



Deponiegas

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 76157 Karlsruhe Postfach 21 07 52 http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de
ISSN	1437-0158 (Bd. 34, 2001)
Bearbeitung	Ingenieurgruppe RUK Rettenberger, Urban-Kiss 70597 Stuttgart
Redaktion	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Abteilung 4 - Wasser und Altlasten Frieder Kern
Umschlaglayout	Stephan May · Grafik-Design, 76227 Karlsruhe
Titelbild	Jutta Ruloff · Dipl.-Designerin, 76275 Ettlingen
Umwelthinweis	gedruckt auf Recyclingpapier aus 100% Altpapieranteil
Bezug über	Verlagsauslieferung der LfU bei JVA Mannheim - Druckerei Herzogenriedstr. 111, 68169 Mannheim Telefax 0621/398-370
Preis	15,00 DM, ab 01.01.2002: 8,00 €

Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZUSAMMENFASSUNG	6
2	EINFÜHRUNG	7
2.1	Anlass und Zielsetzung	7
2.2	Mögliche Gefahren durch Deponiegas	7
2.3	Gashaushalt und Emissionsverhalten bei Altablagerungen	8
2.4	Grundsätzliche Untersuchungsziele	13
2.5	Untersuchungsmethoden	13
3	PROBENNAHME- UND FELDMESSGERÄTE	16
3.1	Probennahmegeräte	16
3.1.1	Probennahmepumpen	16
3.1.2	Unterdruckkasten	16
3.1.3	Glasspritzen oder Kolbenprober	16
3.2	Behältnisse zur Probenspeicherung und zum Transport	16
3.3	Feldmessgeräte	17
3.3.1	Flammenionisationsdetektor (FID)	17
3.3.2	Gasanalysatoren	18
3.3.3	Gaschromatograph	18
3.4	Messgeräte zur Ermittlung von Hilfsgrößen	19
3.4.1	Mikromanometer	19
3.4.2	Anemometer und Windmessfahne	19
3.4.3	Lichtlot	19
3.4.4	Thermometer	20
4	ALLGEMEINE QUALITÄTSSICHERUNG UND DOKUMENTATION	21
5	DEPONIEGASMESSUNGEN AN DER GELÄNDEOBERFLÄCHE	23
5.1	Untersuchungsziele, Messstrategie, Fehlerquellen	23
5.2	Messanordnung und Messstelle	25
5.3	Durchführung	26
5.3.1	Vorbereitung	26
5.3.2	Ablauf der Messungen	26
5.4	Qualitätssicherung und Dokumentation	27
6.	MESSUNG DER DEPONIEGASKONZENTRATION IM UNTERGRUND	29

6.1	Untersuchungsziele, Messstrategie, Fehlerquellen	29
6.2	Messanordnung und Messstelle	32
6.3	Durchführung	35
6.3.1	Vorbereitung	35
6.3.2	Aufbau der Messeinrichtung	35
6.3.3	Ablauf der Messungen	36
6.4	Qualitätssicherung und Dokumentation	39
7.	GASABSAUGVERSUCHE	41
7.1	Untersuchungsziele, Messstrategie, Fehlerquellen	41
7.2	Messanordnung und Gestaltung der Messstellen	42
7.3	Durchführung	46
7.4	Qualitätssicherung und Dokumentation	47
8.	RAUMLUFTMESSUNGEN	49
8.1	Untersuchungsziele, Messstrategie, Fehlerquellen	49
8.2	Vorbereitung	50
8.3	Durchführung	50
8.4	Qualitätssicherung und Dokumentation	52
9.	LITERATUR	53

Anlagenverzeichnis:

- Anlage 1:** Arbeitsblatt zur Typisierung einer Altablagerung in Gasphasen aufgrund der Ergebnisse der historischen Erkundung
- Anlage 2:** Die wichtigsten Anforderungen an die Planung und Durchführung von Deponiegasmessungen im Überblick
- Anlage 3:** Beispiel für einen Messbericht bei Probennahmen und Messungen im an der Geländeoberfläche
- Anlage 4:** Beispiel für ein Messprotokoll bei Probennahmen und Messungen im Untergrund
- Anlage 5:** Beispiele für Messprotokolle bei Gasabsaugversuchen
- Anlage 6:** Beispiele für Messprotokolle bei Raumluftmessungen
- Anlage 7:** Weitere Beispiele für Gasabsaugversuche

Abbildungsverzeichnis:

- Bild 1: Qualitative Darstellung der Gaskonzentrationen im Deponiekörper im zeitlichen Verlauf für die Hauptgase mit Unterteilung in Gasphasen nach Rettenberger **10**
- Bild 2: Einzusetzende Untersuchungsmethoden zur weiteren Absicherung der Ersttypisierung **15**
- Bild 3: schematisierter Schnitt durch eine Altablagerung während der stabilen Methanphase (Phase IV) oder der Langzeitphase (Phase V) **31**
- Bild 4: schematischer Schnitt durch eine Altablagerung in der Lufteindringphase (Phase VI) **31**
- Bild 5: Beispiel eines tiefendifferenzierten Deponiegasmessstellenausbaus **32**
- Bild 6: Messaufbau zur Durchführung von Deponiegasmessungen und Entnahme von Gasproben an Deponiegasmessstellen **36**
- Bild 7: Messanordnung zur Ermittlung des Einflussbereichs beim Gasabsaugversuch **45**

1 Zusammenfassung

Zur Ermittlung und Bewertung der Gefahren durch Deponiegas im Rahmen der technischen Erkundung von Altablagerungen sind häufig:

- Gasmessungen an der Geländeoberfläche
- Gasmessungen im Untergrund
- Gasabsaugversuche oder
- Raumluftmessungen

erforderlich.

Für diese Messungen werden Empfehlungen zur:

- Planung von Untersuchungen im Rahmen der Gefährdungsabschätzung (Messplanung),
- technischen Gestaltung von Messanordnungen bzw. -stellen,
- praktischen Durchführung der Probennahmen und Messungen,
- Qualitätssicherung und zur
- Dokumentation und Darstellung der Ergebnisse im Bericht

gegeben.

Damit wird ein Mindestqualitätsstandard beschrieben, welcher die Bewertung und den Vergleich von Messergebnissen erleichtert.

Funktionsweise und Anwendungsbereiche der wichtigsten Probennahme und Feldmessgeräte werden beschrieben.

Die im Leitfaden Deponiegas [1] beschriebenen „Gasphasen“, die Veränderung der Gaszusammensetzung im Zeitverlauf und die Einstufung von Altablagerungen in eine der Gasphasen aufgrund von Ergebnissen der historischen Erkundung werden entsprechend dem zwischenzeitlich verbesserten Kenntnisstand fortgeschrieben.

Schlagworte:

Deponiegasmessung, Gasabsaugversuch, Raumluftmessung, Qualitätskontrolle, Altlastenerkundung

Umweltklassifikation: CH

2 Einführung

2.1 Anlass und Zielsetzung

Zur Vorgehensweise bei der Ermittlung und Beurteilung von Gefahren durch Deponiegas wurde eine Arbeitsmethodik entwickelt und 1992 als Bd. 10 des Altlastenhandbuchs Baden-Württemberg unter dem Titel "Der Deponiegashaushalt von Altablagerungen - Leitfaden Deponiegas" herausgegeben [1]. Darin werden verschiedene Untersuchungsstrategien dargestellt, ohne allerdings die Untersuchungsmethoden detailliert zu beschreiben. Die LfU veranlasste daraufhin die Erstellung folgender Studien, in welchen die Untersuchungsmethoden detailliert dargestellt sind:

- **Gasabsaugversuch** — Verfahrensempfehlung zur Durchführung auf Altablagerungen, erstellt durch die Ingenieurgesellschaft Umweltwirtschaft (UW), Stuttgart, im März 1997,
- **Deponiegasmessungen an der Geländeoberfläche**, erstellt von der Ingenieurgruppe Prof. G. Rettenberger und Dipl.-Ing. S. Urban-Kiss, GbR, (RUK), Stuttgart, im Juli 1997,
- **Deponiegasmessung im Untergrund**, erstellt von der Ingenieurgruppe Prof. G. Rettenberger und Dipl.-Ing. S. Urban-Kiss, GbR, (RUK), Stuttgart, im Juli 1997,
- **Raumluftmessung bei Altlastenproblematik**, erstellt von der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg, Stuttgart, im Oktober 1997.

Zur Verbesserung der Handhabbarkeit und Vereinheitlichung der verwendeten Begriffe fasste die Ingenieurgruppe RUK 1997 die einzelnen Handlungsempfehlungen zusammen.

Die hier dargestellte Standardisierung der Untersuchungsmethoden ist als **Empfehlung** zu verstehen. Mit ihr soll ein Mindestqualitätsstandard erreicht werden, der die Bewertung und den Vergleich von Messergebnissen erleichtern soll. Je nach Aufgabenstellung und örtlicher Situation kann ein begründetes Abweichen von den dargestellten Bedingungen und Anforderungen an die Untersuchungen angezeigt erscheinen.

Die wichtigsten Anforderungen an die Planung und Durchführung von Deponiegasmessungen sind in **Anlage 2** zusammengefasst.

2.2 Mögliche Gefahren durch Deponiegas

In Altablagerungen, die mit Hausmüll oder hausmüllähnlichen Abfällen verfüllt wurden, wird Deponiegas durch anaerobe biochemische Abbauprozesse gebildet. Die gebildete Gasmenge nimmt, nachdem sie in der stabilen Methanphase (Phase IV) ihr Maximum erreicht hat, über einen Zeitraum von ca. 25 bis 30 Jahren so stark

ab, dass sie in der Regel nicht mehr relevant ist. Bei diesen Abbauprozessen entstehen vor allem Methan (CH₄) und Kohlenstoffdioxid (CO₂).

Methan (CH₄) ist ein ungiftiges, farbloses, energiereiches Gas, das leichter als Luft ist. Mit Luft gemischt kann es brennbare oder explosionsfähige Gemische bilden. **Methan (CH₄)**

Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist ein farbloses, unbrennbares und geruchloses Gas. Es ist etwa 1,5 mal schwerer als trockene Luft. Luft mit einer CO₂-Konzentration zwischen 4 und 5 Vol.-% löst beim Menschen Bewusstlosigkeit aus. CO₂-Konzentrationen im Bereich von 8 Vol.-% in der Atemluft können tödlich wirken. Bei Pflanzen treten bei CO₂-gehalten von mehr als 20 Vol.-% toxische Wirkungen auf. **Kohlenstoffdioxid (CO₂)**

Neben diesen Hauptkomponenten sind im Deponiegas weitere Komponenten in Spuren (*Spurengase*) enthalten. Bislang wurden weit über 100 Verbindungen identifiziert, die z.T. Chlor bzw. Fluor enthalten. Prinzipiell lassen sich im Deponiegas Stoffe nachweisen, die entweder durch

Spurengase

- biochemische Abbauvorgänge oder chemische Reaktionen entstanden sind oder
- im Deponiekörper zur Ablagerung kamen und entsprechend ihres Dampfdruckes in der Gasphase auftreten.

Art und Menge der **Spurengase** hängt von der Art abgelagerter Stoffe und den Milieubedingungen in der Altablagerung ab. Sie ist erfahrungsgemäß unter 0,15 Vol.-% bezogen auf Deponiegas. **Unter Deponiegas wird hier das in einer Deponie gebildete Gas verstanden.** Somit gehören die Luftbestandteile Sauerstoff (O₂) und Stickstoff (N₂) nicht zum Deponiegas. Tendenziell nimmt der Anteil der Spurengase mit zunehmendem Deponiealter ab.

Definition Deponiegas

Die bedeutsamen Gefahren oder nachteiligen Wirkungen von Deponiegas sind:

- Explosionen
- Brände
- Vergiftungen
- Erstickungen
- Gerüche
- Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums.

Beim Umgang mit Deponiegas sind die gesetzlichen Regelungen und Vorschriften des Arbeitsschutzes, z.B. die Explosionsschutz-Richtlinie (EX-RL), zu beachten.

2.3 Gashaushalt und Emissionsverhalten bei Altablagerungen

Rettenberger wertete die Ergebnisse von Gasmessungen an 84 Altablagerungen aus dem gesamten Bundesgebiet aus und erkannte, dass die Gasentwicklung in sechs typische *Gasphasen* unterteilt werden kann [1]. Diese Gasphasen schließen

sich zeitlich an die von Farquhar et al. [2, 3] beschriebenen Anfangsstufen der Gasentwicklung für verdichtete Deponien an, wobei die Phase IV nach Farquhar und die Phase I nach Rettenberger identisch sind. VDI 3790 Blatt 2 "Umweltmeteorologie, Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen — Deponien — " [4] baut darauf auf, zählt die Anfangsphasen nach Farquhar und die danach folgenden Gasphasen von Rettenberger zusammen, so dass dort insgesamt **neun** Gasphasen unterschieden werden. Im Sinne einer Vereinheitlichung wird in vorliegender Schrift die Phaseneinteilung der VDI 3790 Blatt 2 [4] übernommen. Dies machte eine Anpassung des Arbeitsblattes zur Ermittlung der Gasphase aufgrund von spezifischen Kenndaten erforderlich, welches im Leitfaden Deponiegas [1] enthalten ist. In **Anlage 1** ist dieses fortgeschriebene Arbeitsblatt enthalten.

Bild 1 zeigt die Konzentration der Hauptkomponenten im Zeitverlauf mit den typischen neun Gasphasen. Gegenüber der Darstellung im Leitfaden Deponiegas [1] ist das Bild entsprechend neueren Erkenntnissen fortgeschrieben.

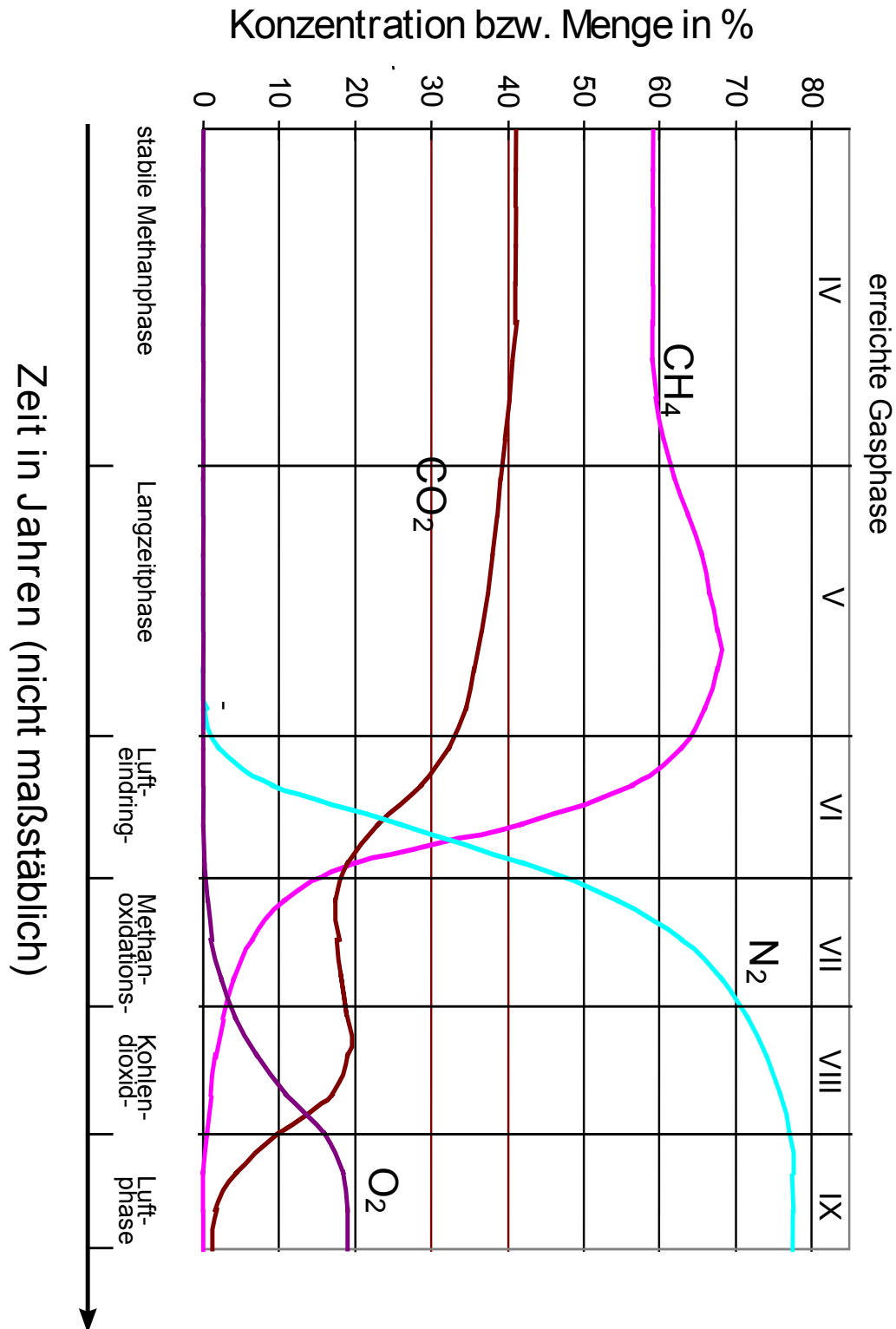


Bild 1: Qualitative Darstellung der Gaskonzentrationen im Deponiekörper im zeitlichen Verlauf für die Hauptgase mit Unterteilung in Gasphasen nach Rettenberger

Bedingt durch örtliche Gegebenheiten, wie Bebauung, Versiegelung oder unterschiedliche Abfallzusammensetzung, kann die Zuordnung zu diesen Phasen für Teilbereiche einer Abfallablagerung in gewissen Grenzen differieren. Einzelne Deponieabschnitte können deshalb durch verschiedene Gasphasen gekennzeichnet sein.

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

Eine Umkehr des Phasenablaufs wurde bisher nicht beobachtet.

Theoretisch ist die Gasproduktion der Abtlagerung durch Veränderung des Wasserhaushaltes beeinflussbar. Bei der o. g. Auswertung der Daten von 84 Abtlagerungen wurden solche Einflüsse jedoch nicht festgestellt.

Nachfolgend werden die charakteristischen Merkmale der Gasphasen, wie sie bei Altlasten auftreten können, beschrieben. Dabei sind die Merkmale gegenüber der Darstellung im Leitfaden Deponiegas [1] und der VDI 3790 Blatt 2 [4] entsprechend neueren Erkenntnissen fortgeschrieben.

Aerobe Phase (Phase I), Saure Phase (Phase II) und Instabile Methangärung (Phase III)

Phasen I bis III

Diese Phasen treten zu Beginn der Gasentwicklung auf und sind bei Abtlagerungen abgeschlossen. Daher wird auf sie nicht näher eingegangen.

Stabile Methanphase (Phase IV)

Stabile Methanphase (Phase IV)

Die stabile Methanphase wird in der Regel etwa 1/2 bis 3 Jahre nach Ablagerungsbeginn erreicht. Die Gasbildung ist hier am höchsten. Die Konzentration von Methan beträgt etwa 59 Vol.-%, die von Kohlenstoffdioxid etwa 41 Vol.-%. Gegen Ende der Phase erfolgt ein leichter Anstieg der Methankonzentration und ein leichtes Absinken der Kohlenstoffdioxid-Konzentration. Das Verhältnis Methan- zu Kohlenstoffdioxid-Konzentration kann Werte um 1,5 erreichen. In dieser Phase bildet sich im Innern der Ablagerung, sofern keine aktive Entgasung stattfindet, ein leichter Überdruck aus. Somit kann keine Außenluft in die Abtlagerung eingetragen werden. Bei Abtlagerungen können in diesem Stadium hohe Emissionen an der Oberfläche nachgewiesen werden, sofern Oberflächenabdichtungen oder Entgasungsmaßnahmen dies nicht verhindern. Gefahren und Nachteile durch Deponiegas können innerhalb und außerhalb der Abtlagerung gegeben sein.

Langzeitphase (Phase V)

Langzeitphase (Phase V)

Die Langzeitphase ist durch eine hohe Methankonzentration von deutlich über 60 Vol.-% bei entsprechend verringerter Kohlenstoffdioxid-Konzentration gekennzeichnet. Das Verhältnis Methan- zu Kohlenstoffdioxid-Konzentration kann Werte bis 4 erreichen, was vermutlich u.a. auf ein Auswaschen von Kohlenstoffdioxid zurückzuführen ist. Ebenso wie für die Stabile Methanphase (Phase IV) ist typisch, dass durch die noch ausgeprägte Gasentwicklung ein Druckgefälle zur Umgebung

besteht. Damit ergibt sich eine zur stabilen Methanphase (Phase IV) vergleichbare Situation. Deponiegas strömt aus, atmosphärische Luft wird nicht in die Altablagerung eingetragen. In dieser Phase können mit dem Flammenionisationsdetektor (FID) noch beträchtliche Emissionen detektiert werden. Gefahren und Nachteile durch Deponiegas können innerhalb und außerhalb der Altablagerung gegeben sein.

