enthaltene Einzelstoffe zu ermitteln, eine gaschromatische Auftrennung in Geruchsstoffe und nicht riechende Substanzen ist mit den herkömmlichen Detektoren, wie Flammenionisationsdetektor (FID), Elektroneneinfangdetektor (ECD), Wärmeleitfähigkeitsdetektor (WLD) usw., jedoch nicht möglich. Es ist auch nicht zu erwarten, dass die summarische Detektion von Gerüchen durch die Nase, die sogenannte Olfaktometrie, in absehbarer Zeit einer adäquaten objektiven, d. h. chemischen Methode weichen muss.

Um die Vorgehensweise bei der olfaktometrischen Messung sowie Probenahme und Auswertung zu standardisieren, wurde die VDI Richtlinie 3881, Blatt 1 - 4 ausgearbeitet. Ziel der Olfaktometrie ist die Messung von Luftverunreinigungen in geruchs- und damit wirkungsbezogenen Einheiten. Die Geruchsstoffkonzentration der zu messenden Probe wird dabei mit dem Olfaktometer durch Verdünnung mit Neutralluft bis zur Geruchsschwelle bestimmt. Die Geruchsschwelle ist die Geruchsstoffkonzentration, welche bei 50 % einer

Probandengruppe zu einem Geruchseindruck führt und beträgt definitionsgemäß 1 GE/m^3 . Aus dem Verhältnis der Volumenströme der Neutralluft und der Probeluft ergibt sich der Zahlenwert der Geruchsstoffkonzentration auch Geruchszahl oder Verdünnungszahl genannt, mit der Einheit GE/m^3 .

Die Auswahl der Probanden erfolgt nach der VDI-Richtlinie 3881 Blatt 1, die im wesentlichen eine Altersstruktur zwischen 18 und 50 Jahren vorgibt. Unterschiede zwischen Rauchern und Nichtrauchern sowie des Geschlechts können vernachlässigt werden, da bei Ringversuchen keine signifikanten Unterschiede festgestellt wurden. Neue Probanden sind erfahrungsgemäß nach ein bis zwei Messungen mit den Bedingungen vertraut. Die Probanden müssen mit Standardgeruchsstoffen überprüft werden, wobei die Fähigkeit der Probanden überprüft wird, gewisse Gerüche mehrere Male zuverlässig zu detektieren (Wiederfindungsrate). Bei der Bestimmung der Geruchsschwelle müssen mindestens drei Probanden eingesetzt werden, bei der Bestimmung der Geruchsintensität mindestens acht.

Bestimmung der Geruchsschwelle

Die Darbietung der Richtprobe ist in der VDI-Richtlinie 3881 Blatt 1 beschrieben. Darin ist angegeben, dass sich die benachbarten Konzentrationsstufen um nicht mehr als den Faktor 2 unterscheiden sollen. Größere Schrittweiten führen zu größeren Unsicherheiten bei den Ergebnissen. Wesentlich kleinere Schrittweiten erhöhen den Aufwand und belasten die Probanden.

Zur Bestimmung der Geruchsschwelle und der Geruchsstoffkonzentration muss der Proband lediglich mitteilen, ob er etwas riecht oder nicht. Zur Anwendung kommt die Ja/Nein - Methode. An der zu untersuchenden Luftprobe muss der Proband entscheiden, ob er etwas riecht oder nicht, und demgemäß mit Ja („ich rieche etwas“) oder Nein („Ich rieche nichts“) antworten. Dies geschieht über ein Taste die nur bei Ja („ich rieche etwas“) gedrückt wird.

Die Auswertung erfolgt nach der Methode des geometrischen Mittels. Sie ist zwar die einfachste Methode, hat aber den Nachteil, dass die Fehlererkennung erschwert wird.

Bestimmung der Geruchsintensität

Da die Breite des Vertrauensbereiches stark von der Probandenzahl abhängig ist, muss die Stichprobengröße (minimale Probandenzahl) den Genauigkeitserfordernissen der Messaufgabe angepasst werden. Es sind mindestens acht Probanden einzusetzen. Bei der Probandenauswahl sind Erfahrungen über die Fähigkeiten der Riecher (Gesundheit, Räteneignung, Entscheidungsfreudigkeit) der Geruchsschwellenbestimmung heranzuziehen. Die Empfindlichkeit der Riecher (Lage der individuellen Geruchsschwelle) ist kein Kriterium für die Probandenauswahl.

Zur Abschätzung des Konzentrationsbereichs für die Intensitätsbestimmung wird eine orientierende Geruchsschwellenbestimmung vorangestellt. Vor der eigentlichen Intensitätsmessung ist der Proband dann mit dem zu beurteilenden Geruchsstoff vertraut zu machen, indem ihm eine deutlich wahrnehmbare Probe angeboten wird.

Die Konzentrationen der überschwelligen Reize sollten sich etwa um den Faktor 2 unterscheiden. Bei der Festlegung der höchsten Konzentration, die zur Beurteilung angeboten werden soll, ist zunächst die Toxizität des zu untersuchenden Gases zu beachten, um eine Gefährdung der Probanden sicher auszuschließen.

Die Reizdarbietung erfolgt nach dem Konstanzverfahren, d. h. die Reihenfolge der dargebotenen Konzentrationsstufen ist zufällig. Der überschwellige Reiz sollte bis zur Entscheidung des Probanden anstehen, höchstens jedoch 15 s.

Die Pause zwischen den Reizen soll mindestens 1 min betragen. Messreihen sind mehrfach zu wiederholen. Bei der Reizdarbietung ist zur Vermeidung von Adaption und Habituation zwischen den einzelnen Konzentrationsstufen Neutralluft anzubieten.

Zur Beurteilung der Geruchsintensität der dargebotenen Riechprobe ordnet der Proband seinen Geruchseindruck einem der in der nachfolgenden Skala genannten Begriffe zu.

Tab.8-1: Geruchsintensitätsstufen

Geruch	Intensitätsstufe
extrem stark	6
sehr stark	5
stark	4
deutlich	3
schwach	2
sehr schwach	1
nicht wahrnehmbar	0

Ausgehend von der Gültigkeit des Weber-Fechner-Gesetzes sind diese Beurteilungsklassen verbal so belegt, dass das gesamte Intensitätsspektrum in möglichst gleichen Abständen abgedeckt ist. Zur Verstärkung dieser Eigenschaften wurden den verbalen Kategorien Zahlen entsprechend zugeordnet.

Die Skala ist nach oben offen. Dem Probanden wird bei der Einweisung gesagt, dass er Bewertungen über Stufe 6 hinaus vornehmen kann. Messwerte größer als Stufe 6 werden in der Kategorie 6 zusammengefasst.

Entnahme von Geruchsstoffproben

Voraussetzung für die Bestimmung der Geruchsschwelle und der Geruchsintensität ist die Probenahme. Die VDI Richtlinie 3881 unterscheidet dabei zwischen der dynamischen und der statischen Probenahme.

Bei der dynamischen Probenahme wird die zu beprobende Luft direkt von der Probenahmestelle in den Olfaktometer geleitet. Dies Verfahren ist nur dann anwendbar, wenn sichergestellt ist, dass Probenahmeort und Olfaktometer zwar räumlich dicht zusammenliegen, die Probanden aber von der Probenahme nicht durch „Störgerüche“ beeinflusst werden. Die Auswertung der Geruchsproben erfolgt zeitgleich mit der Probenahme.

Statische und dynamische Probenahme

Bei der statischen Probenahme werden die Geruchsproben am Probenahmeort mit Hilfe eines Unterdruckzylinders in gasdichte Beutel gezogen, und später am Olfaktometer ausgewertet. Probenahmeort und Olfaktometer sind räumlich getrennt, eine Beeinflussung der Probanden durch „Störgerüche“ kann damit verhindert werden.

Bestimmung der Geruchsmissionen mittels Ausbreitungsrechnung nach dem Faktor 10 Modell

Die VDI-Richtlinie 3881 regelt durch die olfaktometrische Bestimmung von Gerüchen die Bestimmung von Geruchsemissionen. Will man Aussagen über die Geruchsmissionen, also über das Auftreten von Gerüchen an einem bestimmten Aufpunkt machen, beispielsweise in einer Ortschaft in der Nähe einer Deponie, kann man mit Hilfe der olfaktometrisch ermittelten Geruchsstoffkonzentration eines Emittenten und einer anschließenden Ausbreitungsrechnung eine Geruchsprognose für den Aufpunkt erstellen. Als Ausbreitungsmodell ist derzeit nur das Faktor-10-Modell in Anlehnung an den Anhang C der TA-Luft relevant. Dieses Ausbreitungsmodell ist für den Einsatz an diffusen Flächenquellen (Deponien) allerdings nur bedingt geeignet. Der Hauptnachteil liegt in der Beschränkung der TA-Luft auf eine Punktquelle. Zwar lässt sich TA-Luft-konform eine Emissionsflächenquelle zu einer Punktquelle zusammenfassen, (d. h. dass es rechnerisch nur noch einen Emissionspunkt gibt), wo aber der Emissionspunkt liegt, hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie z. B. der topographischen Lage der Deponie, den unterschiedlichen Abfällen, die an unterschiedlichen Stellen der Deponie eingebaut sind, den klimatischen Begebenheiten an der Deponie usw.

Geruchsmissionsbestimmung mittels Ausbreitungsrechnung

Von der VDI-Kommission „Reinhaltung der Luft“ wird derzeit ein neues Ausbreitungsmodell für Emissionsflächenquellen erarbeitet, das sämtliche Eventualitäten (speziell auch bei Deponien) mit einschließen soll. Bis dieses aber zur Anwendung kommen kann, wird noch einige Zeit vergehen. Die Ausbreitungsrechnung mit dem Faktor-10-Modell ist jedoch Grundlage für die Bewertung von Geruchsmissionen anhand der Geruchsmissionsrichtlinie.

Geruchsbegehung nach VDI - Richtlinie 3940

Geruchsbegehungen umfassen in erster Linie die Messung der Fahnenreichweite (Fahnenbegehungen), des Zeitanteils der Geruchsmissionen (Rasterbegehungen) sowie die Belästigungserhebungen durch Befragung. Diese Messverfahren ermöglichen es, direkt durch die Wirkung von Geruchsstoffen auf den menschlichen Geruchssinn Informationen zur bestehenden Belästigung am Immissionsort zu erhalten und somit einen entsprechenden Ist-Zustand zu beschreiben. Dabei ist keine Kenntnis der Art der Abluftzusammensetzung oder der Konzentrationen der einzelnen Stoffe und Stoffgemische erforderlich, die mit-

Geruchsbegehungen als Fahnenbegehungen bzw. Rasterbegehungen möglich

unter nur durch einen erheblichen apparativen Aufwand ermittelbar wären. Außerdem würden diese stoffbezogenen Daten nur selten zu geruchsspezifischen Aussagen führen.

Die wesentliche Messgröße bei der Immissionsbestimmung mittels Begehung ist der sogenannte „Geruchszeitanteil“. Hierbei handelt es sich um die Häufigkeit, mit der die Erkennungsschwelle in der Außenluft in einem bestimmten Messzeitintervall überschritten und Gerüche eindeutig erkannt werden. Die relative Häufigkeit von Geruchseinwirkungen wird definiert als der prozentuale Anteil der Bezugszeit, in der sich der Geruch wahrnehmen lässt.

