

Methanemissionsmessungen

Validierung von Messverfahren und Prüfung der Nachweisgrenzen

Abschlussbericht



Impressum

Forschungsbericht

Methanemissionsmessungen

Validierung von Messverfahren und Prüfung der
Nachweisgrenzen

Durchführung

Projektleitung

Dr. Rico Rockmann
rico.rockmann@dbi-gruppe.de
T +49 341 2457-166

Dipl.-Chem. Udo Lubenau
udo.lubenau@dbi-gruppe.de
T +49 341 2457-160

Kontakt

DBI - Gastechnologisches Institut gGmbH
Freiberg
Karl-Heine-Straße 109/111
D-04229 Leipzig
www.dbi-gruppe.de

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
1 Einleitung und Aufgabenstellung	7
2 Aufbau der Messsysteme	8
3 Prüfung der Messgeräte und Messsysteme	10
3.1 Prüfung des Methanmessgerätes	10
3.2 Prüfung der Messsysteme	12
4 Messung von Methanemissionen an Gas-Druckregel- und Messanlagen GDR(M)A	13
4.1 Methodik und Durchführung der Messungen	13
4.2 Durchführung der Messungen	14
5 Messungen an Leckstellen an erdverlegten Leitungen	17
5.1 Methodik der Messung	17
5.2 Durchführung der Messungen	19
6 Zusammenfassung und Ausblick	24
7 Literaturverzeichnis	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ausrüstung zur Messung von Methanemissionsraten an Gas- Druckregel- und Messanlagen mit einem Raumvolumen von $>17 \text{ m}^3$.	8
Abbildung 2:	Anzeigewerte des DP-IR+ bei Beaufschlagung mit einem Prüfgas mit einer Konzentration von 10 ppm Methan	10
Abbildung 3:	Anzeigewerte des DP-IR+ bei Beaufschlagung mit einem Prüfgas mit einer Konzentration von 5 ppm Methan	11
Abbildung 4:	Beispiele der Source-Level-Messung (links) und der Site-Level-Messung (Mitte und rechts) Standortebene).	14
Abbildung 5:	Absaugmethode: Schematischer Messaufbau und Darstellung der Absaugung der Bodenluft, eigene Darstellung, basierend auf [4]	17
Abbildung 6:	Schematische Aufbau der Erdsonden im Sondenfeld	18
Abbildung 7:	Spürflächen an der Baggerschaden-Demonstrationsanlage (BSDA) des Trainingszentrums Gas am DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg	19
Abbildung 8:	Verlauf der Gasleitungen und Ausströmöffnung	19
Abbildung 9:	Sondenfeld auf der Prüffläche bestehend aus fünf Bodensonden	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Berechnete Bestimmungsgrenzen der Methanemissionsrate bei unterschiedlichen Absaugvolumenströmen.	9
Tabelle 2:	Ergebnisse der Versuchsreihen der Prüfgasaufgabe am DP-IR+	11
Tabelle 3:	Ergebnisse der Versuchsreihen der Prüfgasaufgabe am DP-IR+	12
Tabelle 4:	Ergebnisse der Source-Level-Messungen	14
Tabelle 5:	Ergebnis der Site-Level Messung	15
Tabelle 6:	Gaszusammensetzung des verwendeten Erdgases (H-Gas)	15
Tabelle 7:	Ergebnisse Testmessung bei Prüfgas-Aufgabe	16
Tabelle 8:	Detektierte Methankonzentrationen an den jeweiligen Sonden	21
Tabelle 9:	Entwicklung der Methankonzentration an den Sondenköpfen während der Absaugung	21
Tabelle 10:	Entwicklung der Methankonzentration an den Sonden während der Absaugung	22
Tabelle 11:	Entwicklung der Methankonzentration an den Sondenköpfen während der Absaugung	23

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Aus der EU-Verordnung über die Verringerung der Methanemissionen im Energiesektor resultiert u.a für Betreiber von Gasanlagen die Aufgabe, Messungen von Methanemissionen durchzuführen und zu dokumentieren [1]. Dies betrifft bspw. Anlagen wie Gas-Druckregel- und Messanlagen (GDR(M)A) und Leckstellen an erdverlegten Leitungen.