Luft eindringphase (Phase VI)

Die Luft eindringphase ist dadurch gekennzeichnet, dass die Gasbildung so stark abgenommen hat, dass Luft in die Altablagerung eindringen kann. Typisch für diese Phase ist das Auftreten von Stickstoff und das Fehlen von Sauerstoff. Bei weit fortgeschrittener Luft eindringphase (Phase VI) kann eine Stickstoff-Konzentration um 25 Vol.-% auftreten. Dementsprechend sinkt die Methanvolumenkonzentration auf Werte um 55 Vol.-% und Kohlenstoffdioxid-Konzentration auf Werte um 20 Vol.-% ab. Das Verhältnis Methan- zu Kohlenstoffdioxid-Konzentration entspricht dem der fortgeschrittenen Langzeitphase (Phase V). Die Verdünnung des Deponiegases mit Luft ist zeitlich und örtlich nicht homogen innerhalb der Altablagerung. Deshalb können in Randbereichen schon deutliche atmosphärische Einflüsse festgestellt werden, während Innenbereiche noch unbeeinflusst sind. Die Gasentwicklung ist so weit zurückgegangen, dass ein Gasüberdruck und infolgedessen ein Gasaustrag praktisch nicht mehr gegeben ist. Methan kann nur noch in größeren Tiefen festgestellt werden. Gefahren oder Nachteile durch Deponiegas beschränken sich auf das Innere der Altablagerung.

Luft eindringphase (Phase VI)

Methanoxi dationsphase (Phase VII)

Die Methanoxi dationsphase 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 von Methan- zu Kohlenstoffdioxid-Konzentration auf Werte unter 1. Sauerstoff tritt deutlich auf (bis 5 Vol.-%). Das Verhältnis Sauerstoff- zu Stickstoffkonzentration weicht jedoch noch erheblich von dem der atmosphärischen Luft ab. Der Vorgang der Methan-Oxidation vollzieht sich von außen nach innen, so dass Methan nur noch in größeren Tiefen vorhanden ist, wobei auch hier — wie bei der Luft eindringphase (Phase VI) — eine ungleiche räumliche und zeitliche Verteilung zu beobachten ist. In dieser Phase sind keine Deponiegasemissionen in den Luftraum mehr messbar. Aufgrund der Verminderung von Methan nehmen Gefahren und Nachteile durch Deponiegas weiter ab und beschränken sich auf das Innere der Altablagerung.

Methanoxi dationsphase (Phase VII)

Kohlenstoffdioxidphase (Phase VIII)

In dieser Phase geht die Methankonzentration gegen 0 Vol.-%, während die Kohlenstoffdioxid-Konzentration zwischen 10 und 20 Vol.-% liegt. Die Stickstoff-Konzentration erreicht Werte, wie sie in normaler Bodenluft vorkommt. Ferner kann die Sauerstoff-Konzentration bis auf 15 Vol.-% ansteigen. Die Konzentrationsverteilung ist inhomogen. Methan bildet sich, wenn überhaupt, nur noch in größeren Tiefen. Eine Emission durch Deponiegas findet nicht mehr statt. Mögliche Gasgefahren sind vom Kohlenstoffdioxid bestimmt.

Kohlenstoffdioxidphase (Phase VIII)

Luftphase (Phase IX)

In dieser Phase geht die Kohlenstoffdioxid-Konzentration auf Werte unter 4 Vol.-% zurück, die Methankonzentration geht gegen 0 Vol.-%, die Sauerstoff-Konzentration liegt zwischen 18 und 20 %, die Stickstoff-Konzentration bei 78 Vol.-%. Die Konzentrationen von Sauerstoff und Stickstoff erreichen die für Bodenluft normalen Werte. Eine Gasgefahr ist nicht mehr gegeben.

Luftphase
(Phase IX)

2.4 Grundsätzliche Untersuchungsziele

Die Ziele von Untersuchungen zum Gashaushalt an Altablagerungen können folgendermaßen unterteilt werden:

a) Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzung

- Charakterisierung des Gashaushaltes in der Altablagerung:
 - Findet eine Gasbildung statt?
 - Wie ist die Gaszusammensetzung?
 - Wie ist die Temperatur und der Gasdruck?

- Ermittlung der standortspezifischen Situation:
 - Kommt es zu Gasemissionen in den Luftraum oder Migrationen in den Untergrund und wie hoch sind diese?
 - Führen die Gasemissionen bzw. -migrationen zu einem Transport bzw. Eintrag in gefährdete Bereiche?

b) Sanierungsuntersuchung

- Grundlagenermittlung für die zu ergreifenden Maßnahmen, z.B.:
 - Wie ist das Entgasungssystem zu dimensionieren?
 - Sind Abdichtungsmaßnahmen erforderlich?
 - Ist eine passive Entgasung ausreichend?
 - Kann das Gas verwertet werden?
 - Über welchen Zeitraum ist die Anlage zu betreiben?
 - Sind Schutz-, Beschränkungs- und Kontrollmaßnahmen erforderlich?

2.5 Untersuchungsmethoden

Zur Abschätzung möglicher Gefahren durch Deponiegas bei Altablagerungen haben sich folgende Methoden bewährt:

- Gasmessungen an der Oberfläche mittels Flammenionisationsdetektor (FID), auch FID-Begehung genannt,
- Gaskonzentrationsmessungen im Untergrund, auch Sondenmessung genannt,
- Gasabsaugversuche und
- Raumlufmessungen.

Die Art der jeweils anzuwendenden Untersuchungsmethode richtet sich nach dem Untersuchungsziel, den örtlichen Verhältnissen und der Gasphase. Bild 2 zeigt, welche Untersuchungsmethoden anzuwenden sind, wenn eine nach Anlage 1 vorgenommene Einstufung in eine Gasphase messtechnisch zu prüfen ist. Vorliegende Handlungsempfehlung befasst sich vor allem mit diesem Untersuchungsziel. Für andere Untersuchungsziele müssen die dargestellten Methoden gegebenenfalls modifiziert werden.

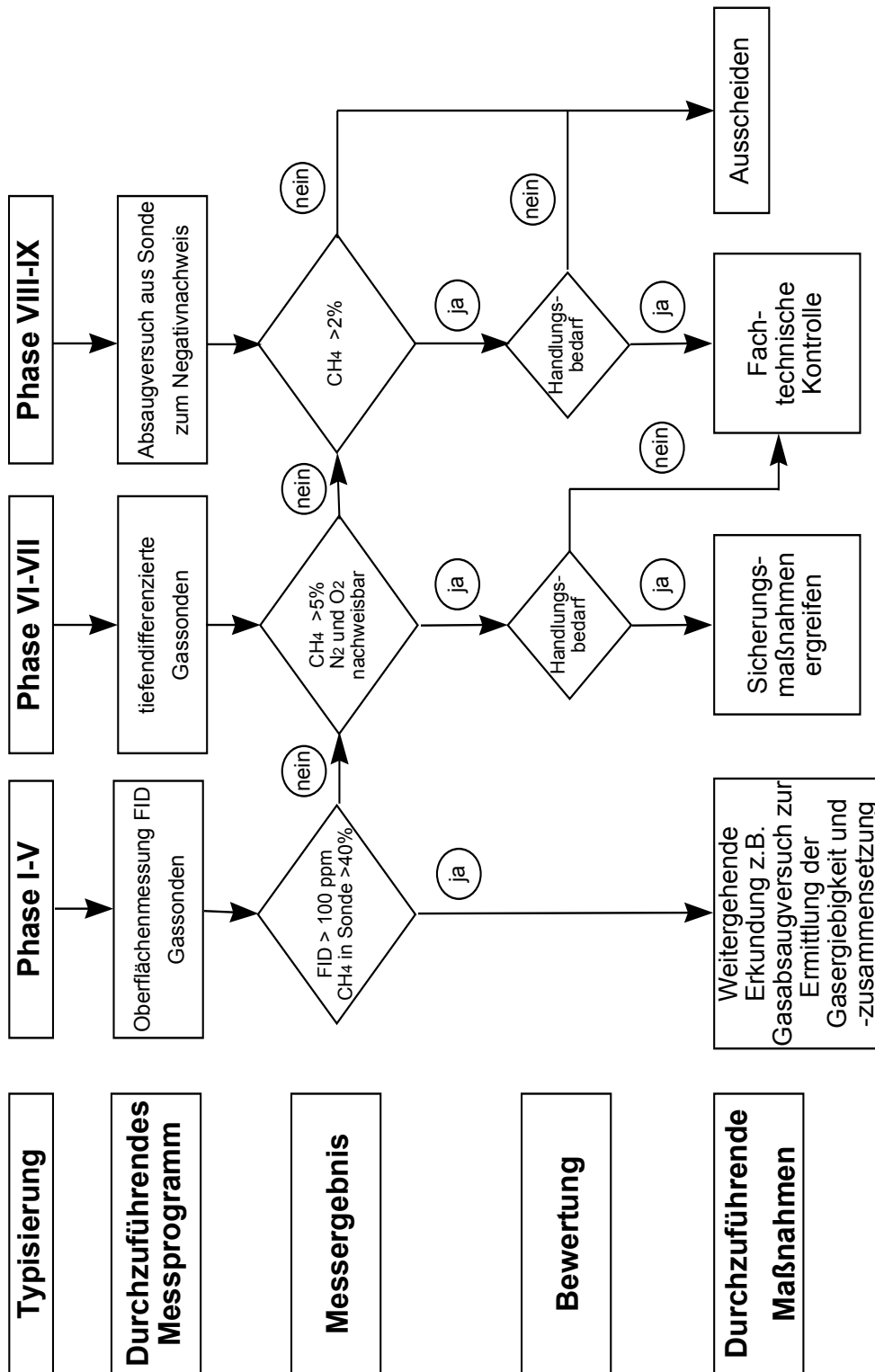


Bild 2: Einzusetzende Untersuchungsmethoden zur weiteren Absicherung der Ersttypisierung

3 Probennahme- und Feldmessgeräte

3.1 Probennahmegeräte

3.1.1 Probennahmepumpen

Pumpen zur Füllung von **Gasfolienbehältern** sollen einen Fördervolumenstrom zwischen **1** und **4 l/min** aufweisen. Sie können verwendet werden, wenn nur die Hauptgase CH₄, CO₂, N₂ oder O₂ zu bestimmen sind. Die Haltbarkeit der Pumpen wird oft durch korrosive und aggressive Gaskomponenten reduziert. Bewährt haben sich Membranpumpen mit Membranen aus Perbunan (NBR) oder Viton sowie Kolbenpumpen. Der gegenüber der Atmosphäre erzeugbare Differenzdruck sollte zwischen **30** und **50 mbar** betragen. Aus praktischen Gründen sollte eine Energieversorgung mittels Akku möglich sein.

Gasfolienbehälter

3.1.2 Unterdruckkasten

Die Befüllung von Gasfolienbeutel sollte, wenn Spurengase zu analysieren sind, mit einem Unterdruckkasten erfolgen. Hierbei wird ein Gasfolienbehälter in den Unterdruckkasten eingelegt. Der Unterdruckkasten wird über eine möglichst kurze Verbindungsleitung mit der Deponiegasmessstelle verbunden. Anschließend wird der Unterdruckkasten evakuiert. Dadurch bläht sich der Gasfolienbehälter auf und füllt sich mit der Gasprobe. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass keine Adsorptions- bzw. Freisetzungseffekte durch Pumpen auftreten können.

Unterdruckkasten

3.1.3 Glasspritzen oder Kolbenprober

Glasspritzen oder Kolbenprober werden üblicherweise zur Befüllung von Septumgläschen eingesetzt. Sie bestehen i. d. R. aus Borsilikatglaszylinder mit Volumina zwischen 5 und 500 ml. Am Zylinder ist eine Kapillare angesetzt, welche bei größeren Kolbenprobern durch einen Hahn absperrbar ist. Bei der Probennahme wird die Kapillare durch ein Septum entweder direkt in die Deponiegasmessstelle oder in die Ansaugleitung eingeführt. Anschließend wird der im Zylinder befindliche Kolben zurückgezogen und das Probengas strömt in den Zylinder. Nach Füllung des Zylinders wird der Kapillarhahn geschlossen und die Kapillare aus dem Septum gezogen. Anschließend kann das Probengas in das Septumgläschen eingespritzt werden.

Glasspritzen, Kolbenprober

3.2 Behältnisse zur Probenspeicherung und zum Transport

Für die Lagerung und den Transport ins Labor werden verwendet:

- Gasfolienbehälter, z. B. aluminiumkaschierte Kunststoffbeutel,

- Gassammelgefäße aus Glas, z.B. Gassammelrohre,
- Septumgläschen, auch als Bördelrandgläschen, Septumgläschen oder Head-space-Gläschen bezeichnet.
- Sorber, z. B. Aktivkohle, Tenax oder XAD-Harz.

Feste Probenbehältnisse müssen zunächst mit dem Probengas gespült werden. Hierbei sollte mindestens ein 5-facher Gasaustausch stattfinden. Erfahrungsgemäß treten dann keine signifikanten Messwertabweichungen mehr auf.

feste
Probenbehält-

Durch Temperaturänderungen können in festen Probengefäßen Druckschwankungen auftreten, welche bei Septumgläschen oder schlecht abgeschmolzenen Glasampullen Minderbefunde verursachen können. Dies ist der Hauptgrund, dass generell die maximale Lagerzeit der Probe möglichst kurz sein und eine Woche nicht überschreiten sollte, auch wenn schon längere Lagerzeiten ohne Minderbefunde beobachtet wurden.

Lagerzeit

Bei **Septumgläschen** ist die Eignung des Septums im Einzelfall nachzuweisen.

Septumgläschen

Gasbeutel müssen vor der eigentlichen Probennahme zunächst mit dem Probengas der Pumpendruckseite gefüllt und anschließend durch **Walgen** und **Aufrollen** wieder vollständig entleert werden. Anschließend erfolgt die **eigentliche Befüllung** mit der Gasprobe an der **Saugseite** des Systems.

Für **Spurengasuntersuchungen** sollten nur **fabrikneue** Gasbeutel verwendet werden. Hierzu ist der Gasbeutel in einen Unterdruckkasten einzulegen und über eine möglichst kurze Schlauchverbindung mit der Deponiegasmessstelle zu verbinden. Anschließend wird der Unterdruckkasten evakuiert. Dadurch wird der Gasbeutel mit der Gasprobe gefüllt. Danach kann der Gasbeutel entnommen und verschlossen werden.

Gasbeutel

Sollen Spurengase analysiert werden, müssen ggf. anreichernde Probennahmeverfahren eingesetzt werden, um eine ausreichend geringe Nachweisgrenze zu erzielen. In der Praxis werden je nach Analytik hierfür Aktivkohle-, Tenax- oder XAD-Röhrchen eingesetzt. Dabei ist zu beachten, dass die Porenluft der Altablagerung im Regelfall wasserdampfgesättigt ist und **Wasserdampf** ebenfalls die Sorber belegt.

Anreicherung

3.3 Feldmessgeräte

3.3.1 Flammenionisationsdetektor (FID)

Nachweisgrenze

Zur Ermittlung der Oberflächenemission bei Gaskonzentrationsmessungen an der Geländeoberfläche sind Messgeräte einzusetzen, deren untere Nachweisgrenze unter **5 ppm** bezogen auf Methan liegt. Erfahrungsgemäß werden hierfür tragbare Flammenionisationsdetektoren (FID) eingesetzt.

Der FID besteht aus einem Detektor zum Messen von ionisierbaren Stoffen in einem Gasstrom (Trägergas) und einem Ansaugsystem, das dem Detektor die Gasprobe zuführt. Im Messgerät gelangt die Gasprobe in eine Brennkammer, in der eine "Wasserstoffflamme" brennt, welche durch das Brenngas (z. B. H_2/N_2 -Gemisch) und dem in der angesaugten Gasprobe enthaltenen Sauerstoff gespeist wird. Der physikalische Effekt des "Flammenionisationsprinzips", der zur qualitativen Erfassung einer Gaskonzentration ausgenutzt werden kann, ist die Tatsache, dass die elektrische Leitfähigkeit der Wasserstoffflamme durch hinzukommende ionisierbare Anteile, wie z. B. Methan, in der Probe erhöht wird. Dieser Effekt wird mit Hilfe einer elektronischen Verstärkerschaltung zur Anzeige gebracht. Ionisierbar ist vor allem das im Deponiegas enthaltene CH_4 . Darüber hinaus sind ionisierbare Gase beispielsweise auch in Kfz-Abgasen enthalten oder diffundieren aus Treib- oder Brennstofftanks, aus beschichteten Oberflächen, aus Farb-, Lack- und Lösemitteln oder aus faulendem organischem Material. Dies ist bei der FID-Begehung und der Interpretation der Messergebnisse zu beachten.

Messprinzip

3.3.2 Gasanalysatoren

Zur Bestimmung der Konzentration der Deponiegashauptkomponenten CH_4 , CO_2 und O_2 an Ort und Stelle sind tragbare Analysengeräte auf dem Markt erhältlich. In den Geräten sind i. A. drei Messkanäle zur Bestimmung dieser Gaskomponenten integriert. Eine Pumpe fördert das Probengas über einen Filter in die Messzellen. Bei den meisten Geräten wird die Volumen-Konzentration $\sigma(CH_4)$ und $\sigma(CO_2)$ mit **Infrarotanalyse** bei verschiedenen Wellenlängen gemessen. Es gibt jedoch auch Fabrikate, bei denen $\sigma(CH_4)$ über **Wärmetönung** bzw. **-leitfähigkeit** und $\sigma(CO_2)$ durch einen **Infrarotkanal** oder über **Wärmeleitfähigkeit** mit Querverrechnung bestimmt werden. $\sigma(O_2)$ wird je nach Gerätetyp mit **paramagnetischer** oder **chemischer Messzelle** ermittelt. Es ist zu beachten, dass sich chemische Messzellen wie Batterien **verbrauchen** und von Zeit zu Zeit ersetzt werden müssen.

Bestimmung von Methan, Kohlendioxid und Sauerstoff

Bei den genannten Messverfahren kann der **Stickstoffanteil** nicht direkt ermittelt werden. Er wird in der Praxis oft als Differenz zu 100 % aus der Summe der Hauptgase $\sigma(CH_4)$, $\sigma(CO_2)$ und $\sigma(O_2)$ in % berechnet, weil davon ausgegangen wird, dass der Anteil sonstiger Spurengase unter 1 % liegt.

Stickstoffanteil

Zur Vermeidung von Falschmessungen durch Verschmutzung und eindringendes Wasser müssen in der Messgaszuführung ein **Wasserabscheider** und ein **Feinstaubfilter** integriert sein.

Wasserabscheider

3.3.3 Gaschromatograph

Die für den Feldeinsatz geeigneten Gaschromatographen (GC) bestehen i.A. aus zwei getrennten GC-Modulen, wobei jedes Modul mit einer Säule, einem Detektor und einem Injektionssystem ausgestattet ist.

Über eine im GC integrierte Pumpe und eine Kapillare wird ein definiertes Proben-gasvolumen zusammen mit einem Trägergas, der sog. mobilen Phase, auf die Trennsäulen aufgebracht. Die Trennsäulen sind mit einer stationären Phase, dem Adsorbens, gefüllt. Die einzelnen Bestandteile des Gasgemisches werden aufgrund ihres unterschiedlichen Wanderungsverhaltens auf der Säule voneinander getrennt. Am Säulenende werden die Einzelkomponenten durch spezielle Detektoren erfasst. Das vom Detektor abgegebene Signal wird von einem Integrator aufgenommen und ausgewertet. Hierdurch ist es möglich, die einzelnen Gaskomponenten qualitativ und quantitativ zu erfassen.

Messprinzip

Gaschromatographen zeichnen sich gegenüber Gasanalysatoren durch höhere Messgenauigkeit und die Möglichkeit der **direkten Stickstoffmessung** aus.

3.4 Messgeräte zur Ermittlung von Hilfsgrößen

3.4.1 Mikromanometer

Die Geräte zur Ermittlung des Gasdruckes im Innern von Altablagerungen sollten eine Auflösung im **Pascal-Bereich** aufweisen.