In Abhängigkeit von der jeweiligen Messaufgabe werden Raster- oder Fahnenbegehungen durchgeführt. Bei Rasterbegehungen legt man ein fiktives Netz von Rasterpunkten über das Beurteilungsgebiet, in dessen Zentrum sich die Emissionsquelle befindet. Auf diese Weise lassen sich flächenbezogene Aussagen treffen. Bei Fahnenbegehungen hingegen werden nur im Bereich der möglichen Geruchsfahne, d. h. im Lee der Emissionsquelle, Untersuchungen durchgeführt. Demzufolge lassen sich auch nur für diesen Bereich, der von der während der Untersuchung herrschenden Windrichtung abhängt, geruchsspezifische Aussagen ableiten.

Da aus pragmatischen Gründen ein Messzeitintervall keine volle Stunde dauern kann, wurde als Zeitrahmen pro Teilbegehung die Dauer von 10 min festgelegt. Dieses Messzeitintervall ist erforderlich, um mit mindestens 80%iger Sicherheit repräsentative Informationen zur Geruchs-situation einer Stunde zu erhalten. Die Probanden bestimmen die jeweiligen Zeitanteile mit Geruchswahrnehmungen. Üblich sind Riechproben in regelmäßigen Zeitanteilen, z.B. alle 10 s. In diesem Fall erhält man durch regelmäßiges Einatmen alle 10 s im Zeitraum von 10 min 60 Riechergebnisse. Die Zeitabschnitte mit Geruchswahrnehmungen am gesamten Messzeitintervall sind dann zusammen der Geruchszeitanteil.

Da Gerüche schon nach kurzer Wahrnehmungszeit als lästig empfunden werden können, ist es üblich, auch Gerüche, die in geringfügigen Zeitabschnitten wahrnehmbar sind, so zu behandeln, als hätte man sie während einer gesamten Stunde gerochen. Man spricht dann von einer Geruchsstunde, wenn innerhalb von 60 min mindestens 6 min (10%) ein Geruchseindruck empfunden wurde. Bei der Immissionszeit-

bewertung wird demzufolge ein Zeitraum von 6 min mit einer Stunde gleichgesetzt.

Im allgemeinen prüfen die Probanden den jeweiligen Geruch anhand eines festgelegten Schlüssels für bestimmte Geruchsarten. Nicht vereinbarte Arten werden als "sonstige Gerüche" aufgelistet. Neben der Bestimmung des Geruchszeitanteils (es riecht/es riecht nicht nach einer bestimmten Geruchsart) ist es auch möglich, die Intensität der Geruchsempfindung zu bewerten.

Ermittlung der Geruchsfahnenweite

Die Geruchsfahne umfasst das Gebiet Lee einer Emissionsquelle, in dem die zu untersuchenden Gerüche eindeutig erkennbar sind. In diesem Bereich tritt der Geruch überschwellig auf, ein festgelegter Zeitanteil wird überschritten.

Bei der Bestimmung der Reichweite einer Geruchsfahne werden während einer definierten Ausbreitungssituation einzelne Geruchsmessungen in Abhängigkeit von der vorherrschenden meteorologischen Situation (z.B. Windrichtung, Windstärke) durchgeführt. Eine Fahnenbegehung besteht aus mehreren Teilbegehungen in unterschiedlichen Entfernungen im Lee einer Emissionsquelle, da die Ausbreitungsrichtung üblicherweise mit der Windrichtung zusammenfällt. Gefordert sind wenigstens 3 Schnittmessungen. Hierbei müssen sich die Probanden an Messpunkten senkrecht zur Ausbreitungsrichtung postieren. Der Abstand der Messpunkte pro Schnittlinie zueinander richtet sich nach der Breite der Auffächerung der Geruchsfahne. Da mindestens 5 Messpunkte pro Schnittlinie zeitgleich beprobt werden sollen, ist ein Probandenkollektiv von mindestens 5 Personen erforderlich.

Ermittlung des Geruchszeitanteils durch Rasterbegehung

Auch bei der Durchführung von Rasterbegehungen zum Erhalt einer flächenbezogenen Aussage werden Einzelmessungen organisiert. Das zu untersuchende Gebiet wird fiktiv mit einem gleichmäßigen Netz von Messpunkten überzogen (Raster), wobei das sich aus jeweils 4 dieser Messpunkte ergebende Quadrat eine Beurteilungs- bzw. Rasterfläche ist. Die Schrittweite des Rasternetzes (Abmessung einer Rasterfläche) legt man in Abhängigkeit von der Messaufgabe und der Größe des gesamten Beurteilungsgebietes fest. Entsprechend der Geruchsimmissi-

onsrichtlinie (GIRL, siehe unten) ist eine Seitenlänge der Raster von 250 m zu wählen.

Rastermessungen liefern Kennwerte der einzelnen Beurteilungsflächen eines Beurteilungsgebietes, unabhängig von der Bestimmung meteorologischer Größen. Erst die zusätzliche Bestimmung der Windrichtung mittels Kompass, Fahne o.ä., bzw. die Auswertung der Wetterdaten benachbarter Windmessstationen gibt wichtige Hinweise auf den Verursacher der im Verlauf der Begehung festgestellten Geruchsmissionen.

Der Messzeitraum soll für ein Gesamtjahr repräsentativ sein. Im Regelfall beträgt er 6 Monate (Januar bis Juli oder Juli bis Dezember), kann aber auch in Sonderfällen auf 3 Monate reduziert werden. Die zeitliche Verteilung der Messungen soll gleichmäßig über die 24 Stunden des Tages erfolgen oder sich an der Betriebszeit der geruchsemittierenden Anlage orientieren.

Üblicherweise sind pro Messpunkt 13 unabhängige Einzelmessungen während des Zeitraums von 6 Monaten durchzuführen. Aus den an 4 Eckpunkten einer Beurteilungsfläche ermittelten Geruchsstunden wird die Zahl der Geruchsstunden für die betreffende Beurteilungsfläche bestimmt. Die jeweils benachbarten Messpunkte müssen an unterschiedlichen Tagen begangen werden. Daraus ergibt sich, dass pro Beurteilungsfläche und Messperiode 4 unterschiedliche Messtage in der Kenngrößenermittlung eingehen und somit die Repräsentanz der Messung erhöhen.

Die vor jeder Begehung getesteten Probanden zeichnen jeweils über 10 min pro Messpunkt die wahrgenommenen Geruchseindrücke auf, wobei darauf zu achten ist, dass nur die mit hinreichender Sicherheit und zweifelsfrei der entsprechenden Emissionsquelle zuzuordnenden Geruchsmissionen dokumentiert werden, d.h., neben der zeitlichen Erfassung einer Geruchswahrnehmung ist auch die Geruchsart zu registrieren. Somit gilt auch hier, dass nicht die Geruchsschwelle von 1 GE/m³ (es riecht/es riecht nicht), sondern die Wahrnehmungsschwelle von 3 - 5 GE/m³ der Messung zugrunde liegt.

Bewertung von Gerüchen

Hedonität

Gerüche lassen sich nicht nur als schwach oder stark, sondern auch als angenehm oder unangenehm einstufen. Diese Bewertung von Riechproben hinsichtlich ihrer hedonischen Wirkung ist gleichfalls eine Beurteilung im Bereich überschwelliger Geruchsstoffkonzentrationen, die mittels Olfaktometer durchgeführt wird.

In Abhängigkeit von Geruchsstoff bzw. der Geruchsstoffmischung, der Geruchsstoffkonzentration und dem individuellen Erfahrungshintergrund des jeweiligen Probanden werden Empfindungen auf einer neunteiligen Skala von „angenehm“ bis „unangenehm“ beschrieben.

Die hedonische Wirkung eines Geruches ist nicht mit der Geruchsart (es riecht nach) und der Geruchsintensität (es riecht „stark“ bis „schwach“) zu verwechseln, sondern die Testperson beschreibt hierbei ihre persönlichen Empfindungen. Im Vergleich zur Geruchsintensität, bei der weitgehend Ähnlichkeiten zwischen den Empfindungsstärken zu finden sind, weisen die Aussagen zur hedonischen Wirkung häufig starke Unterschiede auf. Sie lassen sich auf die Entwicklung des einzelnen Probanden hinsichtlich Erziehung, Geruchserfahrung, Kulturkreis und Lebensumfeld zurückführen.

Aufgrund der individuellen Unterschiede bei der Bewertung einer hedonischen Geruchswirkung werden mindestens 15 Probanden für die Bestimmung eines Parameters eingesetzt. Auch hierbei ist die persönliche Geruchssensibilität der einzelnen Testpersonen kein Kriterium für deren Auswahl. Die Messung erfolgt im überschwelligen Bereich nach der Konstanzmethode, wobei ca. 10 Konzentrationsstufen pro Messreihe über jeweils maximal 15s den Probanden dargeboten werden. Zwischenzeitlich lässt man Nullproben analysieren, d.h., es wird geruchsneutrale Luft dargeboten, um etwaige Rate-Tendenzen bei den Probanden bzw. eine Verunreinigung des Olfaktometers feststellen zu können.

Die beschriebene Maßmethode zur Ermittlung der hedonischen Geruchswirkung wird heute in der Praxis des Immissionsschutzes ebenfalls nur selten angewendet, da die Tatsache, dass unangenehme Gerüche belästigender sind als gleich starke angenehme, noch keine Berücksichtigung findet. Im Vordergrund steht vielmehr die Ermittlung der Geruchsschwelle, nicht jedoch das Belästigungspotential. In anderen Län-

dern (z.B. Niederlande) verhält es sich genau umgekehrt. Man kann deshalb davon ausgehen, dass dieser Parameter für die zukünftige Beurteilung von Geruchsbelästigungen auch in Deutschland zunehmend Bedeutung erlangen wird.

Geruchsimmissionsrichtlinie

Die Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL) dient der Bewertung der Erheblichkeit von Gerüchen entsprechend den Vorgaben der TA Luft. Dabei wird der Immissionsbeitrag aus einer vorhandenen Belastung und einer Zusatzbelastung zusammengesetzt. Die vorhandene Belastung kann nach den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3940, „Bestimmung der Geruchsstoffimmission durch Begehen“ ermittelt werden. Für die zu erwartende Zusatzbelastung ist jedoch eine Ausbreitungsrechnung erforderlich. Die GIRL sieht als Ausbreitungsmodell entweder das Verfahren entsprechend der VDI-Richtlinie 3782, Blatt 4 (Entwurf), Ausbreitung von Geruchsstoffen in der Atmosphäre, vor (das jedoch vom VDI aufgrund nicht ausräumbarer sachlicher Einsprüche ersatzlos zurückgezogen wurde), oder das Faktor-10-Modell in Anlehnung an die TA Luft, Anhang C.

Bewertung der Erheblichkeit von Gerüchen

Die Anwendung dieser Regel auf eine Emissionflächenquelle bei Deponien sollte, im Sinne einer Abschätzung, bis zum Vorliegen der o.a. speziellen Richtlinie beschränkt werden.

Eine Geruchsimmission ist im Sinne der GIRL als erhebliche Belästigung zu werten, wenn die Gesamtbelastung IG die in nachfolgender Tabelle angegebenen Immissionswerte IW überschreitet. Bei den Immissionswerten handelt es sich um relative Häufigkeiten der Geruchsstunden.

Tab.8-2: Immissionswerte IW für verschiedene Baugebiete

Wohn-/Mischgebiete	Gewerbe-/Industriegebiete
0,10	0,15

Die Gesamtbelastung IG setzt sich zusammen aus der vorhandenen Belastung IV und der Zusatzbelastung IZ.

$$IG = IV + IZ$$

Vorhandene Belastung IV

Zur Bestimmung der vorhandenen Belastung werden gemäß der GIRL die Werte einer Begehung nach VDI-Richtlinie 3940 herangezogen. Eine Deponie ist i.d.R. emissionsarm zu betreiben, jedoch kann man davon ausgehen, dass auch bei normalem Deponiebetrieb mit Geruchsemissionen zu rechnen ist. Entsprechend Nr. 4.1.4. der GIRL wird die vorhandene Belastung mit 50% des Immissionswertes IW angesetzt, für Wohn-/Mischgebiete also mit $0,5 \cdot 0,10$. Somit folgt die vorhandene Belastung **IV = 0,05**.