In den letzten Jahren wurden am DBI Erfahrungen im Rahmen des DVGW-Forschungsprojektes „ME DSO „Ermittlung von Methanemissionen aus dem deutschen Gasverteilnetz (G201812) [2]“ bei der Durchführung von Messungen an GDR(M)A und Leckstellen an erdverlegten Leitungen gesammelt, die

- einerseits die technische Machbarkeit demonstrierten und
- die geringe Emissionsrate gegenüber bisherigen Angaben insbesondere an Anlagen zeigten.

Es wurde aber auch Unsicherheiten und Fragestellungen identifiziert, welche die

- Art der Messungen,
- die Rückführbarkeit und
- die Nachweisgrenze der Messverfahren

betreffen.

Es zeigte sich in den Diskussionen auch, dass die Bestimmungsgrenzen unabhängig vom eingesetzten Verfahren abgesenkt werden müssen.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden Untersuchungen zur Messung von Methanemissionsraten an einer typischen GDR(M)A sowie an einer künstlichen Leckstelle an einer erdverlegten Leitung mit definierten Emissionsraten durchgeführt. Zusätzlich wurden die verwendeten Messgeräte und Messsysteme mit verschiedenen Prüfgasen, mit dem Ziel der Reduzierung der Bestimmungsgrenze, validiert. Die Ergebnisse und Erfahrungen fließen in zukünftige Messungen ein.

2 Aufbau der Messsysteme

Grundprinzip der Messung von Methanemissionen an GDR(M)A bzw. Leckstellen an erdverlegten Leitungen ist die Absaugmethode. Bei dieser Methode wird im Falle der Messung an GDR(M)A die Raumluft bzw. bei Leitungsmessungen die Bodenluft abgesaugt. Im abgesaugten Volumenstrom wird während der Messung die Methankonzentration gemessen. Die Berechnung der Methanemissionsrate erfolgt aus dem Volumenstrom während der Absaugung und der detektierten Methankonzentration nach folgender Gleichung:

$$q_{CH_4} = \frac{c_{CH_4} \cdot \dot{V}_n}{1000} \quad (\text{Gl. 1})$$

Wobei

q_{CH_4}	Methanemissionsrate, in $\left[\frac{l}{h}\right]$
c_{CH_4}	Methankonzentration, in $[ppm]$
\dot{V}_n	Absaugvolumenstrom, in $\left[\frac{m^3}{h}\right]$ im Normzustand

Das Messsystem besteht aus verschiedenen Einzelkomponenten:

- Gebläse bzw. Pumpen
- Messwerterfassung (Temperatur, Luftdruck und Volumenstrom)
- Messgerät zur Messung der Methankonzentration im abgesaugten Volumenstrom.

Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Ausrüstung zur Messung von Methanemissionsraten an GDR(M)A.



Abbildung 1: Ausrüstung zur Messung von Methanemissionsraten an Gas- Druckregel- und Messanlagen mit einem Raumvolumen von $>17 \text{ m}^3$.

Jedes Messverfahren bzw. analytische Messgerät weist eine Bestimmungsgrenze auf. Die Bestimmungsgrenze gibt die minimal detektierbare Grenze einer Messgröße an. Im vorliegenden Fall wird die Bestimmungsgrenze der Methanemissionsrate limitiert durch die Bestimmungsgrenze des Messgerätes zur Methandetektion.

Eine Reduzierung der Bestimmungsgrenze von derzeit 10 ppm Methan im abgesaugten Volumenstrom auf 5 ppm führt damit zu einer deutlichen Reduzierung der Bestimmungsgrenzen der Methanemissionsrate.

In Tabelle 1 sind zur Veranschaulichung die Bestimmungsgrenzen der Methanemissionsraten bei unterschiedlichen Absaugvolumenströmen dargestellt. Der notwendige Volumenstrom für die Messung hängt dabei von der Anlagengröße bzw. dem Gebäudevolumen ab.

Tabelle 1: Berechnete Bestimmungsgrenzen der Methanemissionsrate bei unterschiedlichen Absaugvolumenströmen.

Volumenstrom bei der Absaugung [m³/h i.N.]	Bestimmungsgrenze der berechneten Emissionsrate [l/h i.N.]	
	5 ppm	10 ppm
10	0,05	0,10
20	0,10	0,20
30	0,15	0,30
40	0,20	0,40
50	0,25	0,50
60	0,30	0,60
70	0,35	0,70
80	0,40	0,80

Mit steigendem Volumenstrom während der Absaugung nimmt die Bestimmungsgrenze der Methanemissionsrate zu. Eine Halbierung der Bestimmungsgrenze (der Methandetektion) führt damit zur Halbierung der Bestimmungsgrenze der Methanemissionsrate.