Gasdruck

Das Messprinzip der üblicherweise eingesetzten Drucksensoren beruht auf der Verformung einer Membran unter Druck. Eine Membrane bildet gleichzeitig eine Kondensatorplatte, dessen Kapazität sich bei der Verformung verändert. Verformt sich diese unter Druck, wird dadurch die Kapazität des Plattenkondensators verändert. Diese Kapazitätsänderung wird auf elektrischem Wege gemessen und als Druckanzeige verwendet.

Messprinzip

3.4.2 Anemometer und Windmessfahne

Windrichtung und Windgeschwindigkeit können mit einer transportablen Windmessanlage, bestehend aus einer mechanischen Windmessfahne zur Ermittlung der Windrichtung und einem Halbschalen-Anemometer zur Messung der Windgeschwindigkeit, erfolgen.

**Windrichtung
und -geschwin-
digkeit**

Zur Bestimmung bodennaher Windgeschwindigkeiten eignen sich auch thermische Anemometer.

3.4.3 Lichtlot

Zur Ermittlung des Wasserstandes in Deponiegasmessstellen haben sich Lichtlote mit optischem oder akustischem Signal bewährt.

Wasserstand

3.4.4 Thermometer

Zur Bestimmung der Gastemperatur haben sich Handmessgeräte mit Temperaturfühlern (Sensoren) und elektrisch verstärkten Messsignalen bewährt. Zur Umsetzung des Temperaturwertes in ein elektrisches Signal stehen unterschiedliche Sensorelemente zur Verfügung, wie Thermoelemente, Widerstandssensoren und Thermistoren. Diese unterscheiden sich hinsichtlich Messbereich, Genauigkeit, Ansprechzeit, Beständigkeit und Bauform. Prinzipiell haben Thermoelement-Fühler eine kürzere Ansprechzeit als Widerstands-Sensoren und Thermistoren. Die beiden letztgenannten weisen allerdings eine höhere Messgenauigkeit auf.

Temperatur

4 Allgemeine Qualitätssicherung und Dokumentation

Vor Untersuchungsbeginn ist ein **Messplan** zu erstellen, in welchem in Absprache mit dem Auftraggeber und der Behörde das Ziel der Messung und die Qualitätsanforderungen festzulegen sind.

Messplan

Für die Planung und Durchführung von Deponiegasmessungen zur Erkundung möglicher Gasgefahren gelten folgende Grundsätze:

Messbedingungen

- Günstige Messbedingungen herrschen bei **konstantem Luftdruck**. Bei steigendem oder fallendem Luftdruck sollen die Messungen unterbleiben. Zur Messung ist es aber erforderlich, dass der Luftdruck drei Tage vor und während der Gasmessungen registriert wird.
- Während längeren **Regenperioden** sollen **keine** Gasmessungen durchgeführt werden. Ausnahmen sind möglich bei Innenraumluftmessungen. Die Lufttemperatur und die Niederschlagsmenge am Standort sind **drei Tage vor** und **während** der Gasmessungen zu registrieren.
- Bei **Windgeschwindigkeiten über 4 m/s** sollen **keine** FID-Begehungen erfolgen. Die **Windverhältnisse** sind nach Geschwindigkeit und Richtung während der Begehungen zu registrieren.

Im Rahmen der Untersuchungsvorbereitung sind alle einzusetzenden Messgeräte und technischen Hilfseinrichtungen einer **Funktionsprüfung** zu unterziehen. Die hierbei gewonnenen Daten sind in einer **Prüfmittelkartei** bzw. **-datei** nachvollziehbar zu dokumentieren. Die Funktionsprüfungen, Wartungen und Kalibrierungen müssen nach dem Stand der Technik entsprechend den Festlegungen des Herstellers erfolgen.

Qualitätssicherung

Bei **Temperatur-, Druck- und Volumenmessgeräten** sollte mindestens **jährlich** die Messgenauigkeit überprüft werden. Diese Prüfung kann entweder durch den Anwender selbst oder durch den Gerätehersteller erfolgen.

Jährliche Prüfungen

Bei Geräten zur Bestimmung der Volumenkonzentration von **CH₄, CO₂, O₂** und ggf. **N₂** ist die **Messgenauigkeit** mit entsprechenden Prüfgasen zu **Beginn** und am **Ende** eines jeden **Messtages** bzw. einer **Messkampagne** zu **kontrollieren**. Treten hierbei unzulässige Abweichungen vom Sollwert auf, ist eine Nachkalibrierung durchzuführen. Die **Nachkalibrierung** mit den aufgetretenen und beseitigten Abweichungen sind im Untersuchungsbericht zu dokumentieren.

Arbeitstägliche Prüfungen

Das Datum der letzten **Funktionsprüfung** ist im Untersuchungsbericht zu dokumentieren. Messgeräte und technischen Hilfseinrichtungen mit **abgelaufenem Prüfdatum** sind von der Verwendung **auszuschließen**.

Dokumentation

Treten bei der Messdurchführung Zweifel an der Genauigkeit der eingesetzten Messgeräte auf, ist dies im Untersuchungsprotokoll zu vermerken und eine erneute Kalibrierung durchzuführen.

Werden **Fehlfunktionen** bzw. **-messungen** festgestellt, müssen **alle früheren Messungen** bis zur vorhergehenden ordnungsgemäßen Funktionsprüfung **wiederholt** werden. Fehlfunktionen oder -messungen liegen vor, wenn der ermittelte Wert um mehr als **10 %** vom Sollwert abweicht.

**Fehlfunktionen,
Fehlmessungen**

Über die Durchführung der Untersuchungen ist ein vollständiges Protokoll anzufertigen. Neben den eigentlichen Messdaten sind darin alle charakteristischen Kenn-
daten und Ergebnisse von Funktionsprüfungen der eingesetzten Messgeräte sowie alle Messdaten aufzuführen. Ebenfalls sind darin die Namen des **Messpersonals** zu nennen.

Messprotokoll

Die Richtigkeit aller Angaben im Protokoll sind vom **Verantwortlichen** mit Ort, Datum und Unterschrift zu bestätigen.

Allgemein ist festzustellen, dass Deponiegas Substanzen enthalten kann, welche die Messgeräte **beeinträchtigen** und die Messungen **stören** können. Dies begründet die geforderten häufigen Geräteprüfungen und Messkontrollen.

Störungen

5 Deponiegasmessungen an der Geländeoberfläche

5.1 Untersuchungsziele, Messstrategie, Fehlerquellen

Deponiegasmessungen an der Geländeoberfläche mit dem **Flammenionisationsdetektor** (FID), sog. FID-Begehungen, werden nach Bild 2 vor allem dann durchgeführt, wenn messtechnisch geprüft werden soll, ob eine gemäß Formblatt in Anlage 1 vorgenommene Einstufung der Altablagerung in die **stabile Methanphase** (Gasphasen IV) oder die **Langzeitphase** (Gasphase V) zutreffend ist.

**Anwendungsbe-
reiche**

Weitere Einsatzgebiete von Deponiegasmessungen an der Geländeoberfläche sind, ohne dass darauf im folgenden weiter eingegangen wird:

- die Langzeitüberwachung,
- die Sanierungskontrolle,
- die Prüfung von Gasleitungen auf Leckagen.

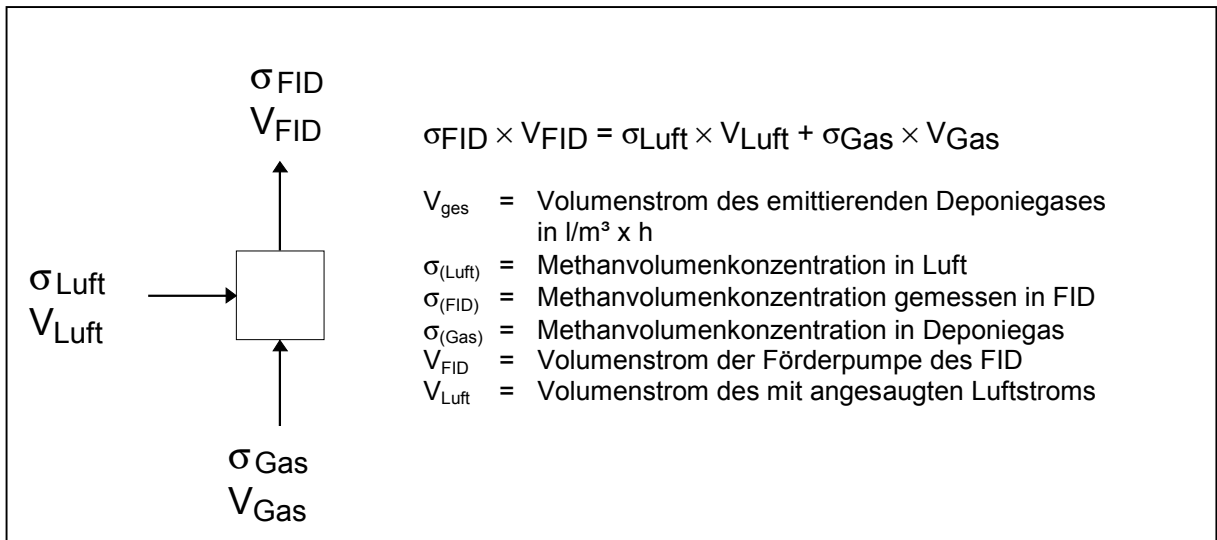
Man unterscheidet zwischen punktuellen und flächigen Deponiegasemissionen.

- **Punktuelle Gasemissionen** können an Setzungs- oder Schrumpfungsrissen auftreten. Dort können sich bei Verdünnung mit Luft brennbare oder explosionsfähige Gasgemische bilden. Darüber hinaus können enthaltene Spurenstoffe Vergiftungen oder Geruchsbelästigungen verursachen. Kann das Deponiegas die Luft verdrängen, so kann Erstickungsgefahr gegeben sein.
- **Flächige Gasemissionen** können je nach Art und Beschaffenheit der Oberfläche räumlich und zeitlich variieren. Die auftretenden Methankonzentrationen sind meist gering. Probleme können einzelfallspezifisch Geruchsbelästigungen oder Beeinträchtigung der Vegetation bereiten. In bestimmten Fällen können vergleichbare Gefahren wie bei punktuellen Gasemissionen auftreten.

Deponiegasemissionen können je nach Oberflächenbeschaffenheit und Witterungsverhältnissen räumlich und zeitlich stark variieren.

Bei der FID-Begehung wird die Saugglocke des FID auf die Untersuchungsfläche aufgesetzt und leicht angedrückt, jedoch ohne Abdichtung gegenüber der atmosphärischen Luft. Die Volumenströme während der Messung sind in nachfolgender Skizze schematisch dargestellt. Wäre der mit dem Gasspürgerät abgesaugte Volumenstrom gleich groß wie der durch die Deponiegasemission an der Saugglocke des Messsystems verursachte Deponiegasvolumenstrom, so wäre die Methankonzentration am FID gleich der Methankonzentration im Deponiegas.

**Abschätzung der
Emission**



Die durchschnittlichen flächigen spezifischen Restemissionen liegen bei flachen Deponien (Schütthöhe zwischen 15 und 30 m) etwa zwischen 4 und 20 $\text{l}/(\text{m}^2 \times \text{h})$ und können bis 40 $\text{l}/(\text{m}^2 \times \text{h})$ bei höheren Deponien (Schütthöhe über 30 m) erreichen. Punktuell wurden in Ausnahmefällen Spitzenwerte bis 1.200 $\text{l}/(\text{m}^2 \times \text{h})$ ermittelt.

häufig vorkommende Restemissionen

Bei den handelsüblichen Flammenionisationsdetektoren liegt der Messgasvolumenstrom je nach Fabrikat zwischen 45 und 120 l/h und der Durchmesser der Saugglocke zwischen 6 und 10 cm. Daraus errechnen sich spezifische Absaugraten zwischen etwa 5.700 und 42.000 l/h bezogen auf 1 m^2 . Die gerätespezifischen Messgasmengen liegen also deutlich über den auftretenden spezifischen Restemissionen an Altdeponierungen. Bei der Messung mit dem FID wird also stets Umgebungsluft mit angesaugt. Deshalb entspricht der am FID abgelesene Messwert i. d. R. nicht der tatsächlichen Konzentration an der Oberfläche, sondern ist wesentlich geringer.

Nachfolgende Faktoren können sich auf die Größe des Messsignals am FID auswirken:

Einflussfaktoren auf das Messsignal

Örtliche Gegebenheiten:

- Beschaffenheit der Oberfläche, wie Gasdurchlässigkeit, Rauigkeit, Risse, Spalten, Staunässe und Bewuchs.

Äußere Einflüsse:

- Windgeschwindigkeit,
- Luftdruckänderungen,
- Bodenfrost,
- weitere Emissionsquellen von detektierbaren Gasen (vgl. Kap. 2.3.1).

Messgerätspezifische Gegebenheiten:

- Nullpunktdrift, entweder durch unabsichtliches Verstellen des Nullpunktes oder bedingt durch die Bauart des Geräts.

- Veränderung des Messgasvolumenstroms,
- Instabilitäten des Messsignals durch mechanische Erschütterung des Messgeräts,
- Undichtheiten im Probennahmesystem.

Fehler bei der Messdurchführung:

- Übergehen der gerätespezifischen T_{90} -Einstellzeit,
- falsche Platzierung der Messglocke, wie unvollständiges Aufsetzen der Messglocke, z. B. infolge starker Vegetation.

Die Auswirkungen dieser Einflüsse auf das Messergebnis wurden im Rahmen der Erstellung dieser Handlungsempfehlung untersucht. Daraus wurden die nachfolgend beschriebenen Bedingungen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung und Standardisierung abgeleitet.

5.2 Messanordnung und Messstelle

Windverhältnisse und Luftdruck

Zur Interpretation der Messergebnisse und Beurteilung der Situation sind die an den Messtagen herrschenden **Windverhältnisse** nach **Richtung** und **Stärke**, **Temperaturen** sowie der **Luftdruck** zu erfassen.

Temperatur- und Luftdruckverlauf sind **kontinuierlich** aufzuzeichnen. Dies kann im Regelfall durch eine auf der Altablagerung zentral angeordnete Wetterstation erfolgen.

Temperatur und Luftdruck

Die **bodennahen** Windverhältnisse werden durch die Topographie beeinflusst und sind lokal unterschiedlich. Die **Windstärke** ist in der Nähe der Messstellen bodennah während des Messzeitraumes **kontinuierlich** aufzuzeichnen.

Windstärke und -richtung

Bei Windstärken **über 4 m/s** in Bodennähe sind die Messungen **zu unterbrechen** bzw. **abzubrechen**. Böige Winde während den Messungen sind im Messbericht gesondert zu vermerken.

Bodenverhältnisse an der Geländeoberfläche und Niederschläge

Der Zustand des Bodens im Bereich der Messstellen ist zum Zeitpunkt der Messung hinsichtlich folgender Kriterien zu beurteilen bzw. zu beschreiben:

Dokumentation

- Art und Zustand der Vegetation,
- Art und Zustand von eventuell vorhandenen Abdeckungen,
- Vorhandensein von Rissen, beispielsweise durch Austrocknung, ungleichmäßige Setzungen oder Sackungen,
- Ansprache der Bodenfeuchte, z. B. trocken, feucht, vernässt.

Die Angaben sind im Lageplan darzustellen.

Bei starker Vernässung des Bodens sollte nicht gemessen werden. Bei einsetzen stärkeren Niederschlägen sind die Messungen abzubrechen. Sie können am gleichen Tag nicht fortgesetzt werden.

**Ungeeignete
Messbedingun-
gen**

Im Winter durchgeführte FID-Begehungen sind ohne ergänzende Deponiegasmessungen für eine realistische Gefahrenbeurteilung nicht ausreichend.

5.3 Durchführung

5.3.1 Vorbereitung

Vor Messbeginn sind Planunterlagen mit Unterteilung in Rasterflächen zu erstellen. Das Messraster ist entsprechend im Gelände abzustecken, falls nicht ein geeignetes GPS-System zur Lagebestimmung eingesetzt wird.

Eventuell vorhandener hoher Grasbewuchs ist vor Messbeginn zu mähen.

5.3.2 Ablauf der Messungen

Die FID-Begehung muss sich auf den gesamten Bereich der Altablagerung einschließlich vorhandener Böschungen erstrecken. Von Ablagerungsbereichen mit unebener Oberfläche oder fehlender Abdeckung können keine zuverlässigen Messsignale gewonnen werden.

Messgebiet

Für die Dichte der Messpunkte wird in ebenem Gelände ein Rechteckraster mit **25 m Rasterabstand** empfohlen. Eine Reduzierung des Rasterabstandes auf beispielsweise **12,5 m** kann bei Vorliegen besonderer Gegebenheiten, z. B. Böschungen, Aufwuchsschäden, angezeigt sein.

**Untersuchungs-
raster**

In jeder Teilfläche sind an mindestens **zwei** zufällig gewählten Stellen FID-Messungen durchzuführen. Falls hierbei Konzentrationen von über **100ppm** ermittelt werden, sind in einem maximalen Abstand von **5 m** in jeder Hauptrichtung weitere Messungen durchzuführen.

Verschiedene Untersuchungen und Auswertungen zeigten, dass das Messsignal am FID mit zunehmendem Abstand zwischen Saugglocke und Geländeoberfläche abnimmt. Daher muss die **Saugglocke** von Hand auf den Untergrund aufgesetzt und leicht aufgedrückt werden.

Gerätehandhabung

Unabhängig von der Rastereinteilung sind an stark **ausgasenden Stellen** weitere

**Nur geschultes und
erfahrenes (sach-
kundiges) Personal**

FID-Messungen durchzuführen. Solche Stellen können nur von geschultem und erfahrenem Messpersonal erkannt werden. Daher darf zur Messung nur **sachkundiges** Personal eingesetzt werden.

Die Beprobungsdauer pro Messpunkt beträgt **mindestens 60 s**. Sie kann reduziert werden, wenn die spezifische T_{90} -Einstellzeit der verwendeten Messanordnung wesentlich kürzer ist. In diesem Fall muss die spezifische T_{90} -Einstellzeit ermittelt und dokumentiert werden. Die Beprobung darf jedoch nicht kürzer als **15 s** sein, damit kurzfristige atmosphärische Einflüsse kompensiert werden.

Messzeit

5.4 Qualitätssicherung und Dokumentation

Im **Messbericht** sind alle Randbedingungen der Messungen und die ermittelten Werte zu dokumentieren. Dazu gehört auch die Nennung der eingesetzten Geräte und ihrer Kalibrierdaten sowie des eingesetzten Messpersonals. **Anlage 3** zeigt beispielhaft einen Messbericht.

Messbericht

Die **Linearität des Messsignals** ist im relevanten Messbereich, das ist in der Regel der Bereich zwischen 10 und 2.000 ppm, **halbjährlich** zu überprüfen. Der letzte Termin dieser Überprüfung ist im Ergebnisbericht der FID-Begehung zu dokumentieren.

Linearität des Messsignals

Während der Messkampagne ist die **Empfindlichkeit** des eingesetzten Gerätes im Bereich um ca. 100 ppm **arbeitstäglich** zu überprüfen. Diese Empfindlichkeitsprüfung ist ebenfalls im Messbericht zu dokumentieren.

Empfindlichkeit

FID-Messungen an der Geländeoberfläche müssen mit bekanntem und **konstantem Durchfluss** erfolgen, damit die ermittelten Ergebnisse korrekt bewertet werden können. Daher ist mindestens zu Beginn und am Ende eines jeden Arbeitstages der **Messgasdurchfluss** des Gesamtsystems zu überprüfen. Je nach Typ und Alter der Akkus, die zum Betrieb des Messgerätes eingesetzt werden, sind kürzere Zeitintervalle für diese Kontrollmessungen empfehlenswert. Abweichungen vom anfänglichen Volumenstrom um mehr als **10%** weisen auf ungenügenden Ladezustand der geräteinternen Akkus hin. Entsprechende Abhilfemaßnahmen sind zu ergreifen und im Messprotokoll zu vermerken.

Messgasdurchfluss

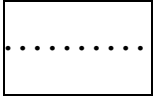
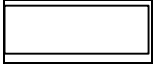
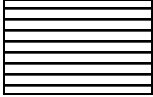
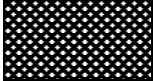
Die ermittelten Messwerte sind tabellarisch darzustellen, fortlaufend zu nummerieren und tageweise zusammenzufassen. Hierbei ist jeweils die Start- und Endzeit der Begehung anzugeben.