Zusatzbelastung IZ

Zur Ermittlung der zusätzlichen Belastung wurde eine Probenahme mit anschließender olfaktometrischen Auswertung und Bestimmung der Geruchsschwelle durchgeführt. Um eine Ausbreitungsrechnung nach TA Luft, Anhang C, durchführen zu können, ist eine genaue Kenntnis der Häufigkeitsverteilung von Mittelwerten der Windgeschwindigkeit und -richtung, als 10-Jahres-Mittelwerte, nötig. Eine solche Ausbreitungsklassenstatistik kann vom Deutschen Wetterdienst für das jeweilige Gebiet bezogen werden. Wird für sämtliche Ausbreitungssituationen eine Ausbreitungsrechnung durchgeführt, ergibt sich für jede Berechnung am Aufpunkt eine Geruchsstoffkonzentration größer oder kleiner als 1 GE/m^3 . Für die Betrachtung der Erheblichkeit von Geruchsimmissionen sind nur diejenigen Konzentrationen größer 1 GE/m^3 relevant. Die entsprechenden Häufigkeiten dieser Situationen können aus der Tabelle der Ausbreitungsklassenstatistik entnommen werden. Die Zusatzbelastung errechnet sich nun als Addition der relevanten Häufigkeiten.

8.3 Methodenvorschrift

Vorgehensweise zur Geruchsmessung auf passiven Emissionsflächen

Um eine Geruchsausbreitung möglichst genau erfassen und bewerten zu können, sind nicht nur die Entstehung und der Ort der Emission zu ermitteln, sondern es muss zusätzlich der gesamte Vorgang der Ausbreitung in der Atmosphäre genauestens erfasst werden.

Dabei spielt die am Entstehungsort herrschende Windgeschwindigkeit ebenso eine Rolle wie die weitere Ausbreitungscharakteristik (Verwirbelungen, Kaltluftabflüsse usw.). Ausgehend von einer exakten Ermittlung

der Emission baut sich die gesamte Immissionsprognose auf dem Wert für die an exponierter Stelle ermittelte Geruchsschwelle auf.

Dabei ist für folgende Schritte unbedingt darauf zu achten, dass:

neben den von der Deponieoberfläche ausgehenden Geruchsemissionen auch erhebliche Emissionen aufgrund von Abschütt- und Einbautätigkeiten, sowie durch undichte Gasbrunnen entstehen können. Bei eigenen Untersuchungen wurde festgestellt, dass insbesondere auf Deponien mit kleiner Einbaufläche die Geruchsemissionen der Einbauvorgänge und Gasbrunnen um einiges höher liegen, als die eigentlich zu ermittelnden Emissionen der Deponieoberfläche, sodass die über Fahnenbegehung ermittelten Geruchsintensität teilweise um ein vielfaches höher liegt, als die über das Faktor-10-Modell errechnete. Aus diesem Grund wird hier vorgeschlagen den Faktor 10 durch einen für die einzelnen Deponietypen relevanten Faktor K_G zu ersetzen.

*Unterschiedliche
Geruchsquellen
beachten*

Dieser berücksichtigt grob die auf den Deponien mit unterschiedlich vorbehandelten Abfällen ablaufenden Geruchsentstehungsprozessen. So ergaben sich für:

- Siedlungsabfalldéponie mit kleiner Einbaufläche (< 6000m²) $K_G = 2811$
- MBA mit belüfteten Rotten im Freien $K_G = 1996$
- MVA-Schlacken-Deponie $K_G = 420$

Für die Ausbreitung (Transmission) von Gerüchen sind nicht nur die Windgeschwindigkeit, sondern auch die Strömungsverhältnisse zwischen Emissions- und Immissions-Ort von erheblicher Wichtigkeit. Dazu gehört eine Miteinbeziehung der Landschaftsgeometrie genauso wie eine Betrachtung der Kaltluftabflüsse.

So gilt für eine ungestörte, geradlinige Geruchsausbreitung:

Mit zunehmender Windgeschwindigkeit verkürzt sich die Ausbreitungsstanz L und verringert sich der Radius r der kegelförmigen Ausbreitungsgeometrie.

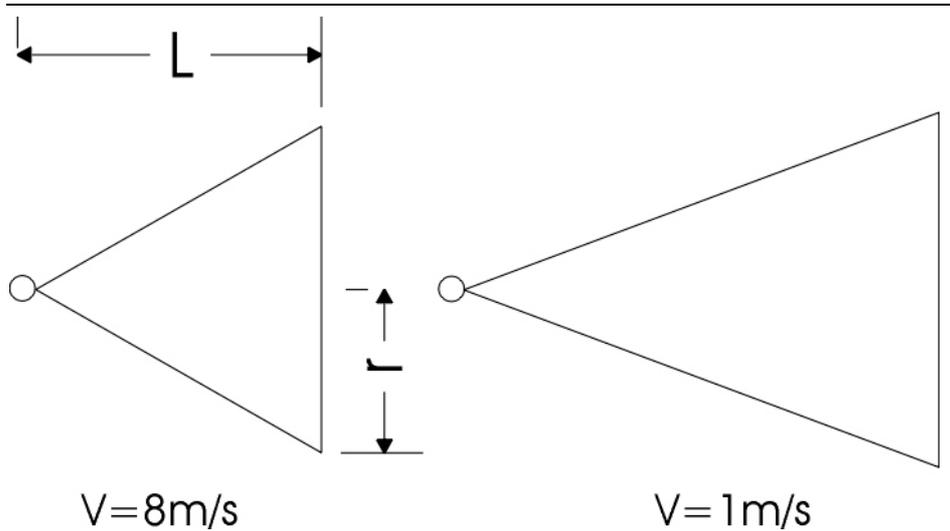


Abb.8-1: Ausbreitungsgeometrie bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten

Bei gestörter und damit nicht geradliniger Ausbreitung bedingt durch Verwirbelungen können Luftdruckschwankungen auftreten, bei denen im Bereich niedrigeren Drucks vermehrt Geruchsbelästigungen stattfinden. Außerdem kann es im Bereich der Verwirbelungen aufgrund sehr starker Geschwindigkeitsdifferenzen zu einer Entmischung der Geruchspartikel mit der „neutralen“ Mischluft kommen.

Da Verwirbelungen bevorzugt in dicht bebauten Siedlungsgebieten auftreten ist die Vermischung von Deponiegerüchen (Primärimmissionen) mit Geruchsemissionen anderer produzierender Betriebe (Sekundärimmissionen) nicht auszuschließen. Eine Immissionsprognose für die betreffende Deponie zu erstellen ist in diesem Fall jedoch außerordentlich schwer, da erst die Gesamtimmission im relevanten Gebiet festgestellt und den Einzelemissionen sämtlicher geruchsproduzierender Betriebe zugeordnet bzw. prozentual gegeneinander aufgerechnet werden muss. Dies ist jedoch in der Praxis so gut wie nicht realisierbar.

Außerdem kann es bei Deponien, die oberhalb des Einwirkungsortes einer Immission liegen, gerade in klaren, kalten und windarmen Nächten zu Kaltluftabflüssen kommen.

Dies bedeutet, dass kalte Luft von der Deponie weg, aufgrund seiner höheren Dichte den Hang entlang in Tal gleitet.

Diese Ausbreitungssituationen sind mit einem herkömmlichen Ausbreitungsmodell jedoch nicht mehr ermittelbar.

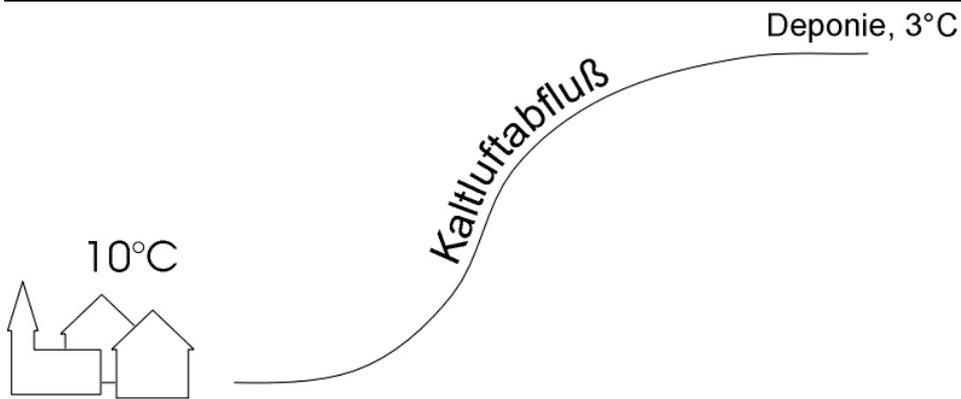


Abb.8-2: Kaltluftabfluss

Aus dem nachfolgenden Schema lässt sich nun die generelle Vorgehensweise für die Geruchsmessung auf Deponien ableiten:

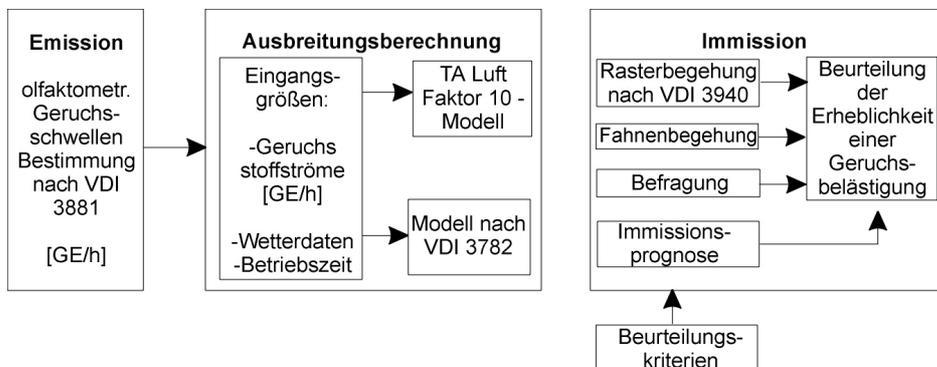


Abb.8-3: Schematischer Ablauf der Ermittlung und Bewertung von Geruchsimmissionen

Arbeitsanweisung zur Geruchsmessung auf passiven Emissionsflächen

Um die Emissionsflächenquelle „Deponie“ bewerten zu können, wird die Deponieoberfläche mit einem geeigneten Raster überzogen. Auf den Rasterpunkten werden Geruchsproben gezogen, die anschließend olfaktometrisch ausgewertet werden. Damit ergibt sich eine „Geruchsemissionskartierung“ der Deponieoberfläche und eine Datenausgangsbasis für nachfolgende Ausbreitungsrechnungen und Immissionbewertungen.

Geruchsemissionskartierung an der Deponieoberfläche

Das Rastermaß kann nicht generell festgelegt werden, sondern richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten, der zur Verfügung stehenden Untersuchungszeit und den zur Verfügung stehenden Messteams. Generell muss darauf geachtet werden, dass pro Messteam und Tag nicht mehr als 12 Proben genommen und olfaktometrisch ausgewertet wer-

den können. Bei einer einwöchigen Untersuchung ergeben sich damit bei 3 Messungen pro Rastermaß maximal 20 Rasterpunkte. Diese sind mit geeignetem Rastermaß gleichmäßig auf die Deponiefläche zu verteilen.

Probenahme

Die Probenahme wird entsprechend der VDI Richtlinie 3881 Blatt 2 (statische Probenahme für nachfolgende olfaktometrische Auswertung) als Haubenmessung durchgeführt.

Haubenmessung

Optimierungen der Strömungsführung in der Haube (z.B. durch Leitbleche, geometrisch angeordnete Öffnungen) oder eine Vorfiltrierung der angesaugten Umgebungsluft durch Aktivkohle führen im Feldversuch zu keinen Verbesserungen bzw. keinen nennenswerten Veränderungen der erzielten Ergebnisse. Das Ansaugen von geruchsbelasteter Umgebungsluft ist nicht zu verhindern, der dadurch entstehende Fehler nicht auszuschließen, da nie eine 100-prozentige Abdichtung der Unterkanten der Haube mit der Deponieoberfläche hergestellt werden kann, was dazu führt, dass immer ein gewisser Prozentsatz Umgebungsluft unter den Kanten hindurch mit eingesaugt wird. Daher wird eine möglichst einfach gebaute und einfach handhabbare Probenahmehaube verwendet.

Als Probenahmehaube wird eine einfache rechteckige Stahlblechhaube mit 0,25 m² Grundfläche verwendet. Bei der Haube ist auf ein kleines Volumen zu achten, damit sich die Zeit für einen Luftwechsel vor der eigentlichen Probenahme gering halten lässt.

Die Haube hat neben der Absaugöffnung eine weitere einfache Öffnung an der gegenüberliegenden Seite der Absaugöffnung. Beide Öffnungen befinden sich an den Stirnseiten der Haube. Die Strömung in der Haube verläuft damit horizontal, da beim Absaugvorgang Umgebungsluft durch die Öffnung mit angesaugt wird. Diese Umgebungsluft ist nicht gereinigt, d.h. sie ist ebenfalls mit Geruchsstoffen aus der Umgebung behaftet. Durch die horizontale Strömung in der Haube sollen die realen Bedingungen auf der Deponie simuliert werden, bei denen durch den Wind, der über die Deponieoberfläche streift, Geruchsstoffe aus der Bodenluft mitgerissen werden. Durch die zweite Öffnung ist ein optimaler Druckausgleich zwischen Haubeninnenraum und Umgebung gewährleistet.

*Geruchsproben auf
Beutel ziehen, Ermittlung
des Quellthermes*

Die Geruchsproben werden mit einem Unterdruckzylinder in gasdichte aluminiumkaschierte Beutel gezogen.

Nachfolgende Skizze zeigt den theoretischen Strömungsverlauf:

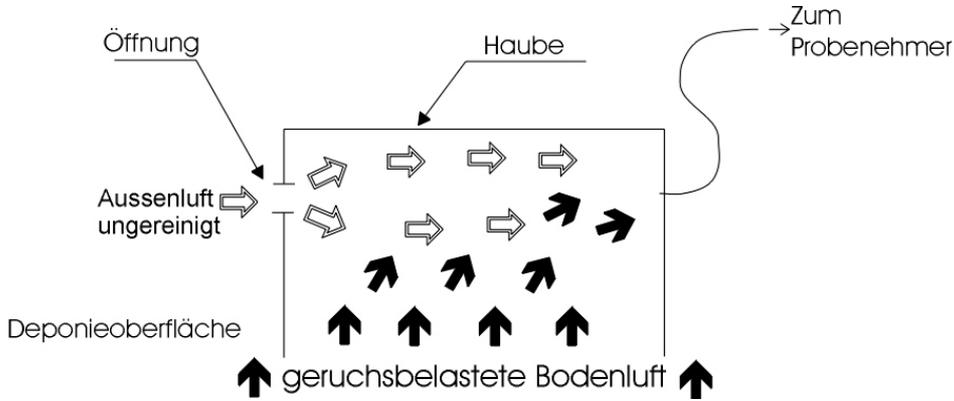


Abb.8-4: Theoretischer Strömungsverlauf in Haube

Das Messprinzip, die Abmessungen und weitere Auslegungsdaten sind nachfolgend dargestellt.

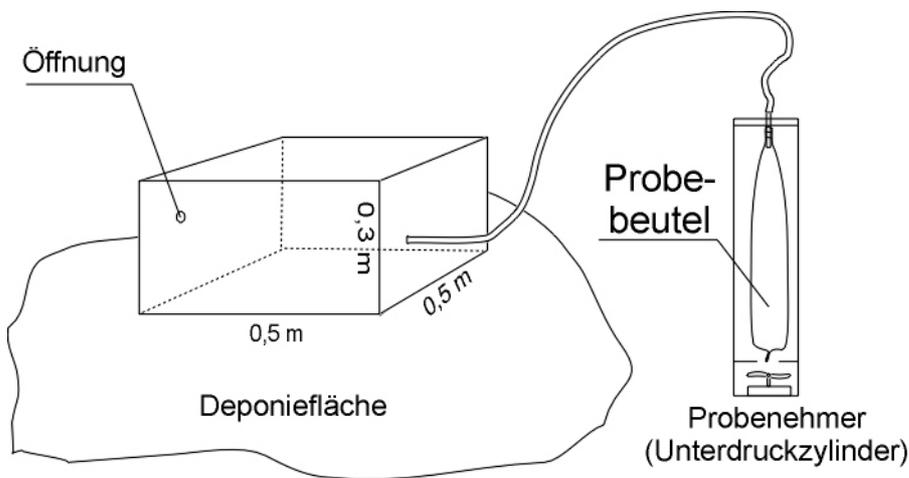


Abb.8-5: Messprinzip mit Haube

Grundfläche der Haube:

$$A = 0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 0,25 \text{ m}^2$$

Querschnittsfläche der Haube:

$$A_Q = 0,5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} = 0,15 \text{ m}^2$$

Absaugvolumenstrom des Probenehmers:

$$Q = 0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Geschwindigkeit in der Haube:

$$v = \frac{Q}{A_Q} = \frac{0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,15 \text{m}^2} = 3,33 \frac{\text{m}}{\text{h}} \approx 0,001 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

hydraulischer Durchmesser der Haube:

$$d_H = \frac{4xA_Q}{U} = \frac{4 \times 0,15 \text{m}^2}{(2 \times 0,3 \text{m} + 2 \times 0,5 \text{m})} = 0,375 \text{ m}$$

Strömungsprofil:

$$\text{Re} = \frac{v \times d_H}{U} = \frac{0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,375 \text{m}}{15,6 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 24$$

⇒ laminares Strömungsprofil

Vorgehensweise:

1. Vor Beginn der Probenahmen ist das Raster entsprechend dem vorgegebenen Rastermaß auf der Deponie festzulegen.
2. Haube am vorgegebenen Rasterpunkt auf die Deponieoberfläche aufsetzen; dabei ist darauf zu achten, dass möglichst keine Zwischenräume zwischen Haubenunterkanten und Deponieoberfläche entstehen.
3. Vor der Probenahme ist ein mindestens einfacher Luftwechsel in der Haube mit dem Absaugvolumenstrom von 0,5 m³/h durchzuführen, um in der Haube das entsprechende Milieu für die Probenahme zu schaffen. Bei vorgegebener Haubengeometrie und Absaugvolumenstrom ergibt sich eine Vorspülzeit von 10 Minuten.
4. Probenahme in aluminiumkaschierten 5 Liter Probebeutel unmittelbar nach dem Vorspülen. Die Probebeutel sind spätestens 24 Stunden nach der Probenahme olfaktometrisch auszuwerten.
5. Pro Rasterpunkt sind 3 Proben zu nehmen, die Ergebnisse zu mitteln.

Punkte 2 bis 5 sind für alle Rasterpunkte zu wiederholen.

Olfaktometrie

Die Auswertung der Geruchsproben erfolgt entsprechend der VDI-Richtlinie 3881, Blatt 1-4. Als Ergebnis wird für jeden Rasterpunkt eine Geruchsschwelle in GE/m³ bestimmt, gemittelt aus den 3 Einzelmessungen.

Für die Bestimmung der Geruchsschwellen sind vier Probanden ausreichend. Es ist mit ca. ½ Stunde pro Geruchsschwellenbestimmung zu rechnen.

Ausbreitungsrechnung

für die Bewertung der Gerüche aus Deponien ist eine Immissionsbetrachtung sinnvoller als eine reine Emissionsmessung durch Olfaktometrie.

Als Ausbreitungsmodell steht derzeit nur das Faktor 10 Modell nach TA-Luft zur Verfügung. Dieses Modell ist jedoch nur für Punktquellen entwickelt worden. Für die Nutzung des Modells für Flächenquellen sind einige Punkte zu beachten:

Gemäß TA Luft kann eine Flächenquelle durch mehrere Punktquellen dargestellt werden. Die Aufpunktkonzentration errechnet sich als Summe der Immissionsbeiträge der einzelnen Quellpunkte, d.h. es muss von jedem der beprobten Rasterpunkte eine gesonderte Ausbreitungsrechnung auf den zu untersuchenden Aufpunkt gemacht werden.

Für die Ansetzung des Quellterms ist folgendermaßen vorzugehen:

Aus dem Verhältnis von Absaugvolumenstrom und der Absaugfläche der Haube ergibt sich die Haubenbeschickung.

Die Haubenbeschickung multipliziert mit der ermittelten Geruchsschwelle ergibt den Geruchsstoffstrom im GE/h bezogen auf einen Quadratmeter:

$$Q_A = c_A \cdot GE$$

Der einzusetzende Geruchsstoffstrom ergibt sich durch Multiplikation mit der dazugehörigen Rasterfläche des Probenahmepunktes:

$$Q_{GE} = Q_A \cdot A_{\text{Raster}}$$

d.h. jedem Rasterpunkt wird eine durch das Rastermaß vorgegebene Rasterfläche zugeordnet, auf die die Geruchsemissionen bezogen werden. Diese Rasterpunkte sind damit die Quellpunkte für die Immissionsbetrachtung.

Die effektive Quellhöhe nach TA Luft setzt sich aus der Schornsteinbauhöhe und der Abgasfahnenüberhöhung zusammen. Beides ist bei der Flächenquelle „Deponie“ jedoch nicht bestimmbar. Die Schornsteinbauhöhe ist gleich Null, zur Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung ist der Wärmestrom aus der Deponie zu errechnen, der wiederum die Kenntnis des Volumenstroms des entweichenden Deponiegases aus der Deponie voraussetzt. Dieser ist jedoch nicht bekannt und auch nicht messbar. Daher ist eine sinnvolle effektive Quellhöhe anzusetzen. aufgrund der Oberflächenunebenheiten der Deponieoberfläche und der möglichen Höhenunterschiede der Rasterflächen ist ein durchschnittlicher Ansatz von 1 m sinnvoll.

Für die Bestimmung der Aufpunktkoordinaten nach TA Luft wird der Koordinatenursprung in den Quellpunkt mit der x-Achse in Hauptwindrichtung gelegt. Für die Betrachtung einer Flächenquelle ist der umgekehrte Weg sinnvoller. Der Koordinatenursprung wird in den zu untersuchenden Aufpunkt mit der x-Achse entgegen der Hauptwindrichtung gelegt. Mit Hilfe dieses Koordinatensystems werden die Koordinaten der Quellpunkte in Bezug auf Aufpunkt bestimmt. Diese entsprechen in ihrem Betrag den Koordinaten, ermittelt durch die ursprüngliche Vorgehensweise nach TA Luft, sind aber wesentlich einfacher bestimmbar. Bei dem Aufpunktkoordinatensystem wird die Höhe des Quellpunktes über der Aufpunktflur der z-Achse zugewiesen, d.h. die eigentliche Berechnung müssen die z-Koordinaten TA Luft-konform negiert werden.