Dokumentation

Die Messpunkte sind im Lageplan einzutragen. Für die Bewertung der Messergebnisse ist es zweckmäßig, Flächen mit gleichen oder ähnlichen Messwerten zu

Emissionsklassen

kennzeichnen. Dazu sind die ermittelten Ergebnisse bestimmten Klassen zuzuordnen. Empfehlungen für die Klassenunterteilung und die Darstellung im Lageplan enthält nachfolgende Tabelle.

Konzentrationsbereich FID-Signal auf CH ₄ kalibriert	Emissionsklasse	Beschreibung	Farbkennzeichnung oder Schraffur
0-10 ppm	I	Hinweis auf vorhandene Gasemissionen	Grün 
11 - 100ppm	II	leicht erhöhte Gasemissionen	Gelb 
101- 1.000ppm	III	mittlere Gasemissionen	Blau 
> 1.000 ppm	V	sehr starke Gasemissionen	Rot 

Die vorgeschlagenen Konzentrationsbereiche beziehen sich auf Messungen mit einer Saugglocke bei einem Messgasvolumenstrom von etwa 60 l/h und einen Saugglockendurchmesser von 7,5 cm. Erfolgen die Messungen unter wesentlich anderen gerätespezifischen Bedingungen, sind die Konzentrationsbereiche durch einen Korrekturfaktor anzupassen, um vergleichbar zu sein.

gerätespezifische Bedingungen

Der gerätespezifische Korrekturfaktor sollte an einer Prüfeinrichtung mit einem 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 Vol.-%, einer CO₂-Konzentration von 35 Vol.-% und einer N₂-Konzentration von 5 Vol.-% eingesetzt werden. Die Ermittlung des gerätespezifischen Faktors ist in mindestens drei voneinander unabhängigen Messungen durchzuführen, jährlich zu wiederholen und in der Prüfmittelkartei zu dokumentieren.

Korrekturfaktor

Die Prüfeinrichtung kann auch zur Linearitätsprüfung des Flammenionisationsdetektors eingesetzt werden. Hierbei sind dann spezifische Durchflüsse von 5, 10 und 20 l/(m² × h) einzustellen. Damit kann die Prüfung der Linearität mit Prüfgasen unterschiedlicher Konzentrationen entfallen.

Prüfeinrichtung

6. Messung der Deponiegaskonzentration im Untergrund

6.1 Untersuchungsziele, Messstrategie, Fehlerquellen

Die Bestimmung der Deponiegaskonzentration im Untergrund wird nach Bild 2 vor allem dann durchgeführt, wenn eine gemäß Formblatt in Anlage 1 vorgenommene Einstufung der Altablagerung in die **stabile Methanphase** (Gasphase IV), **Langzeitphase** (Gasphase V), **Lufteindringphase** (Phase VI) oder die **Methanoxidationsphase** (Phase VII) zu prüfen ist. Die nachfolgend beschriebene Messanordnung und -durchführung bezieht sich darauf. Bei anderen Gasphasen und anderen Untersuchungszielen kann sinngemäß vorgegangen werden, beispielsweise wenn es um die Entnahme von Gasproben für Spurengasanalysen oder die messtechnische Überwachung von Absaugversuchen nach Kap. 7 geht.

Untersuchungsziel

Bei der Messung der Porengaskonzentration ist wichtig:

- Die Gasprobe muss aus einem definierten Tiefenbereich stammen.
- Durch den Bau der Messstelle und die Entnahme der Gasprobe darf das Messobjekt nicht gestört werden.

Messobjekt

Daher muss nach Einrichtung der Messstelle bis zur Probennahme so lange gewartet werden, bis sich in der Messstelle wieder ungestörte Verhältnisse eingestellt haben.

Für die Ermittlung von Konzentrationsgradienten sind Messstellen mit verschiedenen Ausbautiefen erforderlich.

Bild 3 zeigt im schematisierten Schnitt eine Altablagerung während der **stabilen Methanphase** (Phase IV) oder der **Langzeitphase** (Phase V). Die Gaszusammensetzung ist im gesamten Deponiekörper etwa gleich. Die Methankonzentration liegt in der Größenordnung um 60 Vol.-%, die Ablagerung ist vollständig mit Deponiegas gefüllt und es findet eine Emission über die Oberfläche in die Atmosphäre statt. Bei diesen Verhältnissen sind die Konzentrationen der Deponiegashauptkomponenten sowohl direkt unter der Oberfläche als auch in einigen Metern Tiefe annähernd gleich. Deshalb genügen hier relativ wenige Untersuchungsstellen ohne Tiefendifferenzierung.

Messobjekt in Phase IV oder V

Bild 4 zeigt im schematisierten Schnitt eine Altablagerung im weiter fortgeschrittenen Stadium der **Lufteindringphase** (Phase VI). Durch Abklingen der Deponiegasbildung und dem hieraus resultierenden abnehmenden Druck im Inneren der Ablagerung beginnt sich der Porenraum langsam wieder mit atmosphärischer Luft zu füllen. Deponiegasemissionen in die Atmosphäre bzw. den Untergrund treten ab dieser Phase meist nur noch temporär oder lokal auf. Die

Messobjekt in Phase VI

Konzentrationen der Deponiegashauptkomponenten direkt unter der Oberfläche können sich signifikant von denen im Innern der Altablagerung unterscheiden.

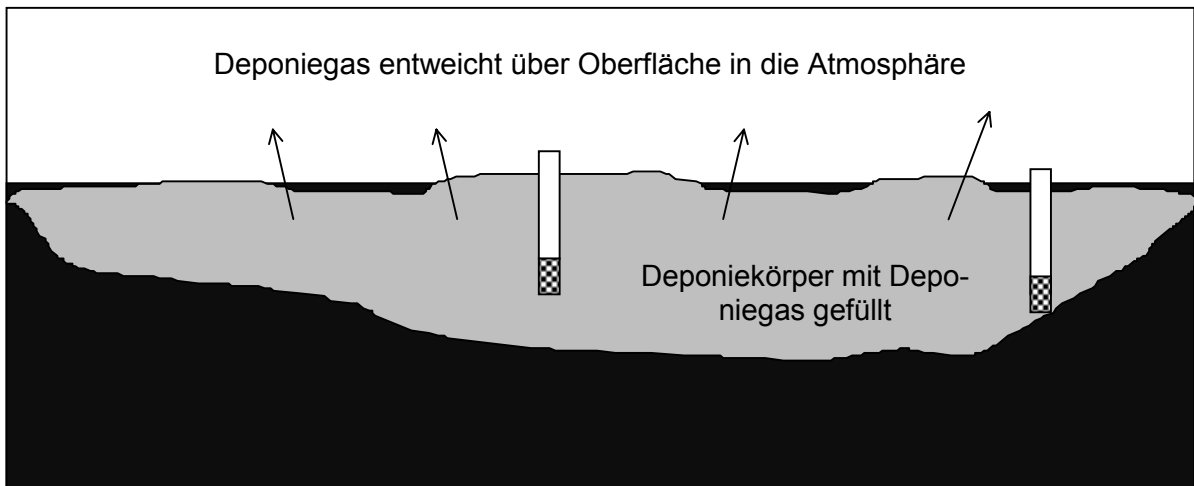


Bild 3: schematisierter Schnitt durch eine Altdeponierung während der **stabilen Methanphase** (Phase IV) oder der **Langzeitphase** (Phase V)

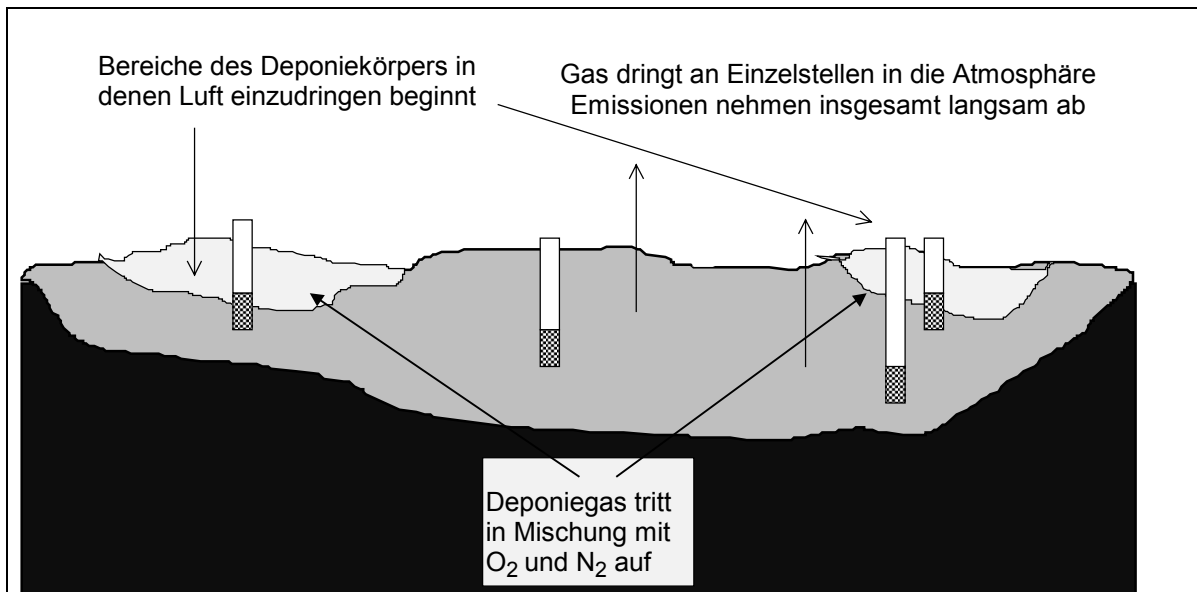


Bild 4: schematischer Schnitt durch eine Altdeponierung in der **Luft eindringphase** (Phase VI)

Fehler bei der Einrichtung von Messstellen, sog. Ausbaufehler, können sich folgendermaßen auf das Messergebnis und die Ermittlung des Handlungsbedarf bei Altablagerungen auswirken:

- Falls die Messstellen zu flach sind, werden Luftanteile überproportional gewertet, was dazu führen kann, dass die Gefahrensituation zu gering eingeschätzt wird und ein eventueller Handlungsbedarf nicht erkannt wird.
- Falls die Messstellen zu tief sind, wird der Methangehalt überproportional gewertet, was dazu führen kann, dass die Gefahrensituation zu hoch eingeschätzt wird, was zu übertriebenen Gefahrenabwehrmaßnahmen führen kann.
- Falls die eingebaute Filterstrecke zu groß ist, kann es zu einer überproportionalen Wertung der Luftanteile kommen, so dass ein eventueller Handlungsbedarf unerkannt bleibt.

Auswirkungen von Fehlern

Aus diesem Grunde werden im Stadium der **Lufteindringphase** (Phase VI) oder der **Methanoxidationsphase** (Gasphase VII) tiefendifferenzierte Messstellen vorgeschlagen.

6.2 Messanordnung und Messstelle

In Abhängigkeit von den in Kapitel 6.1 dargestellten Untersuchungszielen ergeben sich an den Ausbau der Messstellen unterschiedliche Anforderungen.

Einfachmessstellen werden für Gasmessungen bei Altablagerungen in der **stabilen Methanphase** (Gasphase IV) oder der **Langzeitphase** (Gasphase V) empfohlen.

Einfachmessstellen

Die erforderliche **Anzahl** der Messstellen richtet sich nach der Größe der Altablagerung. Pro Hektar Oberfläche werden **eine** Messstelle, mindestens jedoch **drei** Messstellen pro Altablagerung empfohlen.

Messstellenzahl Messstellendichte

Als **Ausbautiefe** werden ca. **2 m** empfohlen, wobei der untere Meter als **Schlitzfilterrohr** und der obere als **Vollrohr** auszuführen ist.

Tiefendifferenzierte Messstellen werden für Gasmessungen bei Altablagerungen in der **Lufteindringphase** (Gasphase VI) oder in der **Methanoxidationsphase** (Gasphase VII) empfohlen.

Tiefendifferenzierte Messstellen

Die Lage der tiefendifferenzierten Messstellen richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen und nach dem jeweiligen Untersuchungsziel. Messstellen können sowohl in Zentrums- als auch in Randbereichen sinnvoll sein.

In einer Vielzahl von Fällen haben sich die **Untersuchungstiefen** 2, 4 und 6 m unter Geländeneiveau bewährt. Die genauen Tiefen der einzelnen Messstellen

Untersuchungstiefen

müssen in jedem Fall unter Berücksichtigung ortsspezifischer Gesichtspunkte, wie Tiefe der Ablagerung oder Mächtigkeit der Abdeckschicht, im Detail festgelegt werden. Ebenso sind die Untergrundverhältnisse zu berücksichtigen.

Für den Ausbau werden **1"** oder **5/4"-Rohre** empfohlen. Die einzelnen Entnahmehorizonte müssen gegeneinander durch **Tondichtungen** abgedichtet werden. **Bild 5** zeigt beispielhaft einen 3-fach tiefendifferenzierten Messstellenausbau.

Messstellenausbau

Prinzipiell stehen zur Erstellung der Messstellen folgende Verfahren zur Verfügung:

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

Die einfachste und kostengünstigste Möglichkeit der Errichtung von Messstellen ist das direkte Einrammen von geschlitzten oder perforierten Stahlrohren oder das Einstellen von geschlitzten oder perforierten HDPE- oder PVC-Rohren in gerammte Bohrlöcher. Aufgrund der bei Altablagerungen häufig anzutreffenden hohen Eindringwiderstände können damit nur flache Messstellen errichtet werden. Bei gerammten Messstellen können keine Aussagen zur Untergrundbeschaffenheit gewonnen werden. Außerdem sind sie oft kostspieliger als Messstellen aus eingestellten HDPE- oder PVC-Rohren. Wenn Spurengase zu ermitteln sind, müssen mögliche Beeinflussungen der Analysenergebnisse durch entsprechendes Rohrmaterial vermieden werden.

Materialauswahl

Bewährt hat sich auch das Einrichten von Messstellen mittels **Kernbohrverfahren**. Durchmesser von mehr als 178 mm können entsprechend Bild 5 problemlos tiefendifferenziert ausgebaut werden. Um Bohrtiefen von 6 m zu erreichen, ist ein schweres Bohrgerät erforderlich, welches auf einem geländegängigen Fahrzeug oder auf einer Selbstfahrlafette 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.

Bohrverfahren

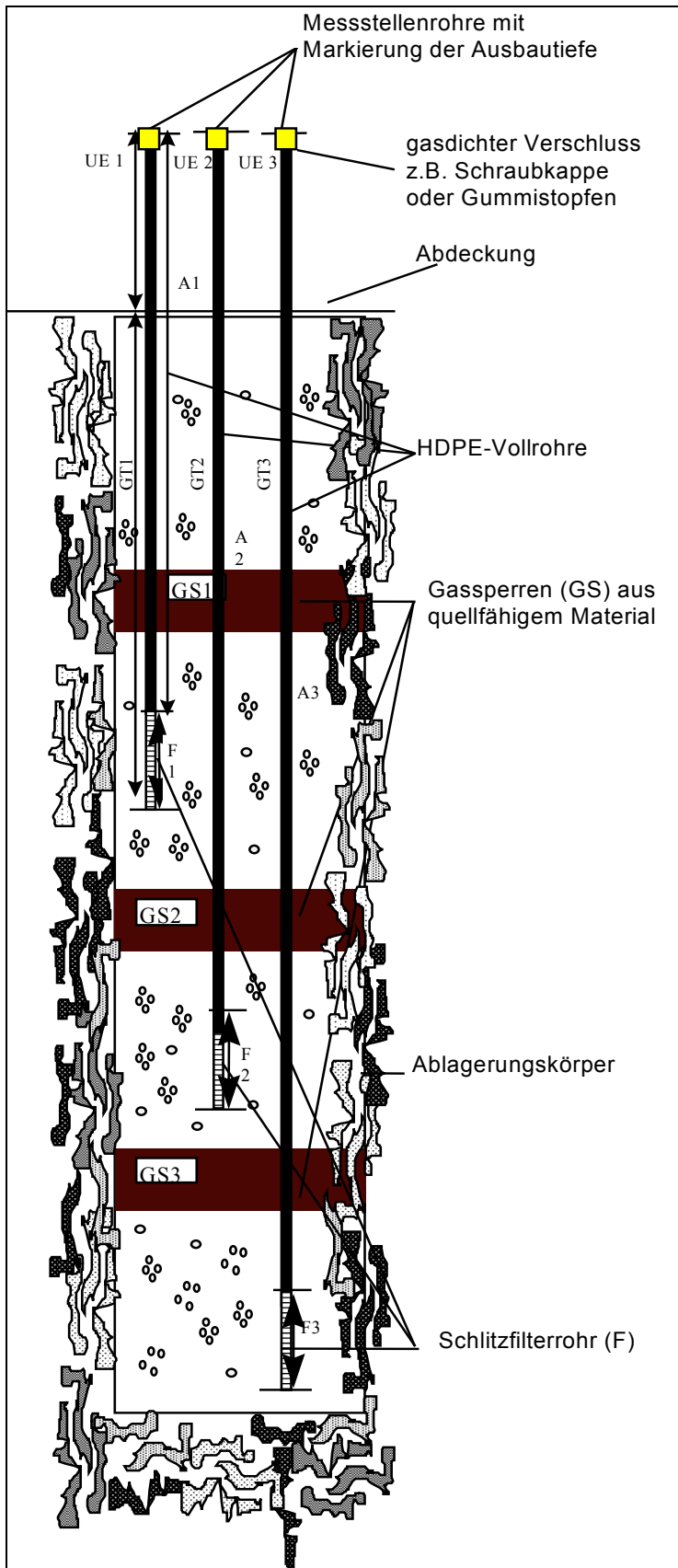


Bild 5: Beispiel eines tiefendifferenzierten Deponiegasmessstellenausbaus

6.3 Durchführung

6.3.1 Vorbereitung

Unmittelbar nach dem Messstellenausbau muss die Luft in der Messstelle **5-fach ausgetauscht** werden. Hierbei sollte die maximale Absaugrate von **4 l/min** nicht überschritten werden.

Luftaustausch in der Messstelle

Zur Gewinnung repräsentativer Daten aus tiefendifferenzierten Messstellen ab erwarteter **Luft eindringphase** (Gasphase VI) und bei Messstellen zur Ermittlung von **Gasmigrationen** im Umfeld von Altablagerungen muss eine **Mindeststandzeit** zwischen Messstellenausbau und Beprobung von **einer Woche** eingehalten werden. Empfehlenswert ist ein Zeitraum von **zwei Wochen**. Während dieser Zeit ist die Messstelle mit einer **dichtschließenden Kappe** zu versehen.

Mindeststandzeit bis zur Beprobung

Falls sich die Altablagerung noch in der **stabilen Methanphase** (Gasphase IV) oder der **Langzeitphase** (Phase V) befindet, kann die Beprobung unmittelbar nach Einrichtung der Messstellen erfolgen. Werden dabei Sauerstoff-Konzentrationen ermittelt oder liegt der Stickstoff-Anteil über 10 Vol.-%, sollte zur Absicherung eine **weitere Beprobung** nach einer Wartezeit von mindestens **zwei Wochen** erfolgen. Während der Wartezeit ist die Messstelle ebenfalls mit einer **dichtschließenden Kappe** zu versehen.

Eine Auswertung der Ergebnisse von Deponiegasmessungen zeigte, dass eine Beprobung unmittelbar nach Errichtung der Messstelle falsche Ergebnisse liefert. Durch die für die Errichtung der Messstellen erforderlichen Eingriffe in den Untergrund, wie Abteufen des Bohrloches bzw. der Sondierung, Einbringen der Messstellenrohre, kommt es zu einem Lufteintrag in den Untergrund. Dieser kann bei Altablagerungen in der **Luft eindringphase** (Phase VI) und **späteren Gasphasen** durchaus relevant werden und ein verfälschtes Bild ergeben. Befindet sich die Altablagerung hingegen noch in der **stabilen Methanphase** (Gasphase IV) oder in der **Langzeitphase** (Gasphase V), wird die eindringende Luft durch das im Ablagerungskörper gebildete Deponiegas sehr rasch verdrängt und der beschriebene Effekt ist ohne Bedeutung.

6.3.2 Aufbau der Messeinrichtung

Das Analysensystem sollte grundsätzlich so angeordnet werden, dass die im Analysator integrierte Pumpe das Probengas aus der **Druckseite** einer separaten Messgasentnahmepumpe ansaugt. Hierdurch können Verfälschungen der Messung durch den entstehenden Unterdruck in der Ansaugleitung vermieden werden. Bild 6 zeigt schematisch die Messanordnung.

Anordnung der Probennahme

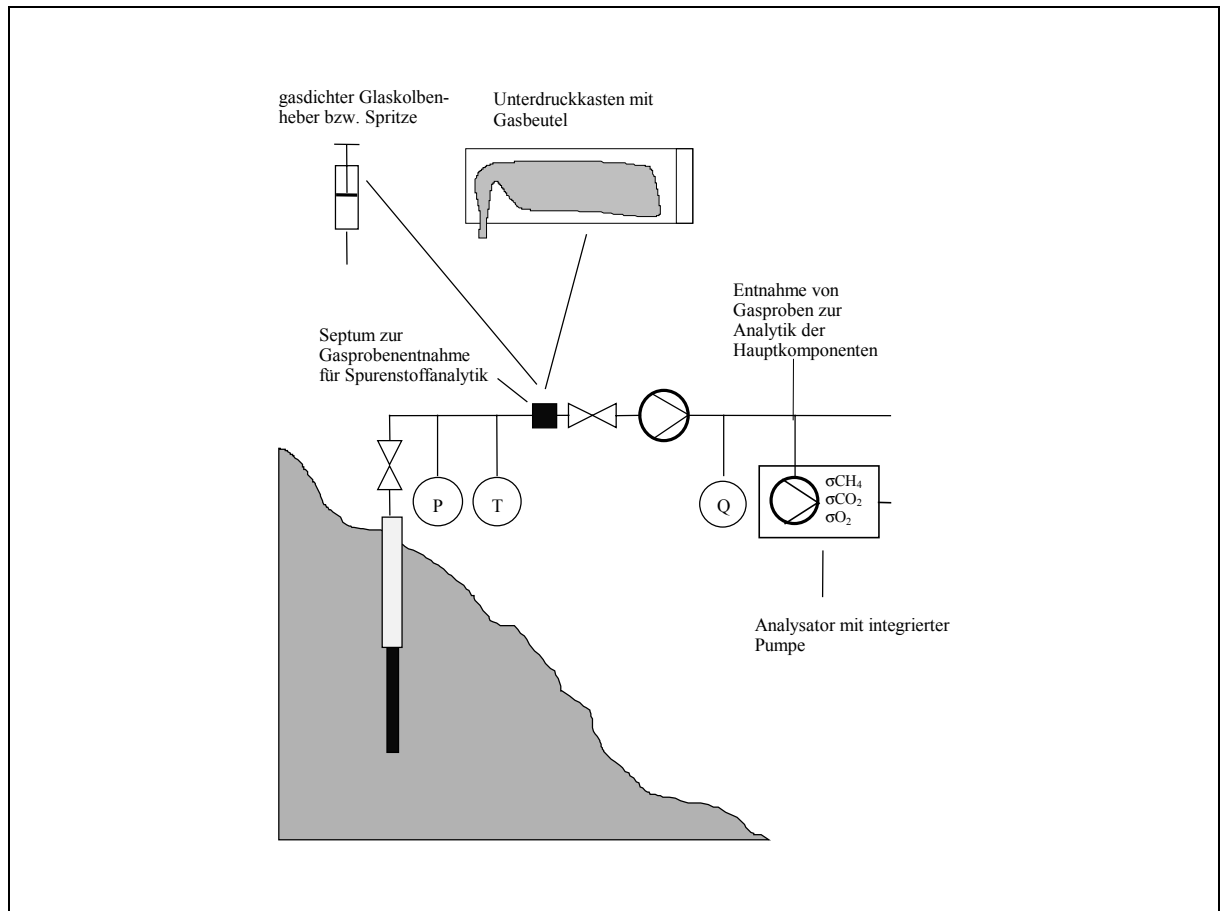


Bild 6: Messaufbau zur Durchführung von Deponiegasmessungen und Entnahme von Gasproben an Deponiegasmessstellen

Dagegen muss die Probennahme zur Untersuchung auf Spurengase entsprechend Bild 6 auf der **Saugseite** der Absaugpumpe erfolgen, um möglichst unbeeinflusste Messwerte zu erzielen.

Probennahme bei Spurengasanalytik

6.3.3 Ablauf der Messungen

Ermittlung des Ruhedruckes

Vor Beginn der Probennahme ist der **Ruhedruck** in der Messstelle zu ermitteln. Hierdurch können zusätzliche Erkenntnisse über den Gashaushalt in der Ablagerung gewonnen werden. Da erfahrungsgemäß nur sehr geringe Differenzdrücke im Ruhezustand auftreten und auch zur Probennahme nur Drücke im Bereich von wenigen Pascal erforderlich sind, sollte zur Druckmessung ein Gerät mit einer **Auflösung** und **Reproduzierbarkeit** im Pascal-Bereich eingesetzt werden (vgl. Kap. 3.4.1).

Druckmessgerät

Gasaustausch in der Deponiegasmessstelle und Ermittlung des Messgasstromes

Vor der Entnahme von Gasproben muss das Volumen der Messstelle einmal ausgetauscht werden, wobei der Beizug von atmosphärischer Luft möglichst zu vermeiden ist. Dieser Volumenaustausch sollte mit einem Gasvolumenstrom von nicht mehr als **2 l/min** erfolgen. Bei größeren Messstellenvolumina, etwa ab 20 l, können ausnahmsweise auch Volumenströme bis **6 l/min** angewendet werden.

Volumenstrom

Diese Maßnahme erscheint nötig, weil es nach Aufschrauben des Messstellenverschlusses und Anschluss der Mess- oder Probennahmeeinrichtungen zu einem Lufteintrag in die Messstelle und zu einer Verdünnung der Gaskonzentrationen kommen kann. Bei Untersuchungen wurde ermittelt, dass ab einer Austauschmenge des einfachen Messstellenvolumens dieser Einfluss vernachlässigt werden kann und eine ausreichende Konstanz der Messwerte erreicht wird.

Austausch des Messstellenvolumens

Ermittlung von Temperatur und Saugdruck

Temperatur und **Saugdruck** müssen während der Absaugung ermittelt werden. Der sich aufbauende Saugdruck während des Absaugens der Messstelle kann Hinweise auf die Funktionstüchtigkeit und Eignung der Messstelle geben. Hohe und sich aufbauende Unterdrücke weisen z. B. auf eine Verstopfung des Filterohres oder einen Wassereinstau hin.

**Temperatur
Saugdruck**

Ermittlung der Hauptkomponenten durch tragbare Analytoren

Die Konzentration der Hauptgase **CH₄**, **CO₂** und **O₂** können an der Messstelle mit tragbaren Analysengeräten ermittelt werden. Sie ist als Konzentration in Volumen-Prozent (Vol.-%) anzugeben.

Messung von
- **Methan,**
- **Kohlenstoffdioxid**
- **Sauerstoff**

Bei vielen Feldmessgeräten wurde beobachtet, dass sich die Messwertanzeige durch Drehen oder Kippen des Messgeräts verändert. Bei diesen Geräten ist darauf zu achten, dass sie sich während der Messung in der richtigen Lage befinden. Die Gefahr des Drehens oder Kippens ist besonders groß bei kleinen und handlichen Messgeräten, wie Deponiegasmonitoren mit chemischer Messzelle zur Sauerstoffmessung. Die meist in Kofferform gebauten Geräte mit paramagnetischer Sauerstoffmessung sind wesentlich schwerer und voluminöser, so dass bei ihnen die Gefahr von schädlichen Lageveränderungen geringer ist.

Fehlermöglichkeiten

Bei vielen Messgeräten bewirken Druckschwankungen beim Messgasfluss eine Veränderung der Messwertanzeige. Deshalb ist auf einen konstanten Messgasfluss zu achten, der gerätespezifisch im Bereich zwischen 0,5 und 2 l/min liegt. Aus diesem Grund wird empfohlen, die Ansaugleitung des Analysensystems **hinter** der Messgasentnahmepumpe anzuordnen (vgl. Kap. 6.3.2).

Entnahme von Proben zur Gasanalytik

Bei Altablagerungen ab der **Lufteindringphase** (Gasphase VI) sollte die an Ort und Stelle ermittelte Gaszusammensetzung im notwendigen Umfang **abgesichert** werden, beispielsweise durch Analyse mit dem Gaschromatograph (GC). Der Stickstoffgehalt wird häufig als Differenz zu 100 % und der Summe der Volumenkonzentration von CH₄, CO₂ und O₂ errechnet, die an Ort und Stelle mit Deponiegasanalytoren gemessen werden. Da bei dieser Vorgehensweise keine Kontrollmöglichkeit gegeben ist, wird empfohlen, jede **fünfte** Probe mit dem Gaschromatograph (GC) zu analysieren und dabei die N₂-Volumenkonzentration mitzubestimmen.

Gaschromatographische Analyse

Die GC-Analyse sollte möglichst an Ort und Stelle mit einem mobilen GC mit Wärmeleitfähigkeitsdetektor (GC/WLD) erfolgen. Es gibt geländefähige oder in einem Messfahrzeug untergebrachte Geräte. Die Gasproben können entweder über Messgasleitungen oder geeignete Probengefäße, beispielsweise Gasfolienbehälter oder Gassammelgefäße aus Glas, dem Analysengerät zugeführt werden.

Erfolgt die Probennahme ausschließlich für die Analyse auf die Gase CH₄, CO₂, O₂ und N₂ mit dem GC/WLD, können die Probenbehältnisse auf der **Druckseite** der Absaugsystems befüllt werden. Für **Spurengasanalytik** müssen allerdings die Behältnisse auf der **Saugseite** des Systems gefüllt werden (vgl. Kap. 6.3.2).

Probennahme zur Spurengasanalytik

Gasbeutel müssen **vor** der eigentlichen Probennahme zunächst mit dem Probengas der Pumpendruckseite gefüllt und anschließend durch **Walken** und **Aufrollen** wieder vollständig entleert werden. Anschließend erfolgt die **eigentliche Befüllung** mit der Gasprobe an der Saugseite des Systems (vgl. Kap. 3.2).

Gasbeutel

Für **Spurengasuntersuchungen** sollten nur **fabrikneue** Gasbeutel verwendet werden. Hierzu ist der Gasbeutel in einen Unterdruckkasten einzulegen und über eine möglichst kurze Schlauchverbindung mit der Deponiegasmessstelle zu verbinden. Anschließend wird der Unterdruckkasten evakuiert. Dadurch wird der Gasbeutel mit der Gasprobe gefüllt. Danach kann der Gasbeutel entnommen und verschlossen werden.

Gassammelgefäße aus Glas werden sowohl bei druckseitiger als auch bei saugseitiger Probennahme direkt an die Pumpenleitungen angeschlossen und vom zu messenden Gas durchströmt. Nach ausreichender Durchströmung werden die Küken des Gassammelgefäßes geschlossen. Wichtig ist, dass sowohl bei saugseitiger als auch bei druckseitiger Entnahme die Küken auf der Abströmseite zuerst geschlossen werden.

Gassammelgefäße

Septumgläschen müssen zunächst ausreichend gespült werden.

Septumgläschen

Erfolgt die Probennahme mit einer Pumpe, kann das Messgas von der Druckseite direkt über eine Kanüle in das Gläschen geleitet werden. Nach ausreichender Spülung wird die zweite — zur Entlüftung dienende — Kanüle entfernt. Da die Gassaugpumpe weiter Probengas fördert, kommt es zu einem Überdruck im Gläschen. Nach etwa 5 bis 10 sec wird die Kanüle aus dem Septum des Septumgläschens entfernt.

Erfolgt die Probennahme 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 Septumgläschen gedrückt. Wie bei der druckseitigen Anordnung befindet sich im Gläschen ebenfalls eine Entlüftungskanüle. Wenn in der Spritze bzw. im Glaskolbenheber noch ca. das 1,1- bis 1,2-fache Gasvolumen des Gläschens vorhanden ist, wird die Entlüftungskanüle entfernt und das restliche Probengas in das Septumgläschen gedrückt. Hierdurch entsteht ebenfalls ein Überdruck im Septumgläschen.

Ermittlung der Messstellentiefe und des Wasserstandes

Zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit der Deponiegasmessstelle ist nach Durchführung der Probennahme die Tiefe des Messstellenrohres und ein eventuell vorhandener Wassereinstau durch Lichtlotmessung zu ermitteln. Durch diese Reihenfolge sollen Messwertverfälschungen durch Zutritt von Fremdluft vermieden werden.

Prüfung von Messstellentiefe und Wasserstand

Sonstige aufzunehmende Randbedingungen

Außenlufttemperatur und atmosphärischer Luftdruck sind am Messtag zu bestimmen. Darüber hinaus ist der Zustand des Bodens zu charakterisieren, wobei eine Einstufung in die Kategorien trocken, feucht und nass ausreicht.

sonstige wichtige Randbedingungen

6.4 Qualitätssicherung und Dokumentation

Bei der Gasprobennahme können Undichtheiten im Probennahmesystem auftreten, insbesondere an lockeren Verschraubungen, Steckverbindungen oder Rissen in den Probennahmeleitungen. Diese Undichtheiten können Beimischungen von Luft verursachen. Daher ist eine **Dichtheitsprüfung** der Probennahmeapparatur erforderlich. Hierzu wird die Filterstrecke der Messstelle oberhalb des perforierten Filterrohres durch einen Packer gasdicht verschlossen oder die am Pegelkopf befindliche Absperrklappe geschlossen. Das gesamte

Dichtheitsprüfung

Entnahmesystem wird mit der zur Probennahme 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 min** konstant, kann das Probennahmesystem im Sinne dieser Handlungsempfehlung als dicht angesehen werden.

Kontrolle und Kalibrierung der Analysengeräte

Die an Ort und Stelle eingesetzten Messgeräte zur Bestimmung der Volumenkonzentration der Hauptgase CO₂, CH₄ und O₂ sind auf ihre Funktion zu prüfen bzw. zu kalibrieren. Dieser Funktions-Check 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 **unterem** Bereich der **Messspanne** erfolgen.

**Prüfung von
Empfindlichkeit
und
Nullpunkt**

Angesichts der bei Altablagerungen häufig vorliegenden Gaskonzentrationen sollten zur Kalibrierung der Geräte die nachstehenden Prüfgaskonzentrationen eingesetzt werden:

	Nullgas	Prüfgas, untere Messspanne	Prüfgas, obere Messspanne
$\sigma(\text{CH}_4)$		1-5 %	55-65 %
$\sigma(\text{CO}_2)$		2-10 %	30-35 %
$\sigma(\text{O}_2)$		0,5-2 %	
$\sigma(\text{N}_2)$	99,9 %	70-85 %	1-5 %

Die Überprüfung hat zu **Beginn** und am **Ende** eines jedes **Messtages** zu erfolgen. Die ermittelten **Ist-** und **Sollwerte** sind in einem Messprotokoll zu **dokumentieren**.

Prüfungsrhythmus

Anlage 4 zeigt beispielhaft ein Messprotokoll. Alternativ kann die Dokumentation 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 die Ergebnisse von Gerätefunktionsprüfungen und Messungen sofort abgespeichert und ausgewertet werden. Dies ermöglicht bereits im Gelände eine "automatisierte" Plausibilitätsprüfung der Messdaten.

Messprotokoll

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 oder aber eine automatisierte Weitergabe der Messdaten an einen externen Datenlogger möglich.

7. Gasabsaugversuche

7.1 Untersuchungsziele, Messstrategie, Fehlerquellen

Gasabsaugversuche (GAV) werden nach Bild 2 dann durchgeführt, wenn messtechnisch geprüft werden soll, ob eine gemäß Formblatt 1 vorgenommene Einstufung der Altablagerung in eine der Gasphasen **Kohlenstoffdioxidphase** (Phasen VIII) oder **Luftphase** (Phase IX) zutreffend ist. Solche Messungen werden vor allem dann nötig, wenn sensible Nutzungen, wie vorhandene oder geplante Gebäude auf oder in der näheren Umgebung, durch Deponiegas gefährdet sind.

Untersuchungsziele

Weitere Einsatzbereiche von Gasabsaugversuchen sind:

- Bestimmung des Volumenstromes einer aktiven Entgasung bei einer bestimmten Methankonzentration,
- Ermittlung, ob sich Gasmigrationen durch Absaugung ausreichend reduzieren lassen,
- Dimensionierung von aktiven Entgasungsanlagen.

Eine Kurzbeschreibung verschiedener Versuchstypen befindet sich in Anlage 7, auf die jedoch in vorliegender Handlungsempfehlung nicht näher eingegangen wird, da sie einzelfallspezifisch zu planen sind. Auch wird auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen, beispielsweise auf das Betriebsleiterhandbuch Deponiegas [5].

Beim Gasabsaugversuch wird mit Hilfe eines Verdichters aus Deponiegasentnahmestellen über einen längeren Zeitraum Deponiegas entnommen. Dabei werden die Parameter **Unterdruck**, **Gastemperatur** und **abgesaugter Volumenstrom** sowie die **Gasvolumenkonzentration** $\sigma(\text{CH}_4)$, $\sigma(\text{CO}_2)$ und $\sigma(\text{O}_2)$ in der Entnahmestelle beobachtet.

Funktionsprinzip

Entnahmerate und Absaugdauer sind variabel und werden fallweise an die örtlichen Gegebenheiten angepasst. Sie sind ausschlaggebend für den Versuchsverlauf sowie für die Bewertung der Ergebnisse.

Je nach Aufgabenstellung kann es darüber hinaus erforderlich sein, in Umfeldmessstellen den zeitlichen Verlauf der Gaszusammensetzung während des Absaugversuches zu ermitteln. Im Vergleich zur Sondenmessung nach Kapitel 6 wird beim Gasabsaugversuch ein größerer Bereich um die Messstelle untersucht.

Umfeldmessstellen

Durch angesaugte Fremdluft wird der Versuch verfälscht. Es kommt zu einer Abnahme der CH_4 -Konzentration, was zu einer Falschbewertung der Gasphase und der Gefahrensituation führen kann.

Fehlermöglichkeiten

Beizug von Fremdluft kann hervorgerufen werden durch:

- unzureichende Tiefe und ungenügende Abdichtung der Gasentnahmestellen,
- falsche Platzierung der Gasentnahmestellen, beispielsweise im Randbereich,
- zu hohe Absaugrate.

Grundsätzlich ist die Absaugung mit einer geringen Absaugrate zu beginnen, die gegebenenfalls während des Versuch gesteigert wird.

7.2 Messanordnung und Gestaltung der Messstellen

Messungen an der Gasentnahmestelle

Anzahl und örtliche Lage der Gasentnahmestellen richten sich nach:

- Größe und Gestalt der Altablagerung,
- der Gasdurchlässigkeit des Untergrunds,
- dem erzeugten Druckgradienten bei der Absaugung und
- dem Untersuchungsziel.

**Messanordnung
Dimensionierung**

Bisher durchgeführte Versuche zeigen, dass sowohl im Hinblick auf das Ausbaumaterial als auch auf den Durchmesser kaum Einschränkungen zu machen sind. Häufig können bereits vorhandene Messstellen, beispielsweise Sickerwasser-, Grundwasser- oder Deponiegasmessstellen, als Gasentnahmestellen verwendet werden. Technische Voraussetzungen für ihre Eignung sind:

Ausbaudaten

- Die Ausbaudaten müssen bekannt sein.
- Sie müssen mehr als 3 m tief sein.
- Es muss eine ausreichende Gasförderleistung möglich sein.
- Es darf kein störender Sickerwassereinstau vorhanden sein.
- Es muss ein definierter Horizont beprobbar sein.
- Es muss eine ausreichende Dichtheit gegen das Ansaugen von Luft gegeben sein.

Beim Neubau von Gasentnahmestellen sind **Rammkernbohrungen** mit Durchmesser zwischen **80** und **100 mm** empfehlenswert. Bohrungen mit diesem Durchmesser sind meist noch mit einem tragbaren Bohrhämmer bis etwa 5 m Tiefe durchführbar. Größere Tiefen bis etwa 15 m können unter günstigen Umständen mit fahrbaren Kleinbohrgeräten erzielt werden.

Minstdurchmesser

Als Ausbaumaterial sind Voll- bzw. Filterrohre aus **Stahl**, **PVC** oder **PE** möglich. Die Rohre sollten mindestens **2" Durchmesser** (entsprechend DN 50) aufweisen. Sofern die Gasentnahmestellen auch zur Entnahme von Proben aus Grund- oder Sickerwasser herangezogen werden sollen, richtet sich das Rohrmaterial nach den dort interessierenden Untersuchungsparametern.