Die Vorgehensweise bei der Ausbreitungsrechnung wird an nachfolgendem Beispiel kurz erläutert. Die Ausgangssituation:

Die gemessene Windgeschwindigkeit u.a in einer Anemometerhöhe $Z_a = 2$ m beträgt 3,2 m/s.

Die effektive Quellhöhe wird auf $h = 1$ m gesetzt.

Das Rastermaß wird auf 50 m gesetzt, bei der vorgegebenen Geometrie ergeben sich 6 Rasterpunkte mit einer zugewiesenen Rasterfläche von je 2500 m².

Absaughaube und Absaugvolumenstrom entsprechen den o.g. Ausführungen.

Die nachfolgende Skizze verdeutlicht die Ausgangssituation:

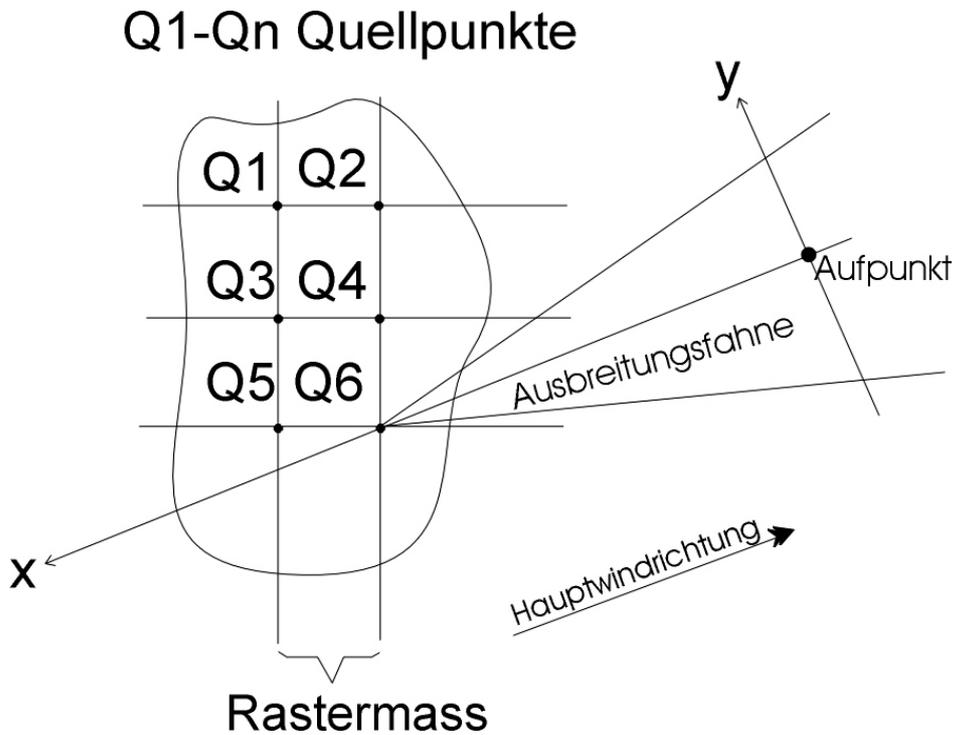


Abb.8-6: Skizze des Rasters

In nachfolgender Tabelle sind die restlichen Daten sowie die errechneten Werte des Geruchsstoffstromes und des Immissionsbeitrages jedes Quellpunktes aufgetragen:

Tab.8-3: Ergebnisprotokoll Geruchsmessungen

Rasterpunkt	Ortskoordinaten			Q _A	Q _{GE}	Geruchsstoffkonzentration am Rasterpunkt
	NR	X	Y	Z	[GE/m ³]	[GE/h]
1	330	125	12	121	605000	0,01
2	280	102	10	145	725000	0,02
3	350	80	13	133	665000	0,03
4	306	56	11	169	845000	0,06
5	386	23	14	111	555000	0,04
6	340	0	12	156	780000	0,06
Summe						0,22

8.4 Auswertung und Dokumentation

Der Anhang G der TA-Abfall sieht für die Eigenüberwachung die regelmäßige Überwachung der Geruchsemissionen entsprechend der VDI-Richtlinie 3881, Blatt 1-4 (Olfaktometrie) vor. Für eine sinnvolle Überwachung ist jedoch die Überwachung der Geruchsimmissionen für relevante Aufpunkte weitaus geeigneter. Der bisherige Weg der Bestimmung der Geruchsimmissionen ist die Begehung entsprechend der VDI-Richtlinie 3940. Für eine regelmäßige (gemäß TA-Abfall) Überwachung ist dieses Verfahren jedoch zu zeit- und finanzaufwendig. Ein Verfahren aus vorgeschriebener Emissionsmessung mit anschließender Ausbreitungsrechnung und Immissionsbetrachtung ist weitaus einfacher und kostengünstiger.

Ziel ist es daher, ein auf das TA-Luft Modell aufbauendes Modell für die Geruchsimmissionsbetrachtung zu entwickeln, das zu einer Aussage über die Geruchsintensitäten analog der Begehung am zu betrachtenden Aufpunkt führt, nur unter Verwendung der Daten der Geruchsemissionsmessung (Olfaktometrie).

Durch einen Vergleich von Emissionsmessung - Ausbreitungsrechnung mit der Begehung für den selben Aufpunkt soll ein Korrekturfaktor für das TA-Luft Modell entwickelt werden, der nur abhängig von der Art der abgelagerten Abfälle ist, d.h. das Faktor-10-Modell wird zu einem Faktor-k_(Deponieart)-Modell weiterentwickelt. Die so errechneten Immissions-

beiträge können anhand nachfolgender Tabelle den Geruchsintensitäten zugeordnet werden:

Tab.8-4: Zusammenhang Immissionsbeitrag - Geruchsintensität

Immissionsbeitrag c (xyz)	Geruchsintensität	Stufe I
< 1 GE/m ³	nicht	0
1 - 5 GE/m ³	gerade	1
6 - 10 GE/m ³	schwach	2
11 - 50 GE/m ³	deutlich	3
51 - 100 GE/m ³	stark	4
> 100 GE/m ³	sehr stark	5

8.5 Bezugswerte

Bezugswerte können aus Emissionsverfahren ermittelt werden, die in VDI 3790, Blatt 2 genannt werden. Danach liegen die Werte zwischen 10 und 1000 GE/h pro jährlich angelieferter Abfallmenge in Mg. Für die Praxis sind diese Werte zu stark variierend. Daher werden Geruchsmessungen vor allem als vorher/nachher Indikator genutzt. Andererseits kann die Quellstärke zur Untersuchung nach GIRL herangezogen werden. Diese Untersuchungen werden in Einzelfällen z.B. bei Geruchsbelästigungen herangezogen werden.

Hinweise zum Arbeitsschutz:

Allgemeine Handlungsanweisungen
Vorbereitung <ul style="list-style-type: none">• der Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan ist vom Auftraggeber selbst oder in dessen Auftrag zu erstellen und sollte Bestandteil der Ausschreibungsunterlagen sein• die Erfordernis und der Umfang einer arbeitsmedizinischen Betreuung ist mit einem Arbeitsmediziner abzustimmen• alle bei den Erkundungen Beteiligten sind vor Beginn über die Örtlichkeiten, die deponiespezifischen Bedingungen und Gefährdungen, die Sicherheitsbestimmungen, den Brandschutz und Rettungswege zu unterweisen (schriftliche Bestätigung)• Vorzuhalten sind:<ul style="list-style-type: none">• Wasser, Reinigungsmittel, Papierhandtücher, Hautschutzcreme• Erste-Hilfe-Material• Augendusche• Behältnisse für benutzte Ausrüstungen
Durchführung: <ul style="list-style-type: none">• vor Beginn der täglichen Erkundungen ist die Schutzausrüstung auf Funktionsfähigkeit zu prüfen• grundsätzlich gilt ein Alleinarbeitsverbot – Ausnahme: Begehungen• beim Auftreten unerwarteter Ereignisse (starke Gasemissionen, Sickerwasseraustritte, Setzungen etc.) haben die Beteiligten den Gefahrenbereich umgehend zu verlassen und die Aufsichtsperson zu verständigen• auf der Altablagerung besteht striktes Trink-, Eß- und Rauchverbot. Trinken und Essen ist nur außerhalb der Altablagerung und nur nach Ablegen evtl. Schutzkleidung und Reinigung der Hände gestattet• jegliche Tätigkeiten, die zu Flammen- oder Funkenbildung führen können, sind zu vermeiden. Dies gilt auch für Personal in Fahrzeugen• direkter Kontakt mit dem Müllkörper und austretendem Sickerwasser ist zu vermeiden. Ebenso sind Stellen, an denen offensichtlich verstärkt Deponiegas austritt (Vegetationsschäden, Risse), zu meiden• die Arbeiten sind messtechnisch zu begleiten, an offensichtlichen Gasemissionsquellen haben die Arbeiten möglichst von der dem Wind zugewandten Seite zu erfolgen
Beendigung: <ul style="list-style-type: none">• nach Beendigung der täglichen Erkundungen ist die Schutzaus-

rüstung zu reinigen und auf Funktionsfähigkeit zu prüfen
--

standortspezifische Situation	
Überwachungsmethode	Geruchsemissionen
Oberflächenabdeckung:	nicht vorhanden
Deponietyp:	Haus- und hausmüllähnlicher Gewerbe- und Industriemüll

Anmerkung: Zusätzlich sind die allgemeinen Handlungsanweisungen zu beachten!

Persönliche Schutzausrüstung
<ul style="list-style-type: none"> • Sicherheitsgummistiefel (S5) • Einweg-Chemikalienschutzanzug, luftdurchlässig • Schutzhandschuhe (PVC, mindestens 0,8 mm dick) am Mann bereithalten • Halbmaske mit Wechselfilter (mind. A1B1P1) bereithalten, beim Abheben der Gasbox anlegen

Messtechnik
<ul style="list-style-type: none"> • PID-Messung, falls Stellen begangen werden, an denen vermutlich erhöhte Schadstoffemissionen stattfinden

Technische und organisatorische Schutzmaßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> • Spülen der Gasboxen mit Luft vor Abheben • Absperrung der Versuchseinrichtung

zusätzliche Verhaltensregeln:
<ul style="list-style-type: none"> • keine

Beendigung der Arbeit:
<ul style="list-style-type: none"> • Reinigung der Gasboxen • Reinigung bzw. Entsorgung der Schutzausrüstung

Teil II

Messverfahren

- Verfahren zur Konzentrationsmessung (KoM)
- Verfahren zur Durchflussmessung (DuM)
- Verfahren zur Druckmessung (DrM)
- Verfahren zur Temperaturmessung (TeM)
- Verfahren zur Geruchsmessung (GeM)

1. Verfahren zur Konzentrationsmessung (KoM)

a) Theoretische Grundlagen

Die im Rahmen der Selbstüberwachungsverordnung für die Konzentrationsmessung im Deponiegas bzw. Abgas einzusetzenden Messgeräte arbeiten nach unterschiedlichen Messprinzipien. Dieser Abschnitt gibt eine allgemeine Übersicht über die Messprinzipien. Dabei werden geräte- und methodenspezifische Einzelheiten, die von den einzelnen Geräteherstellern bei der Gestaltung gewählt wurden, nicht berücksichtigt.