Filterstrecke

Die Lage und die Länge der **Filterstrecke** sollte die Auffüllmächtigkeit weitestgehend erfassen. Die Filterstrecke soll eine Länge von **3 bis 4 m** nicht überschreiten, damit eine hinreichend genaue Tiefenzuordnung der Probennahmestelle möglich ist. Bei mächtigen Altablagerungen von über 6 m müssen deshalb die Gasentnah-

**Tiefen-
differenzierung**

mestellen tiefendifferenziert ausgebaut werden.

Der **Ringraum** ist im Bereich der Filterstrecke mit gasdurchlässigem Filtermaterial, z. B. Filterkies aus dem Brunnenbau, zu verfüllen. Der Ringraum im Bereich der Vollrohrstrecke ist zuverlässig abzudichten, z. B. mit einer Bentonit-Zement-Suspension.

Ringraum

Der Anschluss zum Verbindungsschlauch der Absauganlage kann über eine Schnellkupplung erfolgen, sofern sie gasdicht ist.

Umfeldmessstellen

Zur Versuchsauswertung kann es unter Umständen erforderlich sein, den Beeinflussungsbereich um die Gasentnahmestelle zu ermitteln. Dazu sind Umfeldmessstellen in der Umgebung notwendig. Zum Bau dieser Messstellen werden Bohrlöcher angelegt, z. B. mit der Schlitzsonde mit einem Außendurchmesser von mindestens 28 mm. In diese werden im unteren Bereich geschlitzte oder perforierte Messrohre eingebaut (vgl. Bild 7). In ihnen erfolgt sowohl die Messung des Unterdruckes als auch der Gaszusammensetzung.

**Herstellung,
Bauart**

Die Umfeldmessstellen sollten mindestens so tief wie die Oberkante der Filterstrecke der Gasentnahmestelle sein.

Es können Messrohre aus **Stahl-, PE-** oder **PVC** Verwendung finden. Wenn Spurengase zu ermitteln sind, müssen mögliche Beeinflussungen der Analyseergebnisse durch entsprechende Wahl des Rohrmaterials vermieden werden.

Material

Rohrdurchmesser und Bohrl Lochdurchmesser können in derselben Größe gewählt werden. Damit ist in den meisten Fällen eine ausreichende Abdichtung des Bohrloches gegen atmosphärische Einflüsse gegeben. Erforderlichenfalls muss die Messstelle zusätzlich durch Eindrücken einer am Messstellenrohr dicht anschließenden Stahlscheibe oder Gummilippe abgedichtet werden.

Durchmesser

Mit Umfeldmessstellen kann die Entfernung um eine Gasentnahmestelle ermittelt werden, bis zu der eine Beeinflussung durch die Absaugung gerade noch messbar ist. Die Größe dieses **Einflussbereichs** liegt bei der nachfolgend angegebenen Absaugrate etwa zwischen **15** und **50 m** um die Gasentnahmestelle. Da Altablagerungen sehr inhomogen sind und sich die Gasdurchlässigkeit in oberflächennahen Bereichen durch verschiedenste Einflüsse, wie Temperatur, Niederschlag, Bewuchs, im Zeitverlauf ändert, ist der Einflussbereich auch bei konstant gehaltener Absaugrate erheblichen Änderungen unterworfen. Dies erschwert seine Ermittlung. Die Anzahl der notwendigen Deponiegasmessstellen richtet sich nach der Gasdurchlässigkeit des Untergrunds, dem erzeugten Druckgradienten und dem Untersuchungsziel. Zur Durchführung von Gasprobennahmen und Messungen wird auf die Kapitel 6.3.2 und 6.3.3 verwiesen.

Einflussbereich

Absaugeinrichtung

Die Anlage sollte Förderraten zwischen 3 und 30 m³/h erlauben. In Versuchen wurden dabei Gasdifferenzdrücke bis zu 100 hPa erreicht.

Förderrate

Abreinigung der geförderten Gase

Bei Gasabsaugversuchen zum Negativnachweis von Deponiegas auf Altablagerungen ist in der Regel keine Behandlung des geförderten Gases erforderlich. Eventuell kurzfristig auftretende Methankonzentration können durch Luftzumischung gefahrlos gemacht werden. Zur Vermeidung von Geruchsbelästigungen kann eine Gasbehandlung erforderlich werden, beispielsweise in Bio- oder Aktivkohlefiltern.

Gasbehandlung

Sicherheitstechnik

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich unter ungünstigen Umständen zumindest kurzzeitig **explosionsfähige Gasgemische** bilden. Deshalb wird empfohlen, eine für **Zone 1** (gelegentliches Auftreten gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre) nach Explosionsschutz-Richtlinie (ZH 1/10) bzw. Sicherheitsregeln für Deponien (GUV 17.4) [8] ausgerüstete Anlage einzusetzen. Auf weitere Sicherheitsvorschriften, z. B. Explosionsschutzverordnung (11. GSGV) und Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit in kontaminierten Bereichen (ZH 1/183) [9], sowie Literatur zum Arbeitsschutz, z. B. Leitfaden „Arbeitsschutz bei der Erkundung von Altablagerungen“ [7], wird verwiesen.

**Sicherheitstechnik
Explosionsschutz**

Bei Arbeiten in kontaminierten Bereichen bzw. bei Gefahren durch brennbare und toxische Gase, und dazu gehört auch die Durchführung von Gasabsaugversuchen, sind zur Arbeitsplatzüberwachung gemäß Ziffer 5.10 der GUV 17.4 [8] ein tragbares und kontinuierlich messendes Mehrfachgaswarngerät oder Einzelgeräte für Methan, Kohlenstoffdioxid, Schwefelwasserstoff und Sauerstoff zu verwenden.

Verbindung zur Entnahmestelle

Das abgesaugte Gas muss über gasdichte Leitungen bzw. Schläuche zur Fördereinrichtung und ggf. zur Abluftreinigung geführt werden. Falls explosionsfähige Gasgemische sicher ausgeschlossen werden können, haben sich in der Praxis Wellenschlauch-Leitungen aus PVC mit d = 50 mm bewährt. Für die Verbindung von Schläuchen und Leitungen werden gasdichte Schnellkupplungen empfohlen. Sie gewährleisten eine schnelle Montage und Demontage. Falls jedoch mit dem Auftreten von explosionsfähigen Gasgemischen gerechnet werden muss, sind an die Anwendung der Leitungen bzw. Schläuche gemäß GUV 17.4 weitere Anforderungen zu stellen, vor allem die Eignung für Druckstufe PN 6.

Gassammelleitungen

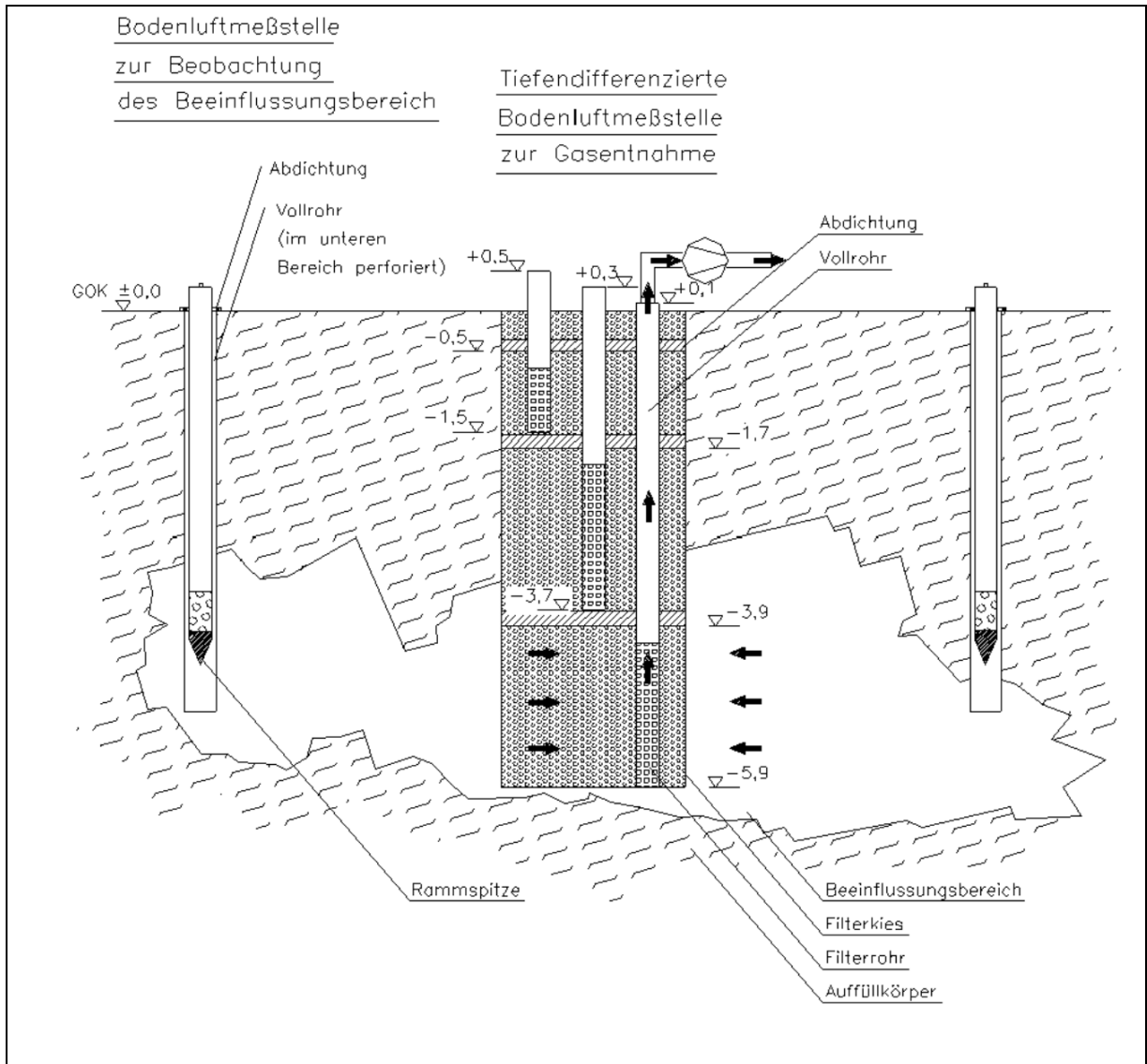


Bild 7: Messanordnung zur Ermittlung des Einflussbereichs beim Gasabsaugversuch

Sonstige Anlagenteile

Bei entsprechender Gestaltung der Versuchseinrichtung können mit ein und derselben Fördereinrichtung mehrere Gasentnahmestellen gleichzeitig abgesaugt werden. Dazu werden über einen Gassammelbalken, über den jeder Zustrom einzeln regelbar ist, mehrere Messstellen zusammengeführt.

Das abgesaugte Gas weist häufig aufgrund mitgerissener feiner Wassertröpfchen hohe Wassergehalte auf, welche Förderaggregate und Messfühler stören können.

Aus diesem Grund muss ein **Wasserabscheider** vorgesehen werden. Zweckmäßigerweise ist er so zu dimensionieren, dass er auch das möglicherweise in anschließenden Verbindungsschläuchen anfallende Kondensat aufnehmen kann.

Wasserabscheider

Entnahmestellen für Gasproben sollten möglichst nahe an der Gasentnahmestelle angeordnet werden. Um bei erforderlichen Spurengasanalysen Probenverfälschungen durch Materialeinflüsse zu unterbinden, sind **Entnahmestellen, Leitungen** und **Verbindungen** in diesem Bereich in **Edelstahl** oder **Teflon** auszuführen.

Probennahmestellen

7.3 Durchführung

Vor Beginn der Absaugung ist der Ruhezustand der Gasphase durch Bestimmung der Konzentration der Hauptgase zu ermitteln.

Der Gasabsaugversuch sollte mit geringer Entnahmerate begonnen werden, beispielsweise **kleiner als 5 m³/h**, um Störungen durch mitangesaugte atmosphärische Luft so gering wie möglich zu halten.

Entnahmerate

Wird über einen Zeitraum von mindestens einer Stunde kein Ansteigen der Methan- und kein Abnehmen der Sauerstoffkonzentration beobachtet, kann eine Vergrößerung des Beeinflussungsbereiches durch Steigerung der Absaugrate erfolgen.

Erhöhung der Entnahmerate

Die Dauer des Versuchs sollte so lange gewählt werden, dass dabei mindestens **20 %** des relevanten Gesamtporenvolumens des zu untersuchenden Ablagerungsbereiches abgesaugt werden. Zur Abkürzung des Beobachtungszeitraums können gegebenenfalls mehrere Entnahmestellen gleichzeitig abgesaugt werden.

Absaugvolumen

Liegt der durch den Absaugversuch beeinflusste Bereich in einer Entfernung zwischen **10 und 15 m** um die Gasentnahmestelle bei einer Tiefe des Filterrohres von 3 m unter Geländeniveau und einem Porenvolumen der Altablagerung von etwa 30 %, reicht eine Absaugdauer zwischen **1,5 und 5 Tagen** erfahrungsgemäß aus.

Versuchsdauer

Bleibt die CH₄-Konzentration im abgesaugten Gas während des Versuchs unter **2 Vol.-%**, ist dies die Bestätigung für das Vorliegen der **Kohlenstoffdioxidphase** (Gasphase VIII) oder **Luftphase** (Phase IX). Explosions- bzw. Brandgefahren können dann sicher ausgeschlossen werden (vgl. Kap. 2.3).

Bewertung der Ergebnisse

Steigt die CH₄-Konzentration im abgesaugten Gas während des Versuchs auf Werte über **5 Vol.-%**, so ist das ein Hinweis auf eine noch **aktive** Gasproduktion.

Die Entnahme von Deponiegasproben, die Durchführung von Gasmessungen an der Absaugstelle und an Umfeldmessstellen sowie die begleitenden Maßnahmen zur Qualitätssicherung sind in Kapitel 6 beschrieben.

7.4 Qualitätssicherung und Dokumentation

Versuchsbedingungen

Während des Gasabsaugversuches sind folgende Parameter zu erfassen und zu dokumentieren:

Gasentnahme- messstelle	Umfeld- messstelle*	Atmosphäre
Hauptgaskonzentration	Hauptgaskonzentration	Luftdruck
Entnahmerate	Unterdruck	Lufttemperatur
Unterdruck		
Gastemperatur		

* sofern eingerichtet

Diese werden nachfolgend erläutert. **Anlage 5** zeigt Beispiele von Messprotokollen zur Datenerfassung bei Absaugversuchen

Hauptgaskonzentration

In der Anfangsphase des Absaugversuchs sollte die Konzentration der Hauptgase CH₄, CO₂ und O₂ an der Entnahmestelle etwa **alle 10 min** bestimmt und in Volumenprozent (Vol.-%) angegeben werden. Im weiteren Versuchsverlauf kann das Zeitintervall bis zur nächsten Messung der zeitlichen Veränderung der Messwerte angepasst werden.

Messintervalle

Entnahmerate

Die Entnahmerate muss in m³/h bezogen auf **Normbedingungen** (0°C, 1013 hPa) angegeben werden. Die Entnahmerate ist — auch bei konstant gehaltener Entnahmerate — während der Absaugphase mehrmals zu prüfen.

Entnahmerate

Unterdruck

Der Unterdruck, anzugeben in Pa bzw. hPa (Pascal), ist an der Gasentnahmestelle mindestens für jede Stufe der Entnahmerate zu bestimmen.

Druck

Gastemperatur

Die Gastemperatur ist in °C unmittelbar an der Gasentnahmestelle zu ermitteln. Verteilt über die gesamte Absaugphase sollten mindestens **drei Messwerte** bestimmt werden, wobei der erste Messung unmittelbar zu Beginn der Absaugung vorgenommen werden sollte.

Messintervalle

Atmosphäre

Während der Versuche sind die wichtigen meteorologischen Daten, wie **absoluter atmosphärischer Druck** in hPa bezogen auf Meereshöhe und **Lufttemperatur** in °C, zu registrieren. **Luftdruckänderungen** spielen eine entscheidende Rolle beim Ausgasungsverhalten von Altablagerungen.

Atmosphäre

8. Raumluftmessungen

8.1 Untersuchungsziele, Messstrategie, Fehlerquellen

Die Raumluft in Gebäuden, die auf oder in der Nähe von Altablagerungen mit aktiver Gasentwicklung errichtet wurden, kann durch Deponiegas beeinträchtigt werden. Je nach Art und Ausmaß können Schutz- und Abwehrmaßnahmen erforderlich werden. Durch Raumluftmessungen gilt es, die Exposition von Raumnutzern gegenüber den Substanzen zu ermitteln, die aus der Altlast in Räume immittieren.

Gründe

Die Ausbreitung erfolgt über Diffusion oder Konvektion in porösen Medien oder direkten Verbindungen, z. B. Rohrleitungen. Kellerböden und -wände können je nach Bauart in unterschiedlichem Maße als Diffusionsbremse oder -sperrung fungieren. Oftmals weisen sie jedoch Risse, Spalten oder Undichtheiten auf, beispielsweise an Leitungsdurchführungen für Wasser, Abwasser, Gas, Strom und Telefon. Dort ist je nach Situation mit deutlichen Konzentrationsspitzen zu rechnen.

Expositionspfade

In besonderen Fällen können auch Schadstoffe über den Wasserpfad durch Kellerwände transportiert werden. Beispielsweise kann Chromat nach Verdunstung des Transportmittels Wassers an der Wand als Ausblühung zurückbleiben. Solche Ausblühungen können über den Staubpfad mobilisiert werden. Sie sind gegebenenfalls bei der Betrachtung hinsichtlich möglicher Gefahren mit zu berücksichtigen.

Sonderfälle

Schadstoffemissionen aus Altablagerungen, die aus dem Boden breitflächig an die Umgebungsluft austreten, werden im Freien durch die Luftbewegung stark verdünnt. Man schätzt den Verdünnungsfaktor auf über 1×10^3 bis 1×10^5 , so dass es dadurch nur in besonderen Fällen zu Gefährdungen kommt.

Emission in die freie Atmosphäre

Gefährliche Situationen können jedoch dann entstehen, wenn Deponiegas aus den o. e. Wegsamkeiten direkt in geschlossene Räume eindringen kann. Meist sind die Räume betroffen, die direkt mit dem Gelände Kontakt haben, wie Kellerräume, oder die unmittelbar auf dem Gelände gegründet sind, wie Gartenlauben in Schrebergärten. Problematisch sind dann vor allem Immissionen von Methan und Kohlenstoffdioxid, seltener flüchtige organische oder anorganische Schadstoffe.

Gefährdete Bereiche

Entsprechend dem zu betrachtenden Transferpfad und der Art der Schadstoffe ergeben sich unterschiedliche Messstrategien. Grundlage der Beurteilung explosionsfähiger, gesundheitsgefährdender oder -beeinträchtigender Gasgemische in Innenräumen ist eine repräsentative und situationsbezogene Bestimmung der Schadstoffkonzentration in der Innenraumluft.

Bei der gesundheitlichen Bewertung von Innenraumluftschadstoffen sind das zuständige Gesundheitsamt und ggf. das Landesgesundheitsamt einzuschalten.

Bewertung

Vor der Messdurchführung sollte ein Messplan erstellt werden, in dem in Absprache mit dem Auftraggeber und der zuständigen Behörde das Ziel der Messung und die Qualitätsanforderungen festzulegen sind.

8.2 Vorbereitung

Die Bestimmung von Innenraumluftschadstoffen sind in der Richtlinienreihe VDI 4300 [6] allgemein behandelt. Dabei werden stoffgruppenspezifische Randbedingungen für die Messung einzelner Schadstoffe benannt. Nachfolgende Empfehlungen beziehen sich speziell auf die Erfassung möglicher Immissionen aus Altablagerungen.

Vor Durchführung der Messungen sind die Räume intensiv zu lüften. Nach Beendigung der Lüftung werden Fenster und Türen verschlossen. Sie müssen i. d. R. nicht verklebt werden.

Raumlüftung

Für "worst-case"-Betrachtungen kann auf eine Belüftung als Vorbereitung der Messungen verzichtet werden.

Aus Kellerräumen, in denen Lacke oder Farben lagern oder die als Werkstatt genutzt werden, müssen vor Beginn der Messung solche Produkte vollständig ausgeräumt werden. Danach ist eine gründliche Belüftung über mindestens 48 h anzuschließen. Trotzdem können Baumaterialien durch die gelagerten oder dort verwendeten Lösemittel so stark kontaminiert sein, dass dadurch die Raumluftmessungen beeinflusst wird. Im Prüfbericht ist darauf hinzuweisen.