Für die vor-Ort Bestimmung der Deponiegaskomponenten mit Handmessgeräten eignen sich folgende Messverfahren:

- Methan (CH_4): Infrarotmesstechnik, Wärmeleitfähigkeits-Sensor
- Kohlendioxid (CO_2) Infrarotmesstechnik, Wärmeleitfähigkeits-Sensor
- Sauerstoff (O_2) Chemische Messzelle, Paramagnetismus

Die durch die im Deponiegas auftretenden Luftanteile vorhandene Stickstoffkonzentration (N_2) kann vor Ort nur rechnerisch als Differenz der Summe CH_4 , CO_2 und O_2 zu 100 bestimmt werden. Generell ist die analytische Bestimmung des Stickstoffanteils nur durch eine gaschromatographische Analyse möglich. Dies kann sowohl vor-Ort mit einem tragbaren Gaschromatographen (GC) oder im Labor mittels

*Bei vor-Ort Messung mit
Handmessgeräten:
 N_2 rechnerisch bestimmen*

stationärem GC erfolgen. Der Vorteil der GC-Messung liegt in der wesentlich besseren Empfindlichkeit und Genauigkeit.

Für die Ermittlung von Gasaustritten über die Deponieoberfläche eignen sich tragbare Flammenionisationsdetektoren (FID). Diese arbeiten nach dem Prinzip eines Summenmessverfahren zur Detektion des Gesamtkohlenstoffs. Da dieser Parameter im Rahmen der TA Luft Messungen an den thermischen Behandlungsanlagen ebenfalls zu ermitteln ist, werden auch bei diesen Messungen FID's eingesetzt. Auf Grund der zu erzielenden höheren Empfindlichkeit sind diese FID's technisch wesentlich aufwendiger gestaltet und z.B. beheizt.

*Ermittlung von
Gasaustritten mit FID*

Im Rahmen der durchzuführenden Abgasmessungen sind ebenfalls verschiedene direktanzeigende Konzentrationsmessungen durchzuführen. Für die relevanten Parameter Kohlenmonoxid (CO) und Stickoxide (NO_x) eignen sich die Messprinzipien Infrarotmesstechnik und chemische Messzelle.

Ein IR-Photometer besteht aus einem Strahler, dessen gebündeltes Licht durch einen vom Messgas durchströmten oder erfüllten Raum hindurch (z.B. Küvette) auf einen Strahlungsempfänger fällt. Im infraroten Spektralbereich besitzen alle heteroatomigen Moleküle wie CH₄, CO₂, CO, SO₂ und NO ein charakteristisches Absorptionsspektrum. SO₂ und NO haben dieses auch im ultravioletten Spektralbereich. Das Licht der Strahlungsquelle wird zur Gewährleistung der Selektivität der Messkomponente durch ein optisches Filter spektral eingengt, tritt durch eine vom Messgas durchströmte Küvette und trifft auf einen Photodetektor, dem eine elektronische Signalverarbeitung nachgeschaltet ist. Ein Teil des Lichtes wird von den Schadstoffmolekülen absorbiert. Die Lichtschwächung ist daher ein Maß für die Schadstoffkonzentration. Nachstehende Abbildung zeigt die einfachste Messanordnung für ein extraktiv arbeitendes Absorptions-Photometer.

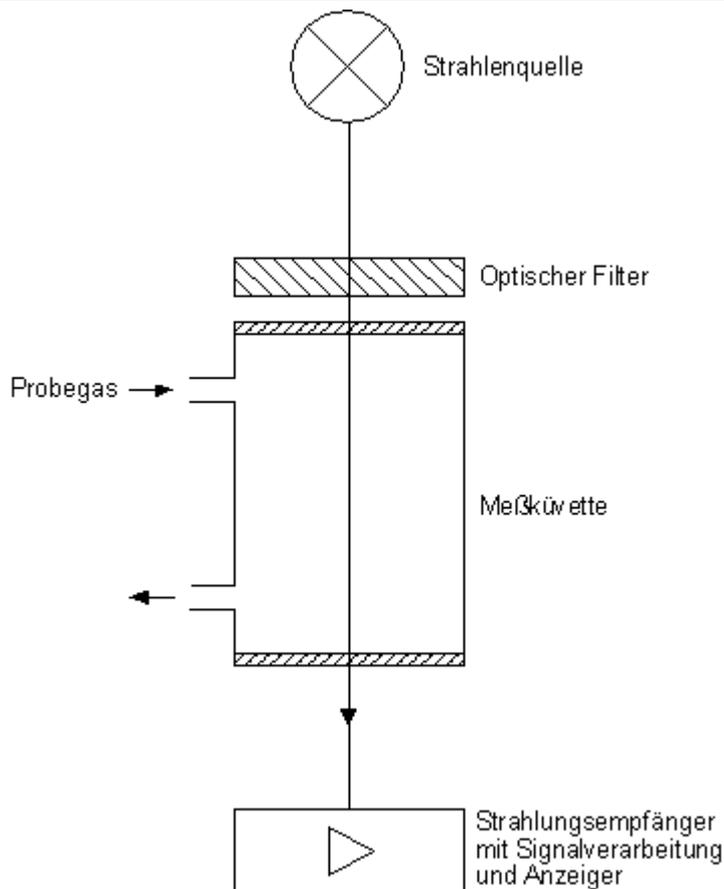


Abb. KoM 1: Schematischer Aufbau eines IR-Photometers

Bei dieser einfachen Anordnung führen geringste Veränderungen der Strahleremission und der Empfängerempfindlichkeit zu unzulässig hohen Nullpunktfehlern. Messanordnungen zur Vermeidung dieser Fehler verwenden entweder eine periodische Nullpunktkorrektur oder einen Vergleichsstandard in Form eines zweiten Vergleichsfilters oder eines Vergleichsgases. Dieser Vergleichsstandard kann entweder zeitlich verschoben - also gegenphasig - gebracht werden, oder er befindet sich in einem parallel geführten Vergleichsstrahlengang. Im ersten Fall spricht man vom Einstrahl-Photometer, im zweiten von Zweistrahl-Photometern. Um photometrische Analysengeräte für eine ausgewählte Messkomponente empfindlich zu machen, werden dispersive oder nichtdispersive Verfahren verwendet. Bei den dispersiven Verfahren wird das Licht einer spektral breitbandigen Strahlungsquelle vor der eigentlichen Messung mit Hilfe eines Spektrometers in seine spektralen Anteile zerlegt. Zur Dispersion können Prismen, Gitter oder Interferenzfilter eingesetzt werden. Die Messung erfolgt dann bei einer bestimmten Wellenlänge oder in einem

Wellenlängenbereich. Die nichtdispersiven Verfahren verzichten auf spektrale Zerlegung und benutzen zur Selektion statt dessen die im Gerät gespeicherte Messkomponente selbst.

Die für die Ermittlung der Hauptkomponenten üblicherweise eingesetzten tragbaren IR-Analysatoren arbeiten mit Interferenzfiltern, d.h. es handelt sich um dispersive Photometer. Es gibt auch Geräteausführungen, bei denen zur Verbesserung der Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ein Referenzdetektor integriert ist. Hiermit können dann Verschmutzungen/Verschleiß der Küvette kompensiert werden.

Eine weiteres häufig angewendetes Verfahren ist die Ermittlung des Methangehaltes durch Wärmeleitfähigkeit (WL). Ein WL-Sensor besteht aus einer elektrisch beheizten Drahtwendel, die auf eine bestimmte Arbeitstemperatur gebracht wird. Wird dieser Draht jetzt von einer Gasprobe umströmt, so ändert sich in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit dieses Gases seine Temperatur und damit auch sein elektrischer Widerstand. Diese Widerstandsänderung kann messtechnisch ausgewertet und dann als Gas-Konzentration angezeigt werden. Da neben der zu messenden Komponente CH₄ auch andere Messgasbestandteile eine von Luft abweichende Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärme besitzen, können relativ große Querempfindlichkeiten auftreten. Insbesondere das im Deponiegas befindliche CO₂ führt zu einer Verminderung des Messwertes. Wegen dieser hohen Querempfindlichkeit gab es im Deponiebereich bisher nur ein zuverlässig messendes mobiles Gerät, das im unteren Messbereich noch mit dem Messprinzip der Wärmetönung kombiniert war. Der Nachteil dieses Gerätes liegt darin, dass nur die Komponenten CH₄ und O₂ erfasst wurden. Seit 1999 gibt es einen weiteren Hersteller eines Messgerätes mit Wärmeleitfähigkeits-Sensor. In diesem Messgerät sind zur Messung von Deponiegas 2 WL-Sensoren mit unterschiedlichen Arbeitstemperaturen (z.B. 200 °C und 380 °C) integriert. Da die einzelnen Wärmeleitfähigkeiten von Luft, Methan und Kohlendioxid bei diesen Temperaturen bekannt sind, kann dann ausgehend von einem angenommenen Konzentrationsverhältnis der Probe die tatsächliche Zusammensetzung iterativ bestimmt werden. Da Gasgemische und reine Gase sich unterschiedlich verhalten, sind noch Nicht-Linearitäten zu berücksichtigen. Diese werden durch die Einführung von empirisch ermittelten Korrekturfaktoren ausgeglichen. Umfangreiche Vergleichsmessungen eines nach diesem Prinzip arbeitenden Messgerätes mit IR-

*Querempfindlichkeit von
CH₄/CO₂ bei
Messgeräten mit
Wärmeleitfähigkeitsprinzip
beachten*

Geräten zeigen, dass das 2-WL-Messverfahren in den für Deponiegas relevanten Messbereichen sehr genau arbeitet.

Bei der Konzentrationsmessung mittels chemischer Messzellen befindet sich im Regelfall in einem Elektrolyten eine Messelektrode, eine Gegenelektrode und eine Referenzelektrode. Eine Regelschaltung gewährleistet, dass zwischen Messelektrode und Referenzelektrode stets eine konstante Spannung herrscht. Diese Spannung ist so gewählt, dass z.B. CO oder H₂S an der Messelektrode vollständig oxidiert wird. Hierdurch fließt ein Strom, der proportional der CO bzw. H₂S-Konzentration ist. Elektrochemische Zellen arbeiten im Prinzip wie eine Batterie und verbrauchen sich auch dementsprechend.

Die genaueste Konzentrationsmessung der Deponiegashauptkomponenten und die direkte Analyse des Stickstoffanteils ist mit der Gaschromatographie möglich. Bei diesem Verfahren erfolgt eine Trennung des Gasmisches. Das Prinzip eines Gaschromatographen ist in Abbildung KoM 2 dargestellt.

*Analytische
N₂-Bestimmung nur
mit GC-Methode*

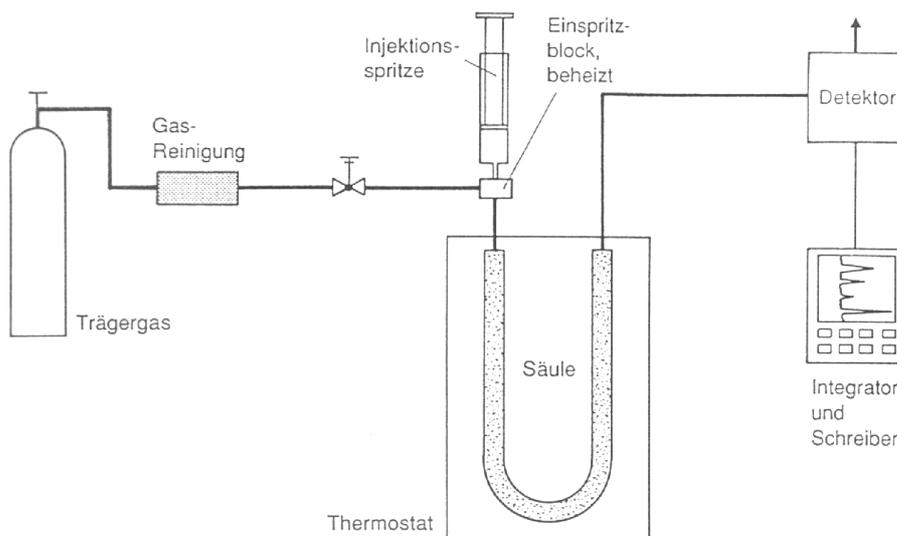


Abb. KoM 2: Prinzip eines Gaschromatographen

Bei der GC-Analyse wird eine Trennsäule von einem Trärgas, der sogenannten mobilen Phase (meist Wasserstoff oder Helium) durchströmt. Das zu trennende Messgas wird über eine Kapillare zusammen mit dem Trärgas auf die Trennsäulen geführt. Die Trennsäulen sind mit einer "stationären Phase", dem Adsorbens, befüllt. Die einzelnen Bestandteile des Gasmisches werden aufgrund ihres

unterschiedlichen Wanderungsverhaltens auf der Säule voneinander getrennt. Nach der Trennung werden die Einzelkomponenten durch die am Säulenende befindlichen Detektoren erfasst. Das vom Detektor abgegebene Signal wird von einem Integrator aufgenommen und ausgewertet. Hierdurch ist es möglich die einzelnen Gaskomponenten qualitativ zu erfassen und anteilmäßig zu bestimmen.