Sonderfälle

8.3 Durchführung

FID-Begehung

Nach erfolgter Belüftung werden die zu untersuchenden Räume mindestens 8 Stunden verschlossen. Alle eventuell funkenbildenden Anlagen sind zu beseitigen bzw. stillzulegen. Vor Begehen der Räume und Aufstellung der Probennahmeapparatur ist unbedingt mit dem Explosimeter zu ermitteln, ob **Explosionsgefahr** besteht. Erst wenn diese zuverlässige ausgeschlossen werden kann, sind mit dem FID an Rissen, Spalten, Fugen, Leitungsdurchführungen u. ä. Messungen durchzuführen, um mögliche Gaseintrittsstellen zu ermitteln.

**Abdichtung,
Wartezeit,
Prüfung auf
Explosionsgefahr**

Probennahme und Messung

Danach werde die Probennahmeapparatur im zu untersuchenden Raum aufgebaut und die Proben entnommen.

Als Probennahmeort wird i.A. die Raummitte in etwa 1 bis 1,5 m Höhe gewählt. Eine Skizze des Probennahmeortes ist dem Protokoll beizufügen. Während der Probennahme sind die zu untersuchenden Räume verschlossen zu halten.

**Ort der
Probennahme**

Bei einer häufig angewendeten Art der Probennahme wird über ein Adsorptionsröhrchen ein vorgegebenes Luftvolumen abgesaugt. Die Art des Adsorptionsmediums und die Luftmenge richten sich nach der Art und Konzentration des Analyten sowie der erforderlichen Nachweisempfindlichkeit. Sie müssen deshalb mit dem Untersuchungslabor abgestimmt werden. Das abzusaugende **Probenvolumen** sollte, sofern keine besonderen Gründe vorliegen, **mindestens 100 l** bei einer Absaugrate von **max. 2 l/min** betragen.

Probenvolumen

Es gibt auch sog. passive Probennahmesysteme, bei denen die Probennahme über Diffusion durch eine Membran erfolgt.

Ähnlich wie die Raumluft sollte zeitgleich auch die Außenluft beprobt bzw. analysiert werden.

Neben der eigentlichen Schadstoffkomponente sind zusätzlich folgende Parameter zu bestimmen und im Protokoll anzugeben:

**Messung von
Randbedingungen**

- Raumtemperatur
- Luftfeuchtigkeit im Raum
- charakteristische meteorologische Daten zu den Außenluftbedingungen (Witterung)

Darüber hinaus sind im Prüfbericht die Lüftungsverhältnisse durch Abschätzung oder Messung der Luftwechselrate zu charakterisieren und die bauliche Substanz hinsichtlich Gaswegsamkeiten, Feuchtstellen, Risse, Bodenzustand, zu beurteilen.

**sonstige
Ermittlungen**

Bei der Beprobung von Räumen, die auch aus anderen Quellen schadstoffbelastet sein können, wie Werkstätten, Tankräume oder Hobbyräume durch Lacklösemittel, Waschflüssigkeiten und Kraftstoffe, wird empfohlen, zusätzlich in einem weiteren Kellerraum des Gebäudes eine Parallelprobe zu entnehmen. Durch Vergleich der Messergebnisse kann gegebenenfalls darauf geschlossen werden, welche Belastungen durch die Altablagerung und welche durch dort gelagerte Stoffe verursacht werden.

Vergleichsmessungen

Wenn in der Raumluft relevante Schadstoffimmissionen aus einer Altablagerung festgestellt wurden, kann es sinnvoll sein, in Anlehnung an das in VDI 4300 Blatt 3 beschriebene Vorgehen [6], die Quellstärke über die Wiederanstiegsrate des Schadstoffgehaltes in der Raumluft zu ermitteln. Dazu ist nach der ersten oben beschriebenen Messung eine intensive Lüftung des Messraums durchzuführen, z. B. durch mehrfache Querlüftung. Danach ist der Messraum wieder zu verschließen und nach ca. 1 Stunde die Schadstoffkonzentration in der Raumluft erneut zu bestimmen. In Abhängigkeit vom Siedepunkt des Schadstoffes ist dann in einem

**weitere Ermittlungen
bei festgestellten
Immissionen**

zeitlichen Abstand von ca. 3 bis 5 Stunden nochmals die Schadstoffkomponente in der Raumluft zu bestimmen. Aus den dabei ermittelten Messwerten kann auf die Immission geschlossen werden.

8.4 Qualitätssicherung und Dokumentation

Über die Probennahme ist ein vollständiges Probennahmeprotokoll nach Anhang VDI 4300 Bl.1 [6] zu erstellen. Dem Probennahmeprotokoll ist eine Lageskizze der beprobten Räumlichkeiten beizufügen. In dieser Lageskizze sind insbesondere Auffälligkeiten, wie Rissbildungen im Mauerwerk/Bodenplatte oder gelagerte Materialien (Heizöl, Farben, Lacke) einzutragen.

**Probennah-
meprotokoll**

9. Literatur

1. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Der Deponiegashaus-
halt in Altablagerungen — Vorgehensweise und Technik zu seiner Erkun-
dung und Bewertung (Leitfaden Deponiegas), Oktober 1992, Karlsruhe
2. Farquhar, G.J. und Rovers, F.A.: Gas Production during Refuse Decomposi-
tion. *Water, Air and Soil Pollution*, 1973, 2 p. 483 — 495
3. Farquhar, G.J. et al.: Grundlagen der Gasentstehung. Abfallwirtschaft an der
TU Berlin, Band 5, herausgegeben von B. Jäger und K. Wiemer, Berlin,
1980
4. VDI 3790 Blatt 2: Umweltmeteorologie, Emissionen von Gasen, Gerüchen
und Stäuben aus diffusen Quellen — Deponien, Dezember 2000, Beuth
Verlag GmbH, 10772 Berlin
5. G. Rettenberger et al.: Betriebsleiterhandbuch Deponiegas (2. überarbeitete
Auflage), Verlag Abfall Aktuell, Stuttgart
6. VDI 4300 (Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin)
Blatt 1: Messen von Innenraumluftverunreinigungen — Allgemeine Aspekte
der Messstrategie,
Blatt 2: Messen von Innenraumluftverunreinigungen — Messstrategie für
polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, polychlorierte Di-
benzo-p-dioxine und Dibenzofurane sowie von polychlorierten
Biphenylen in der Innenraumluft
Blatt 3: Messen von Innenraumluftverunreinigungen — Messstrategie für
Formaldehyd in Innenraumluft
Blatt 4: Messen von Innenraumluftverunreinigungen — Messstrategie für
Pentachlorphenol und γ -Hexachlorcyclohexan in der Innenraumluft
7. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Arbeitsschutz bei der
Erkundung von Altablagerungen (Handbuch Altlasten und Grundwasser-
schadensfälle, Bd. 14), November 1994, Karlsruhe
8. GUV 17.4: Sicherheitsregeln für Deponien
9. Tiefbauberufsgenossenschaften der Bauwirtschaft: Regeln für Sicherheit
und Gesundheitsschutz bei der Arbeit in kontaminierten Bereichen,
ZH 1/183, Fachausschuss „Tiefbau“ beim Hauptverband der Gewerblichen
Berufsgenossenschaften e. V.

Anlage 1

Arbeitsblatt zur Typisierung einer Altablagerung in Gasphasen aufgrund der Ergebnisse der historischen Erkundung

Quelle: Leitfaden Deponiegas [1] (fortgeschrieben)

Anlage 1:

Bezeichnung der Altablagerung: _____

Typisierung erstellt durch: _____ Datum: _____

Merkmalklassen		Einstufung der Altablagerung			
Altersklasse					
0 - 5 Jahre	1				
6 - 10 Jahre	2				
11 - 15 Jahre	3				
16 - 20 Jahre	4				
21 - 25 Jahre	5				
26 - 30 Jahre	6				
über 30 Jahre	7				
Größenklasse					
bis 10.000 m ³	1				
bis 50.000 m ³	2				
bis 150.000 m ³	3				
bis 500.000 m ³	4				
über 500.000 m ³	5				
Höhenklasse					
bis 1 m	1				
1 bis 2 m	2				
2 bis 5 m	3				
5 bis 10 m	4				
über 10 m	5				
Zusammensetzung					
30 % HM+KS	1				
50 % HM+KS	2				
100 % HM+KS	3				
Einbau					
Brände, Vor-	1				
Kippkante	2				
lagenweise	3				
Klassifizierung					

		Altersklasse						
		1	2	3	4	5	6	7
Größen- klasse	5	4	4,25	4,5	4,75	5	5,25	5,5
	4	5	5,5	5,7	5,9	6,4	6,7	7
	3	6	7,75	6,9	6,9	7	7,2	7,5
	2	6,5	7	7,5	7,7	7,9	8	8,5
	1	7	7,5	7,7	8	8,3	8,6	9
Höhen- klasse	5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
	4	4,5	5	6	6,5	6,7	7	8
	3	6	6	7,25	7,4	7,5	7,5	8
	2	7,5	7,5	8	8	9	9	9
	1	8	8	8	9	9	9	9
Zusam- men- setzung	3	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
	2	5	5,2	5,8	6,6	7	7,6	8
	1	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
Einbau	3	4	4,33	5	5,5	5,7	6	6,3
	2	5	5,25	6	6,6	6,8	7	7,6
	1	6	6,5	7	7,5	8	8,5	8,5

Ermittlung der erwarteten Stoffge- fährlichkeit aus historischer Erkun- dung						
abgelesener Faktor aus				Summe	Durch- schnitt	
2	3	4	5	2-5		

Erläuterungen zur Einstufung der Altablagerung in eine charakteristische Gasphase

Vorgehensweise:

1. Die Altablagerung ist für die 5 Merkmale Alter, Größe, Höhe, Zusammensetzung und Einbau jeweils entsprechend den in Anlage 1 linke Tabelle enthaltenen Vorgaben zu klassifizieren.
 - Das Alter bezieht sich auf die Zeit seit Abschluss der Deponie.
 - Die Größe bezieht sich auf das gesamte Ablagerungsvolumen einschließlich des Inertanteils, wie Erdaushub und Bauschutt.
 - Für die Höhe genügt die Angabe eines repräsentativen Mittelwerts.
 - Für die Zusammensetzung genügt eine grobe Schätzung.
 - Für die Charakterisierung des Einbaus genügen die angegebenen Kriterien.

2. Mit den ermittelten Zahlenwerten für Größenklasse, Höhenklasse, Zusammensetzung und Einbau ist gemäß Anlage 1 rechte obere Tabelle mit dem Zahlenwert für die Altersklasse die Typisierung vorzunehmen.

3. Aus den ermittelten 4 Werten der Typisierung ist der Mittelwert zu bilden, der die Gasphase angibt.

Anlage 2

**Die wichtigsten Anforderungen
an die Planung und Durchführung
von Deponiegasmessungen
im Überblick**

1 Allgemeine Anforderungen an die Messplanung

Für die Planung und Durchführung von Deponiegasmessungen zur Erkundung möglicher Gasgefahren gelten folgende Grundsätze:

- (a) Günstige Messbedingungen herrschen bei **konstantem** Luftdruck. Bei steigendem Luftdruck kann die Gassituation unterschätzt werden. Da bei fallendem Luftdruck die Gassituation eher überschätzt wird, führt das Ergebnis zu einer Bewertung auf der sicheren Seite. Bei stark steigendem oder fallenden Luftdruck sollen die Messungen unterbleiben.
- (b) **Luftdruck, Lufttemperatur** und **Niederschlagsmenge** am Standort sind drei Tage vor und während der Gasmessungen zu registrieren.
- (c) Während längerer Regenphasen sollen keine Gasmessungen durchgeführt werden. Ausnahmen sind möglich bei Innenraumluftmessungen.

2 Anforderungen an Qualitätssicherung und Dokumentation

Für die Qualitätssicherung von Deponiegasmessungen an Altablagerungen und die Dokumentation der Ergebnisse gilt:

- Vor Beginn der Untersuchungen ist ein Messplan zu erstellen und mit der zuständigen Behörde abzustimmen.
- Die Durchführung der Messungen ist **vollständig** und **nachvollziehbar** zu protokollieren.
- Neben den eigentlichen **Messergebnissen** sind auch die zum Einsatz kommenden **Messgeräte** im Messprotokoll bzw. im Untersuchungsbericht zu benennen. Dort ist auch das Ergebnis und das Datum der letzten **Funktionsprüfung** zu dokumentieren.
- Alle **Messgeräte** und **technischen Hilfseinrichtungen**, beispielsweise Pumpen, Armaturen, sind turnusmäßig bzw. unmittelbar vor und nach ihrem Einsatz zu **überprüfen** und zu **warten**. Die Ergebnisse der Prüfungen und Wartungen sind in einer **Prüfmittelkartei bzw. -datei** zu dokumentieren.
 - ⇒ **Temperatur-, Druck- und Strömungsgeschwindigkeitsmessgeräte** sind mindestens **einmal jährlich** im Rahmen einer **Grundüberprüfung** hinsichtlich ihrer **Messgenauigkeit** zu **überprüfen**.
 - ⇒ **Gasmessgeräte** sind mindestens **vor ihrem Einsatz** und **arbeitstäglich** zu **kalibrieren**.

Weichen die bei der Funktionsprüfung ermittelten Werte um mehr als **10 %** vom Sollwert ab, ist eine **Nachkalibrierung** bzw. eine **Fehlerbehebung** erforderlich. Ferner müssen alle damit durchgeführten früheren Messungen bis zur vorhergehenden Funktionsprüfung **wiederholt** werden.

- Messgeräte und technische Hilfseinrichtungen mit **abgelaufenem Prüfdatum** sind von der Verwendung **auszuschließen**.
- Das **Messpersonal** ist im Messprotokoll zu **benennen**.
- Die **Richtigkeit** aller Angaben im Messprotokoll ist vom Verantwortlichen zu **bestätigen**.

3 Deponiegasmessungen an der Geländeoberfläche

Für Messungen an der Oberfläche von Altablagerungen mit dem Flammenionisationsdetektor (FID) hat sich der Begriff "FID-Begehung" eingebürgert.

FID-Begehungen werden bei Altablagerungen hauptsächlich dann durchgeführt, wenn das Vorliegen der **Stabilen Methanphase** (Gasphase IV) oder der **Langzeitphase** (Gasphase V) zu prüfen ist. Andere Untersuchungsziele, wie die Ermittlung der Wirksamkeit von Entgasungsanlagen, werden hier nicht behandelt.

Vorbereitung der FID-Begehung

- Es ist ein Lageplan mit Rastereinteilung für die Untersuchungsfläche zu erstellen. Als maximale Rasterlänge der hieraus resultierenden Teilflächen werden in ebenem Gelände 25 m, im Böschungsbereich ab Hangneigung 1 : 3 maximal 12,5 m empfohlen.
- Hoher Grasbewuchs ist vor Messbeginn abzumähen.

Durchführung der FID-Messung

- Zu Beginn eines jedes Messtages ist beim Flammenionisationsdetektor (FID) **Funktion, Messgasdurchfluss** und **Messempfindlichkeit mit Prüfgas** zu prüfen.
- In jeder **Teilfläche** sind an **mindestens zwei zufällig gewählten Punkten** die Gaskonzentrationen an der Oberfläche zu messen.
- Bereiche mit erfahrungsgemäß erhöhter Gasemission, beispielsweise um vertikale Gassammler, Schächte, sind separat zu messen.
- Bei der Messung ist die **Saugglocke** von Hand auf den Untergrund aufzusetzen und leicht **anzudrücken**.
- Die **Messdauer** muss mindestens **60 s pro Beprobung** betragen.

Eine **Reduzierung** der Messdauer ist dann möglich, wenn die gerätespezifische T_{90} -Einstellzeit der gesamten Messanordnung bekannt und dokumentiert ist. Zur Minimierung äußerer atmosphärischer Einflüsse darf jedoch eine Messdauer von 15 s nicht unterschritten werden.

- Liegt die **Methankonzentration über 100 ppm**, sind in einem maximalen Abstand von **5 m** in jede Hauptrichtung weitere Beprobungen vorzunehmen.
- **Auffälligkeiten**, die zu erhöhten Gasemissionen führen könnten, z. B. Erdlöcher, Risse und Spalten, sind zusätzlich gesondert zu beproben und im Messprotokoll zu kennzeichnen.
- Spätestens am Ende eines jedes Messtages sind am FID erneut die **Empfindlichkeit** mit Prüfgas und der **Messgasdurchfluss** zu prüfen.

Aufzunehmende Randbedingungen

- **Niederschlagsmenge, Temperatur, Luftdruck, Windrichtung und Windstärke** sind in einer **zentralen Wetterstation** in der Nähe der Altablagerung **kontinuierlich** zu ermitteln und zu registrieren.
- Die **bodennahe Windstärke** in der Nähe des jeweiligen Messorts ist **kontinuierlich** zu messen.
- Die **Vegetationsverhältnisse** sind zu beschreiben.
- Der **Zustand des Oberbodens** ist in seinen charakteristischen Eigenschaften im Messbericht darzustellen, z. B. trocken, feucht, vernässt sowie abgedeckt bzw. nicht abgedeckt. Auf Besonderheiten, wie Setzungs- oder Schrumpfrisse, ist hinzuweisen.

Einzuhaltende Randkriterien

- Bei **Windstärken über 4 m/s** in Messstellennähe sind die Messungen zu unterbrechen bzw. ganz einzustellen.
- **Böige Winde** sind gesondert im Messbericht zu vermerken.
- Bei einsetzenden **Niederschlägen** mit starker Vernässung des Bodens sind die Messungen abzubrechen.

Weitergehende Anforderungen an den Messbericht

- Die an den Messpunkten ermittelten Messwerte sind tabellarisch darzustellen, fortlaufend zu nummerieren und tageweise zusammenzufassen. Hierbei sind Start- und Endzeit der täglichen Begehung anzugeben.
- Die örtliche Lage der Messpunkte ist im Lageplan einzutragen.
- Die Messwerte sind Emissionsklassen (vgl. Kap. 5.4) zuzuordnen und entsprechend im Lageplan darzustellen.

4 Messung der Deponiegaskonzentration im Untergrund

Für Deponiegasmessungen an festen Messstellen in Altablagern hat sich der Begriff "Sondenmessung" eingebürgert.

Sondenmessungen werden hauptsächlich dann durchgeführt, wenn das Vorliegen der **Luft eindringphase** (Gasphase VI) oder der **Methanoxidationsphase** (Gasphase VII) messtechnisch zu prüfen ist. In besonderen Fällen können Sondenmessungen auch in der **Stabilen Methanphase** (Gasphase IV) oder der **Langzeitphase** (Gasphase V) sinnvoll sein. Sonden können auch zur Entnahme von Proben zur Spurengasermittlung herangezogen werden.

Errichtung der Deponiegasmessstellen und Vorbereitung der Messungen

- Die Art des **Messstellenausbau** richtet sich nach dem Ergebnis der Typisierung auf der Grundlage von Daten aus der Historischen Erkundung:
 - ⇒ Bei erwarteter **Stabiler Methanphase** (Gasphase IV) oder **Langzeitphase** (Gasphase V) werden für die Tiefe der Messstelle ca. 2 m vorgeschlagen, wobei der untere Meter als **Schlitzfilterrohr** und der obere als **Vollrohr** ausgeführt werden sollte.
 - ⇒ Ab erwarteter **Luft eindringphase** (Gasphase VI) oder wenn **Porengasgradienten** zu ermitteln sind, wird nachstehend charakterisierter und in Bild 5 dargestellter **tiefendifferenzierter Messstellenausbau** empfohlen:
 - * Regeluntersuchungstiefen: 2, 4 und 6 m unter Geländeniveau, ggf. weitere Tiefen in Abhängigkeit des Aufbaus des Untergrundes,
 - * Ausbaudurchmesser mindestens 1",
 - * Abdichtung der einzelnen Entnahmehorizonte gegeneinander durch mineralische Dichtungen.

Wenn **keine hinreichend** eindeutige Typisierung möglich ist, sollte die technische Erkundung wie für die **Luft eindringphase** (Gasphase VI) mit tiefendifferenzierten Messstellen durchgeführt werden.