Das Messprinzip von Flammenionisationsdetektoren beruht auf der Leitfähigkeitsänderung einer Wasserstoffflamme bei Durchleitung von Kohlenwasserstoffen. Das Meßsystem besteht aus einem Detektor zum Messen von Kohlenwasserstoffspuren in einer Gasprobe und einem Ansaugsystem, das diese Gasprobe dem Detektor zuführt. Mit Hilfe des Ansaugsystems wird die Gasprobe kontinuierlich mit einer Absaugglocke von der Geländeoberfläche abgesaugt. Diese gelangt im Anschluss in eine zylinderförmige Brennkammer, in der eine sogenannte "Wasserstoffflamme" brennt, welche durch das Brenngas (H_2) und den in der angesaugten Gasprobe enthaltenen Sauerstoff gespeist wird. Die elektrische Leitfähigkeit dieser Wasserstoffflamme erhöht sich stark, wenn Kohlenwasserstoffverbindungen in ihr verbrennen, die in der zugeführten Probe enthalten sein können. Dieser Effekt wird mit Hilfe einer elektronischen Verstärkungsschaltung zur Anzeige kleinster KW-Spuren ausgenützt. Nachweisbar sind Gas-Konzentrationen von > 5 ppm.

b) Methode

Zur Durchführung der Konzentrationsmessungen muss ein Teilstrom des zu analysierenden Gases entnommen werden. Bei direktanzeigenden Messgeräten ist zu beachten, dass die Kalibrierung der Messgeräte im Regelfall im drucklosen Zustand erfolgt. Da bei der Messung an Gasbrunnen oder in Sammelstationen in der Rohrleitung ein Unterdruck vorliegt, kann es zu Messwertverfälschungen kommen. Daher ist es empfehlenswert bei hohen Unterdrücken oder schwankenden Drücken die Messgasabsaugung über eine separate Pumpe durchzuführen.

Bei den Konzentrationsmessungen im Abgas ist zu beachten, dass es in der Messgasleitung zu keinen Veränderungen der Abgaszusammensetzung kommt. Daher ist die Messgasleitung zu beheizen. Des weiteren sind die in Kapitel 2.4.4 gegebenen Hinweise bei der Messdurchführung zu beachten.

c) Fehlerbetrachtung/Querempfindlichkeiten

Bei Vorhandensein von höherwertigen Kohlenwasserstoffen, wie es z.B. bei sehr alten Deponien der Fall sein kann, können bei IR-Geräten erhebliche Mehrbefunde auftreten. Insbesondere bei IR-Messungen sind die vorliegenden Druckverhältnisse zu beachten.

d) Hinweise zur Auswahl des Messverfahren unter Berücksichtigung der deponiespezifischen Anforderungen

Bei Einsatz von Wärmeleitfähigkeitsmessgeräten ist die Querempfindlichkeit zwischen Methan und Kohlendioxid zu beachten.

e) Hinweise auf häufig auftretende Probleme

Bei der Messdurchführung ist zu beachten, dass kein Kondensat in den Analysator gelangt.

Erfolgt die Messung auf der Druckseite des Verdichters können Messwertschwankungen am Analysator auftreten. Deshalb sollte die Messung im Bypass, gemäß Abbildung ÜM 1-4 erfolgen.

2. Verfahren zur Durchflussmessung

a) Theoretische Grundlagen

Prinzipiell können für die Ermittlung der Volumenströme in der Entgasungsanlage verschiedene Messprinzipien eingesetzt werden. Für die manuell eingesetzten Messungen werden im Regelfall Flügelradanemometer, thermische Anemometer und in seltenen Fällen auch Staurohre eingesetzt. Die Messprinzipien dieser Verfahren lassen sich wie folgt beschreiben:

*Unterschiedliche
Messprinzipien
anwendbar*

*Flügelradanemometer ist
Standardmethode*

Flügelradanemometer:

Bei diesem Gerät handelt es sich um einen in einem offenen kreiszylindrischen Gehäuse sitzenden Propeller, der durch das anströmende Gas in Bewegung versetzt wird. Dabei müssen Geräteachse und Strömungsrichtung zusammenfallen. Die auf die

Schaufeln auftreffende Strömung versetzt das Flügelrad in Rotation. Die Drehzahl ist ein Maß für die Geschwindigkeit. Sie wird entweder unmittelbar oder über Zählung der Umdrehungszahl innerhalb eines Zeitintervalls bestimmt. Der Messbereich für Flügelradanemometer liegt üblicherweise bei 0,4 bis 40 m/s.

Prandtl-Rohr:

Durch eine Öffnung an dem halbkugelförmigen Kopf des Staurohres kann der Gesamtdruck einer Strömung gemessen werden. An Schlitzen die senkrecht zur Strömungsrichtung in einem Abstand von etwa dem 2- bis 3-fachen des Staurohrdurchmessers vom Staurohrkopf angebracht sind liegt der statische Druck an. Verbindet man die zu den jeweiligen Öffnungen gehörenden Druckentnahmestellen mit einem Differenzdruckmanometer, so kann man an diesem Manometer direkt den dynamischen Druck ablesen und daraus die Geschwindigkeit am Staurohrkopf berechnen.

Hitzdrahtanemometer:

Das Funktionsprinzip der Geschwindigkeitsmessung mittels Hitzdrahtanemometer beruht auf der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes eines Metalldrahtes. Einem elektrisch beheizten feinen Draht aus Platin oder Wolfram wird durch die auftretende kältere Strömung Wärme entzogen. Die Strömungsgeschwindigkeit ergibt sich entweder bei konstantem Heizstrom I durch die Änderung des elektrischen Widerstandes, oder bei konstant gehaltener Temperatur über die Änderung des Heizstromes. Hitzdrahtanemometer, die auf dem Prinzip des konstanten Heizstromes beruhen, eignen sich nur für Geschwindigkeiten unter 20 m/s. Eventuelle instationäre Geschwindigkeitsschwankungen sollten unter 10% liegen. Nach der Methode der konstanten Temperatur arbeitende Hitzdrahtanemometer eignen sich für wesentlich größere Geschwindigkeiten und Geschwindigkeitsschwankungen.

b) Methode

Zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit wird die Messsonde durch eine eigens dafür vorgesehene Messöffnung in die Strömung eingeführt. Die Zuführung muss gasdicht erfolgen, da es sonst einerseits zu fehlerhaften Messergebnissen kommt und andererseits bei Unterdruck ein Sauerstoffeintrag in die Rohrleitung erfolgen kann. Für

*Sondeneinführung
abdichten, sonst
erhebliche Fehlmessung*

die Durchführung einer reproduzierbaren Messung sollte die Sonde etwa bei einem Drittel des Rohrdurchmessers positioniert werden.

Bei der Verwendung eines Flügelradanemometers ist darauf zu achten, dass die Sondenspitze entsprechend der Strömungsrichtung ausgerichtet wird. Die meisten Hitzdrahtanemometer sind unabhängig von der Strömungsrichtung.

c) Fehlerbetrachtung/Querempfindlichkeiten

Bei der Messung muss das Flügelrad in Strömungsrichtung ausgerichtet werden, sonst kommt es zu Fehlmessungen. Hinsichtlich der Eignung der Messstrecke sei auf Kapitel 2.4.1 verwiesen.

Durch das Einführen einer Messsonde in die Rohrleitung entsteht innerhalb der Rohrleitung eine Querschnittsverengung. Auf Grund der mit zunehmender Eintauchtiefe der Sonde wachsenden Querschnittsverengung wird das Geschwindigkeitsprofil verfälscht. Der dadurch entstehende Fehler wird mit abnehmendem Leitungsquerschnitt immer größer. Um den Fehler möglichst gering zu halten sollte die Messung der Strömungsgeschwindigkeit bei einem Drittel (von oben) des Rohrdurchmessers erfolgen. Ein weiterer Grund für die Durchführung der Messung im oberen Drittel liegt in dem Kondensat, dass sich teilweise in den Rohrleitung ansammelt und zum Ausfall der Messsonde führen kann. Ein Vergleich zeigt, dass bei gleicher Rohrnennweite die Messung im unteren Drittel zu einer deutlich größeren Querschnittsverengung führt als die Messung im oberen Drittel.

Querschnittsverengung beachten

Kondensatanfall vermeiden

	obere Drittel	untere Drittel
Rohrdurchmesser	DN 65	DN 65
Durchmesser der Messsonde	15 mm	15 mm
Querschnittsfläche Rohr	$3,318 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$	$3,318 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Querschnittsfläche eingesteckte Messsonde	$1/3 \cdot 0,065\text{m} \cdot 0,015 \text{ m} = 3,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$	$2/3 \cdot 0,065\text{m} \cdot 0,015 \text{ m} = 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
Querschnittsverengung	9,8 %	19,6 %

Näherungsweise ergibt sich bei der Messung im unteren Drittel eine doppelt so große Querschnittsverengung gegenüber der Messung im oberen Drittel. Alternativ zu der beschriebenen Vorgehensweise kann jedoch auch die in der Rohrleitung vorliegende Maximalgeschwindigkeit ermittelt werden und zur Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit mit dem Faktor 0,84 multipliziert werden.

d) Hinweise zur Auswahl des Messverfahren unter

Berücksichtigung der deponiespezifischen Anforderungen

Die Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit mittels Staurohr scheidet aus, da die üblicherweise vorherrschenden Druckdifferenzen zu gering sind. Bei einer Rohrleitung DN 100 und einem Volumenstrom von 30 m³/h ergibt sich eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von 1,06 m/s was bei einer angenommenen Dichte des Deponiegases von 1,25 kg/m³ einem dynamischen Druck von 0,70 Pa entspricht.

e) Hinweise auf häufig auftretende Probleme

Im Gas vorhandene Feuchtigkeit kann sich an den Flügeln des Flügelradanemometers niederschlagen. Wegen der dadurch entstehenden Unwucht kommt es zu fehlerhaften Messungen bzw. zum Ausfall des Messverfahrens. Aufgrund der oftmals zu groß dimensionierten Rohrleitung und der geringen Gasmenge kann mit dem Flügelrad keine messbare Geschwindigkeit mehr ermittelt werden.

3. Verfahren zur Druckmessung (DrM)

a) Theoretische Grundlagen

An Entgasungsanlagen stationär eingebaute Zeigermanometer arbeiten meist mit einem federelastischem Element, welches sich ausdehnt bzw. zusammenzieht. Diese Verformung wird mechanisch in eine Zeigerbewegung umgewandelt und auf diese Weise der Druck angezeigt.