- Messstellen sind sowohl im Zentrum als auch in Randbereichen der Altablagern zu platzieren.
- Für die Messstellendichte werden **pro Hektar Oberfläche eine Messstelle**, mindestens jedoch **3 Messstellen** pro Ablagerung empfohlen. Weitere Messstellen können in Bereichen erforderlich werden, an denen Gefahren für empfindliche Nutzungen bestehen, wie geschlossene Bauten, Kinderspielflächen.
- Unmittelbar nach dem Messstellenausbau ist ein 5-facher **Luftaustausch** des Messstellenvolumens mit maximal **4 l/min Absaugrate** durchzuführen.
- Ab erwarteter **Luft eindringphase** (Gasphase VI) und bei Messstellen zur Ermittlung von Gasmigrationen im Umfeld ist eine **Mindeststandzeit** vor der Be-

probung von **einer Woche** erforderlich. Während dieser Standzeit ist die Messstelle **gasdicht** zu verschließen.

Durchführung der Probennahmen

- Vor der Probennahme ist der **Ruhedruck** in der geschlossenen Messstelle zu bestimmen.
- Nach Aufbau der Probennahmeapparatur ist eine **Dichtheitsprüfung** durchzuführen. Dabei wird folgendermaßen vorgegangen:
 - ⇒ Die Messstelle ist oberhalb des perforierten Filterrohres entweder durch Packer oder durch die am Pegelkopf befindliche Absperrklappe gasdicht zu verschließen.
 - ⇒ Das gesamte Entnahmesystem ist mit der Ansaugpumpe zu evakuieren. Danach ist die unmittelbar vor der Ansaugpumpe befindliche Absperrklappe zu schließen.
 - ⇒ Der im System herrschende Unterdruck ist zu kontrollieren.

Herrscht in der Probennahmeapparatur über **5 Minuten Druckkonstanz**, kann das System im Sinne dieser Handlungsempfehlung als dicht angesehen werden.

- **Vor** der eigentlichen Messung ist das in der Messstelle vorhandene Gasvolumen mit **maximal 2 l/min** bis zum Erreichen eines einfachen Gasaustauschs abzusaugen. Dabei ist der **Druck kontinuierlich zu messen** und aufzuzeichnen. Außerdem sind mit direktanzeigendem Messgerät die Messparameter **Methanvolumenkonzentration (σ_{CH_4})**, **Kohlenstoffdioxidvolumenkonzentration (σ_{CO_2})** und **Sauerstoffvolumenkonzentration (σ_{O_2})** zu ermitteln.
- Bei erwarteter **Lufteindringphase** (Gasphase VI) oder bei **ermittelten Luftanteilen** sollte jede 5. Messung, mindestens jedoch eine Messung pro Untersuchungskampagne, durch eine **gaschromatographische Untersuchung** mit Bestimmung des **Stickstoffanteils (N_2) überprüft** werden. Die hierfür erforderliche Probennahme kann auf der **Druckseite** der Absaugpumpe durchgeführt werden.
- Gasproben zur **Spurenstoffanalytik** müssen auf der **Saugseite** der Pumpe entnommen werden. Hierbei haben sich bewährt:
 - ⇒ Glaskolbenprober und Septumgläser oder
 - ⇒ Unterdruckkasten und Gasfolienbehälter.
- Nach Durchführung der Messung ist der **Wasserstand** im Messstellenrohr durch Lichtlotmessung zu ermitteln.

Aufzunehmende Randbedingungen

- **Temperatur, Luftdruck, Niederschlagsmenge, Windverhältnisse** nach Stärke und Richtung.
- **Zustand des Oberbodens** (trocken, feucht, vernässt sowie abgedeckt bzw. nicht abgedeckt).

Einzuhaltende Randkriterien

- Die Funktion der Gasmessgeräte ist **arbeitstäglich** zu **prüfen**, und zwar:
 - ⇒ der **Messgerätenullpunkt** mit Nullgas und
 - ⇒ die **Messgenauigkeit** mit Prüfgasen in der oberen und unteren Messspanne.

Weitergehende Anforderungen an den Messbericht

- Der **Messstellenaufbau** ist zu beschreiben bzw. darzustellen.
- Die gemessenen bzw. errechneten Werte für Gasdruck, Methanvolumenkonzentration (σ_{CH_4}), Kohlenstoffdioxidvolumenkonzentration (σ_{CO_2}), Sauerstoffvolumenkonzentration (σ_{O_2}) und Stickstoffvolumenkonzentration (σ_{N_2}) sowie die Quotienten aus Methan- und Kohlenstoffdioxidvolumenkonzentration sowie aus Stickstoff- und Sauerstoffvolumenkonzentration sind tabellarisch darzustellen.

5 Gasabsaugversuch

Vorliegende Handlungsempfehlung befasst sich mit dem Gasabsaugversuch als Möglichkeit zur messtechnischen Prüfung und Einstufung des Gashaushaltes einer Ablagerung in die **Kohlenstoffdioxidphase** (Phase VIII) oder die **Luftphase** (Phase IX). Gasabsaugversuche für andere Fragestellungen, z. B. zur Ermittlung der Gasbildung einer Deponie, werden hier nicht behandelt.

Vorbereitung der Messungen

- Die **Messanordnung** ist entsprechend der örtlichen Situation und der Aufgabenstellung zu planen und zu gestalten. Vorhandene Messstellen sollten hinsichtlich ihrer Eignung geprüft werden.
- Alle eingesetzten **Messgeräte**, z. B. Deponiegasanalysator, Manometer, Thermometer, sind auf ihre ordnungsgemäße **Funktion** zu prüfen.
- Für die Art der Probennahme und die Durchführung der Messungen in **Umfeldmessstellen** gelten die in Abschnitt 1.3 genannten Grundsätze für Sondenmessungen entsprechend.

Durchführung des Gasabsaugversuches

- Die Messeinrichtung ist hinsichtlich Funktion und Betriebssicherheit zu prüfen.
- Vor Beginn des Absaugversuches ist die **Gaszusammensetzung** an der Entnahmestelle in ihren Hauptbestandteilen Methanvolumenkonzentration (σ_{CH_4}), Kohlenstoffdioxidvolumenkonzentration (σ_{CO_2}) und Sauerstoffvolumenkonzentration (σ_{O_2}) im Ruhezustand zu bestimmen.
- Die **Entnahmerate** sollte zu Beginn des Gasabsaugversuches **unter 5 m³/h** liegen. Sie kann frühestens nach **1 h** erhöht werden.
- Die Gaszusammensetzung ist im Abstand von **10 min** für die Dauer von mindestens **1 h** zu bestimmen. Danach sind **Absaugrate** und **Messintervalle** entsprechend den ermittelten Messwerten und der versuchstechnischen Zielsetzung im Einzelfall festzulegen.
- Im Verlauf einer Absaugphase sind an der **Entnahmestelle** mindestens **drei-mal der abgesaugte Volumenstrom, Differenzdruck** und **Gastemperatur** zu messen.
- Inwieweit **Gaszusammensetzung** und **Differenzdruck** in **Umfeldmessstellen** zu messen sind, richtet sich einzelfallspezifisch nach der versuchstechnischen Zielsetzung.

Aufzunehmende Randbedingungen

- **Temperatur, Luftdruck, Niederschlagsmenge, Windverhältnisse** nach Stärke und Richtung.

- **Zustand des Oberbodens** (trocken, feucht, vernässt sowie abgedeckt bzw. nicht abgedeckt).

Einzuhaltende Randkriterien

- Für eine sichere Einstufung in die **Luftphase** (Gasphase IX) sollten mindestens **20 %** des Gesamtporenvolumens der Altablagerung abgesaugt werden.
- Bei Verdacht auf **Kurzschlussströmungen**, die gekennzeichnet sind durch einen Anstieg der Sauerstoff- und Stickstoffkonzentration, sollte die Entnahmerate auf Werte **unter 5 m³/h** reduziert werden.
- Der Absaugversuch zur Ermittlung, ob noch eine aktive Methanbildung stattfindet, kann beendet werden, wenn die Methankonzentration auf Werte über 5 Vol.-% ansteigt.

Weitergehende Anforderungen an den Messbericht

- Die an der Absaugstelle ermittelten Werte für Druck, Gaszusammensetzung, Absaugmenge, Gastemperatur sind tabellarisch darzustellen.
- Die an Umfeldmessstellen um die Gasentnahmestelle ermittelten Werte für Differenzdruck und Gaszusammensetzung sind tabellarisch darzustellen.
- Start- und Endzeiten der jeweiligen Absaugphase sind anzugeben.
- Die örtliche Lage der Gasentnahmestellen und der Umfeldmessstellen sind im Lageplan darzustellen.

6 Raumlufmessungen

Raumlufmessungen werden zur Beurteilung explosionsfähiger, lebensbedrohender, gesundheitsgefährdender oder -beeinträchtigender Gasgemische in Innenräumen durchgeführt.

Vorbereitung der Messungen

- Die zu untersuchenden Räume sind vor Beginn der Messungen **intensiv zu lüften**.
- Räume, die als Tanklager oder Lager für Lacke und Farben oder als Werkstatt genutzt werden, müssen vor Beginn der Messung von diesen Produkten vollständig geräumt und mindestens 48 h gründlich belüftet werden.

Durchführung der Raumlufmessungen

- Nach intensiver Raumlüftung sind alle Raumöffnungen, z. B. Fenster, Türen, zu verschließen. Ein Verkleben von Spalten und Ritzen ist nur ausnahmsweise erforderlich. Mit den Raumlufmessungen darf **frühestens 8 h Stunden** danach begonnen werden. Zuvor ist in jedem Fall eine **Prüfung mit dem Explosimeter** zur Erkennung von **Explosionsgefahren** durchzuführen.
- Besteht keine Explosions- oder Brandgefahr, ist die Begehung mit dem FID durchzuführen. Dabei wird die Saugglocke vor allem an möglichen Gaszutrittsstellen, wie an Rissen, Spalten und Leitungsdurchführungen, aufgesetzt und die dem FID zugeführte Probe analysiert. Dabei sind Türen und Fenster verschlossen zu halten.
- Danach wird zur Ermittlung von Gesundheitsgefahren durch Spurenstoffe in **Raummitte** eine Ansaugpumpe aufgestellt und über einen Ansaugschlauch mit einem in ca. **1 bis 1,5 m Höhe** installierten Adsorberröhrchen verbunden. Dabei sind Türen und Fenster verschlossen zu halten.

Die Auswahl des Adsorberröhrchens und die einzustellende Absaugrate richtet sich nach dem zu detektierenden Schadstoff.

Das abzusaugende **Probenvolumen** sollte, sofern keine besonderen Gründe vorliegen, **mindestens 100 l** bei einer Absaugrate von **max. 2 l/min** betragen.

- Nach beendeter Probennahme ist das Adsorberröhrchen zu verschließen und möglichst unverzüglich zu analysieren.

Aufzunehmende Randbedingungen

Folgende Randbedingungen sind zu ermitteln und im Protokoll darzustellen:

- **Außentemperatur** und **Luftdruck**,
- **Raumtemperatur**,
- **Luftfeuchtigkeit** im Raum,
- **Charakteristischer Zustand** der untersuchten Räume, z. B. Hinweise auf Risse, Bauart und Zustand des Bodens.

Weitergehende Anforderungen an den Messbericht

- Die eingesetzten **Geräte**, deren **Kalibrierdaten**, charakteristische **Merkmale** der Probennahme und das eingesetzte **Messpersonal** sind zu benennen.
- Charakteristische Details der untersuchten Räume sind zu skizzieren.

Anlage 3

**Beispiel für einen Messbericht bei Probennahme
und Messungen an der Geländeoberfläche**

Auftraggeber

**Altablagerung
Anlass der Messung**

Eingesetzte Messgeräte:**Windgeschwindigkeit / Windrichtung**

Fabrikat

Typ

Messbereich

Atmosph. Druck

Fabrikat

Typ

Messbereich

Temperatur

Fabrikat

Typ

Messbereich

Luftfeuchte

Fabrikat

Typ

Messbereich

Luftdruck

Fabrikat

Typ

Messbereich

Flammenionisationsdetektor

Fabrikat

Typ

Messbereich

Durchmesser der verwendeten Saugglocke [cm] _____

Datum: _____ Messpersonal: _____

Untersuchter Teilbereich: _____

Größe Rasterfelder:

Böschungsbereich	[m x m]	_____
flache Bereiche	[m x m]	_____
Einbaubereich	[m x m]	_____

Anzahl der Messpunkte: _____

Messzeit von _____ bis _____

Bodenverhältnisse (zutreffendes ankreuzen)

untersuchter Teilbereich abgedeckt nicht abgedeckt
 trocken feucht nass

Meteorologische Randbedingungen

- Vormittag:

Temperatur	[°C]	min. _____ max. _____
Luftdruck	[mbar]	min. _____ max. _____
Windstärke	[m/s]	min. _____ max. _____
- Mittag:

Temperatur	[°C]	min. _____ max. _____
Luftdruck	[mbar]	min. _____ max. _____
Windstärke	[m/s]	min. _____ max. _____
- Nachmittag:

Temperatur	[°C]	min. _____ max. _____
Luftdruck	[mbar]	min. _____ max. _____
Windstärke	[m/s]	min. _____ max. _____

Überprüfung der Gerätekenlinie:

- Messgasdurchfluss

zu Beginn der Messung	[l/h]	_____
am Ende der Messung	[l/h]	_____
- verwendete Prüfgaskonzentration

Ist-Wert zu Beginn der Messung	[ppm]	_____
Ist-Wert am Ende der Messung	[ppm]	_____

Anlage 4

**Beispiel für ein Messprotokoll bei Probennahmen
und Messungen im Untergrund**

Sondendaten:

Standort	
Datum Sondenerrichtung	
Sondenbezeichnung	
Sondentiefe [m]	
Filterrohrlänge [m]	
Sondendurchmesser [mm]	
result. Sondenvolumen [l]	
Freispülen nach Errichten	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
Freispülvolumen [l]	

allgemeine Probennahmebedingungen:

Datum			
Analysengerät			
Lufttemperatur [°C]			
Luftdruck [hPa]			
Bodenkonsistenz	trocken <input type="checkbox"/> feucht <input type="checkbox"/> nass <input type="checkbox"/>	trocken <input type="checkbox"/> feucht <input type="checkbox"/> nass <input type="checkbox"/>	trocken <input type="checkbox"/> feucht <input type="checkbox"/> nass <input type="checkbox"/>

Probennahme:

Probennahmerate [l/min]			
entnom. Probenvolumen [l]			
Zeitdauer Probennahme [min]			
P_{Ruhe} [Pa]			
P_{Probennahme} [Pa]			
$\sigma(\text{CH}_4)$ [Vol.-%]			
$\sigma(\text{CO}_2)$ [Vol.-%]			
$\sigma(\text{O}_2)$ [Vol.-%]			
$\sigma(\text{N}_2)$ [Vol.-%]			
Temperatur [°C]			
gelotete Tiefe [m]			
Wasserstand [m]			

Anmerkungen:

Anlage 5

**Beispiele für Messprotokolle bei
Gasabsaugversuchen**

Anlage 6

Beispiele für Messprotokolle bei Raumluftmessungen

**Messprotokoll Raumluftmessung bei
Deponiegasproblematik an Altablagerungen
Allgemeine Daten**

Messobjekt: _____ **Datum:** _____

Ort der Probennahme/Messung:

Gebäudetyp/Nutzung: Wohngebäude Wohnraum
 Bürogebäude Schlafraum
 Schule/Kindergarten Sporthalle
 Arbeitsraum/Büroraum
 Werkstatt/Hobbyraum
 Anderes: _____

Alter des Gebäudes: < 6 Monate < 2 Jahre
 < 10 Jahre > 10 Jahre

Lüftungsbedingungen vor der Probennahme/Messung

Fensterart: Einfachfenster Doppelfenster
 Isolierglasfenster mit Dichtung
 Dichtwirkung Fenster: gut schlecht
 Lüftungszustand Raum intensiv gelüftet, Dauer _____ Minuten
vor Messung: Fenster und Türen geschlossen seit _____ Stunden
 übliches Lüftungsverhalten der Raumnutzer
 Raum mit raumluf- Anlage seit _____ Stunden in Betrieb
 technischer Anlage: Anlage seit _____ Stunden außer Betrieb

Lüftungsbedingungen während der Probennahme/Messung

Lüftungszustand
während Messung: Fenster und Türen geschlossen
 übliches Lüftungsverhalten der Raumnutzer
 Raum mit raumluf- Anlage in Betrieb
 technischer Anlage: Anlage außer Betrieb

Raumausstattung und Zustand

Wände und Boden: Holzverkleidung, Holzdielen, Parkett
 Teppichboden, Alter _____ Jahre
 verklebt nicht verklebt
 Renovierung: Renovierung innerhalb der letzten 3 Monate
 Neue Möbel innerhalb der letzten 3 Monate

**Messprotokoll Raumluftmessung bei
Deponiegasproblematik an Altablagerungen
FID-Messung**

Probennahmedatum: _____ Probennehmer: _____

Außenluftbedingungen während der Messung

Luftdruck: _____ hPa

Temperatur: _____ °C

Niederschlag: ja nein

Messergebnisse

Raum- bezeichnung	Uhr- zeit	Messpunkt Nr.	Innenraum		
			CH ₄ -Messwert [ppm]	Temp. [°C]	Feuchte [%rF]

Raum- bezeich- nung	Proben- bezeich- nung	Abmessungen			Nutzung/Inventar
		Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	

Raumskizze und Anmerkungen umseitig: ja nein

**Messprotokoll Raumlufbmessung bei Deponiegasproblematik an Alt-
ablagerungen**
Entnahme von Spurengasproben

Probennahmedatum: _____ Probennehmer: _____

Außenluftbedingungen während der Messung

Luftdruck: _____ hPa

Temperatur: _____ °C

Niederschlag: ja nein

Probennahmebedingungen bei aktiver Probennahme

Raum- bezeich- nung	Proben- bezeich- nung	Zählerstand Gasuhr [m³]		Uhrzeit		eingestellter Volumenstrom		abgesaugtes Volumen	
		von	bis	von	bis	[m³/h]	[l/h]	[m³]	[l]

Randbedingungen

Raum- bezeich- nung	Proben- bezeich- nung	Uhrzeit	Innenraum			Anmerkungen
			Temp. [°C]	Luftdruck	Feuchte	

Raumskizze und Anmerkungen umseitig: ja nein

Anlage 7

Weitere Beispiele für Gasabsaugversuche

Weitere Beispiele für Gasabsaugversuche

	1	2	3	4
Zielsetzung	Ermittlung der Deponiegasproduktion im Hinblick auf die Dimensionierung einer Entgasungsanlage	Ermittlung des Verhaltens der Spurengasgehalte in der Altablagerung auf eine Absaugung	Auswirkung des Absaugens aus der Altablagerung auf das ins Umfeld migrierte Gas	Abbruch der Deponiegasproduktion durch ein Übersaugen der Altablagerung
bereits durchgeführte Untersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> FID-Begehung Deponiegasmessstellen auf der Altablagerung 	<ul style="list-style-type: none"> Deponiegasmessstellen auf der Altablagerung ggf. FID-Begehung 	<ul style="list-style-type: none"> Deponiegasmessstellen auf der Altablagerung Deponiegasmessstellen im Umfeld 	<ul style="list-style-type: none"> FID-Begehung tiefendifferenzierte Deponiegasmessstellen auf der Altablagerung
Eigenschaften der Ablagerung	<ul style="list-style-type: none"> aktive Deponiegasproduktion in den Gasphasen IV-VI 	<ul style="list-style-type: none"> keine aktive Deponiegasproduktion, wenig Methan 	<ul style="list-style-type: none"> aktive Deponiegasproduktion in den Gasphasen IV-VI Gasmigrationen im Umfeld nachgewiesen 	<ul style="list-style-type: none"> geringe Deponiegasproduktion Gasphase VI bereits erreicht
Merkmale des Gasabsaugversuchs	<ul style="list-style-type: none"> stufenweise Variation der Absaugmenge und Anpassung an die zu erwartende Gasmenge Ausreichend lange Versuchsdauer mehrere Gasbrunnen erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> Anpassung der Absaugmenge an die zu erwartende Gasmenge Entsorgungsweg des abgesaugten Gases im Vorfeld zu klären, im Regelfall Aktivkohle zur Gasreinigung erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> Entsorgungsweg des abgesaugten Gases im Vorfeld klären, im Regelfall Aktivkohle zur Gasreinigung erforderlich ggf. Biofilteranlage oder Aktivkohle erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> gezielte Übersaugung der Altablagerung ggf. Biofilter-, Aktivkohle- oder Oxidationsanlage erforderlich