Zur Ermittlung des Unterdruckes in den einzelnen Gassammelleitungen werden zumeist elektronische Druckmessgeräte eingesetzt. Je nach

Hersteller und Gerät arbeiten diese nach piezoresistiven Messprinzip mit Dehnungsmessstreifen oder dem kapazitiven Messprinzip.

- Das kapazitive Messprinzip beruht auf der Veränderung einer Kondensatorkapazität. Hierbei verformt sich die vom Druck beaufschlagte Kondensatorplatte. Die hieraus resultierende Veränderung des Plattenabstandes bewirkt eine proportionale Kapazitätsänderung die auf elektrischem Wege gemessen und als Druckanzeige verwendet wird.
- Piezoresistive Sensoren bestehen zumeist aus dem Halbleitermaterial Silizium. Auf die Messmembran ist eine Wheatstonsche Messbrücke geätzt. Durch Druckbeaufschlagung verstimmt sich diese und es kommt zu einer Widerstandsänderung bzw. einem Stromfluss. Dieser wird gemessen und in ein druckproportionales Signal umgewandelt.

b) Methode

Das Druckmessgerät wird über eine Druckmessleitung gasdicht mit der Druckmessöffnung verbunden. Vor der Messung wird das Gerät so eingestellt, dass der Differenzdruck 0 hPa beträgt.

c) Fehlerbetrachtung/Querempfindlichkeiten

Es sind keine Querempfindlichkeiten bekannt.

d) Hinweise zur Auswahl des Messverfahren unter Berücksichtigung der deponiespezifischen Anforderungen

Die Empfindlichkeit des Gerätes sollte Messungen im Bereich von 0,1 - 5 mbar ermöglichen. Erfahrungsgemäß ist dies nur mit elektronischen Druckmessgeräten realisierbar.

e) Hinweise auf häufig auftretende Probleme

Durch den Kondensatanfall in den Sammelleitungen, können sehr starke Druckschwankungen auftreten.

Da das Deponiegas korrosiv ist, kann es zu geringen Standzeiten der Druckmesszellen kommen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn bei einer Messung Kondensat in das Messgerät gelangt ist.

4. Verfahren zur Temperaturmessung (TeM)

a) Theoretische Grundlagen

Bei der Temperaturmessung wird unterschieden zwischen Berührungsmessung und Strahlungsmessung. Die bei der Deponieüberwachung verwendeten Messgeräte gehören zu den Berührungsthermometern. Berührungsthermometer müssen, wie der Name schon sagt, in direkten Kontakt mit dem zu messenden Objekt stehen.

Das Standardgerät zur Temperatureaufnahme ist das Widerstandsthermometer. Bei diesem Gerät wird die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Metallen ausgenutzt. Der Widerstand eines der Temperatur ausgesetzten Fühlers wird hierbei gemessen und aus der bekannten Temperaturabhängigkeit des Widerstandes die Temperatur des Fühlers bestimmt. Da der Widerstand der Metalle Platin und Nickel gut reproduzierbar ist und annähernd linear mit der Temperatur ansteigt, kommen diese bevorzugt zum Einsatz. Ein weiteres Verfahren beruht auf der Temperaturabhängigkeit der elektrischen Spannung zweier Leiter aus unterschiedlichen Materialien. Hierbei werden die beiden Leiter miteinander verschweißt und die Verbindungsstelle der zu ermittelnden Temperatur ausgesetzt. Die anderen Enden der beiden Leiter werden einer Vergleichstemperatur ausgesetzt und die entstandene Thermospannung gemessen. Die Höhe dieser Spannung ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Messstelle und Vergleichsstelle und zudem noch vom Material der beiden Leiter.

b) Methode

Die Temperatursonde wird in die Messöffnung eingeführt und nach Einstellung eines konstanten Anzeigenwertes wird dieser abgelesen und dokumentiert.

c) Fehlerbetrachtung/Querempfindlichkeiten

Es sind keine Querempfindlichkeiten bekannt. Um eine genaue Messung durchführen zu können, ist die Einhaltung der Mindesteintauchtiefe in den Gasstrom zu beachten. Die Umgebungstemperatur hat bei ordnungsgemäßem Einbau des Fühlers keinen Einfluss auf die Anzeigegenauigkeit.

d) Hinweise zur Auswahl des Messverfahren unter Berücksichtigung der deponiespezifischen Anforderungen

Bei der Temperaturmessung von Deponiegas ist auf die Auswahl eines geeigneten Messbereiches zu achten (ca. 0-80° C).

e) Hinweise auf häufig auftretende Probleme

keine

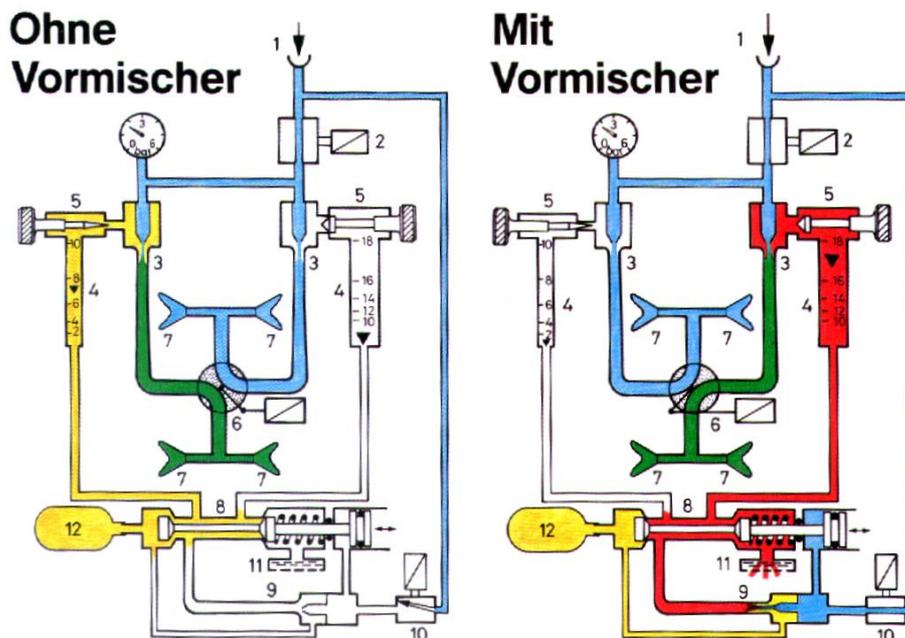
5. Verfahren zur Geruchsmessung (GeM)

a) Theoretische Grundlagen

Gerüche setzen sich aus einer Vielzahl chemischer Substanzen zusammen, deren Zusammenwirken auf das Riechorgan je nach Art und Mengenanteilen der Stoffe sehr verschieden sein kann. Mit technisch-physikalischen Sensoren ist dieser Wirkungsbezug nur unzureichend darstellbar. Die menschliche Nase ist daher bei Geruchsmessungen als Sensor unverzichtbar.

b) Methode

Die geruchsbeladene Luftprobe wird an einem Verdünnungssystem (Olfaktometer) mit Reinsluft verdünnt und den Probanden zur Beurteilung dargeboten.



- 1 Anschluss für synthetische Luft
- 2 Magnetventil
- 3 Gasstrahlpumpe Messbereiche 1 und 2
- 4 Durchflussmesser
- 5 Nadelventil
- 6 Umsteuerventil elektromagnetisch betätigt
- 7 Riechmasken
- 8 Vormischerventil druckluftgesteuert
- 9 Gasstrahlpumpe Vormischer
- 10 Magnetventil zum Vormischer
- 11 Abluftfilter
- 12 Probebeutel

Abb. OIM 1: Schematischer Aufbau eines Olfaktometers (hier: TO6 SIH System Mannebeck)

Den Probanden wird über eine Riechmaske eine Mischung aus Reinluft und Probenluft zugeführt. Hierbei wird über ein Mischsystem der Anteil der Probenluft stufenweise erhöht. Beim ersten erkennbaren Geruchseindruck wird eine Taste gedrückt, die Geruchsschwellenkonzentration ist erreicht. Im Rahmen der Qualitätssicherung müssen die Probanden ihre positive Antwort bei der nächsten Darbietung durch ein erneutes Drücken der Taste bestätigen. Andernfalls wird die erste Antwort verworfen.

Als Ergebnis von z.B. vier Probanden mit drei Durchgängen erhält man die Geruchsstoffkonzentration als ein Vielfaches der Geruchsschwellenkonzentration in GE/m³ (Geruchseinheiten je m³). Sie entspricht der Verdünnung der Luftprobe an der Geruchsschwelle.

c) Fehlerbetrachtung/Querempfindlichkeiten

Die Gewinnung einer repräsentativen Gasprobe stellt eine wesentliche Voraussetzung für die Qualität der zu ermittelnden Geruchsparameter dar. Unabhängig von der Probenahmestelle kann schon die chemische bzw. physikalische Beschaffenheit des zu beprobenden Gases Schwierigkeiten bereiten. Hierzu zählen, Adsorptions- und Desorptionseffekte, Kondensation sowie Transport und Lagerung von Proben.

Adsorption:

Eine Adsorption von Geruchsstoffen an den Innenwänden von Leitungen und Probenbeuteln führt zur Verringerung der Geruchsstoffkonzentration der dem Olfaktometer zugeführten Probenluft. Die tatsächliche Geruchsstoffkonzentration wird somit unterschätzt. Um diesen Effekt zu eliminieren, wird häufig das Vorspülen des Probenbeutels mit dem zu beprobenden Gas vorgeschlagen. Die Unterschiede zwischen vorgespülten und nicht vorgespülten Probenbeuteln liegen in der Tendenz etwa bei 10%, also weit innerhalb des Vertrauensbereiches der olfaktometrischen Messung.

Desorption:

Die Desorption der zuvor adsorbierten Geruchsstoffe sorgt hingegen für mehr Verwirrung und führt zu überhöhten Messergebnissen. Aus diesem Grund sind für die Probenahme von Roh- und Reinluftproben

verschiedene Leitungen zu verwenden, u.U. auch zwischen den Probenahmen mit Neutralluft gespült werden. Für die Verdünnung von Geruchsproben bedeutet dies, daß für jeden Verdünnungsschritt ein neuer Beutel zu verwenden ist, in dem die verdünnte Probe angemischt wird. Dazu wird der Probenbeutel erst mit Neutralluft teilgefüllt und anschließend mit der Geruchsprobe aufgefüllt.

Kondensation:

Wenn die Gefahr besteht, dass bei der Probenahme Feuchtigkeit im Beutel oder im Gerät kondensieren könnte, ist die Probe vorzuverdünnen. Dazu wird der Probenbeutel bis zur gewünschten Verdünnung mit synthetischer Luft gefüllt (z.B. auf $\frac{1}{2}$ für eine Verdünnung von 2 : 1 oder auf $\frac{3}{4}$ für eine Verdünnung von 4 : 1). Bei noch höheren Verdünnungen wird das Verfahren zu ungenau. Für die meisten Anwendungsfälle reicht eine Verdünnung von 4 : 1 aber aus, um Kondensation zu vermeiden.

Transport und Lagerung:

Die Lagerfähigkeit der Proben liegt gemäß VDI 3881 Bl. 2 bei maximal 24 Stunden.

d) Hinweise zur Auswahl des Messverfahren unter Berücksichtigung der deponiespezifischen Anforderungen
keine

e) Hinweise auf häufig auftretende Probleme

Bei der Probenahme ist zu beachten, dass kein Kondensat in den Probenbeuteln anfällt.