Ziel der Absenkung der Bestimmungsgrenze ist es damit, auch für größere Anlagen geringe Emissionsraten nachweisen zu können.

3 Prüfung der Messgeräte und Messsysteme

3.1 Prüfung des Methanmessgerätes

Zur Messung der Methankonzentration im abgesaugten Volumenstrom wird ein Infrarotmessgerät DP-IR+ der Firma Heath Consultants verwendet. Der DP-IR+ verfügt über folgende vom Hersteller angegebene Spezifikation:

Messbereich:	0-10.000 ppm, 0-100 Vol.-% ¹
Empfindlichkeit:	0-1.000 ppm: 1 ppm 1.000 – 10.000 ppm: 5 ppm 1-100 %: 0,5 %
Genauigkeit:	+/- 10 % des Anzeigewertes

Im ersten Schritt der Validierung wurde zur Überprüfung des Messequipments der DP-IR+ mit einem Prüfgas mit einer Konzentration von 10 ppm Methan in Stickstoff über einen Zeitraum von einer Stunde beaufschlagt. Hintergrund der Vorgehensweise war der Nachweis der Messwertstabilität über den Zeitraum einer realen Messung. Abbildung 2 zeigt die Anzeigewerte des DP-IR+ über den Messzeitraum von 60 min.

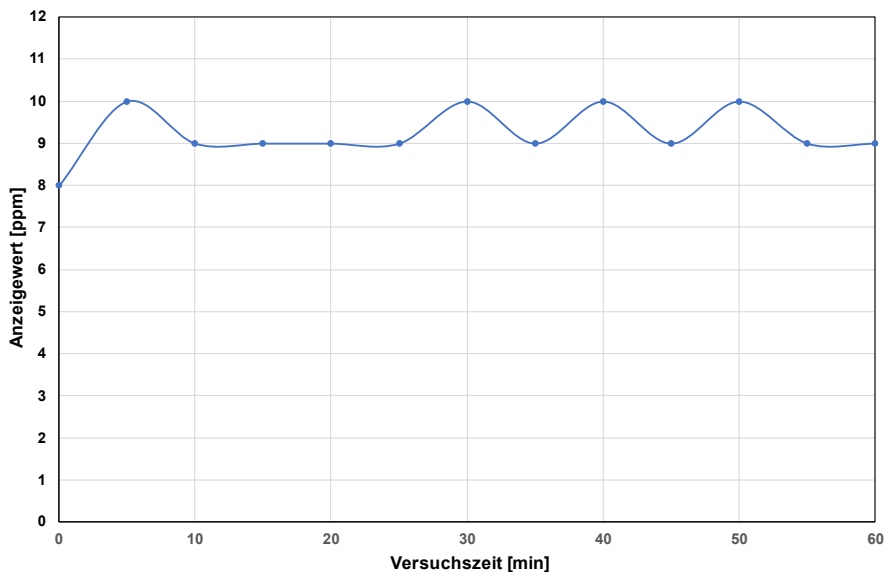


Abbildung 2: Anzeigewerte des DP-IR+ bei Beaufschlagung mit einem Prüfgas mit einer Konzentration von 10 ppm Methan

Der Verlauf der gemessenen Methankonzentration zeigt schwankende Werte im Bereich von 9 bis 10 ppm mit einem Mittelwert von 9,25 ppm und einer Standardabweichung von 0,6 ppm über den Versuchszeitraum. Das Messgerät DP-IR+ ist in der Lage eine Konzentration von 10 ppm Methan über den Versuchszeitraum stabil nachzuweisen.

¹ Die vom Hersteller angegebenen Messbereiche unterscheiden sich in der Empfindlichkeit.

Im nächsten Schritt wurde das Messgerät DP-IR+ mit einem Prüfgas mit einer Konzentration von 5 ppm Methan über einen Zeitraum von einer Stunde beaufschlagt. Abbildung 3 zeigt die Anzeigewerte des DP-IR+ über den Versuchszeitraum.

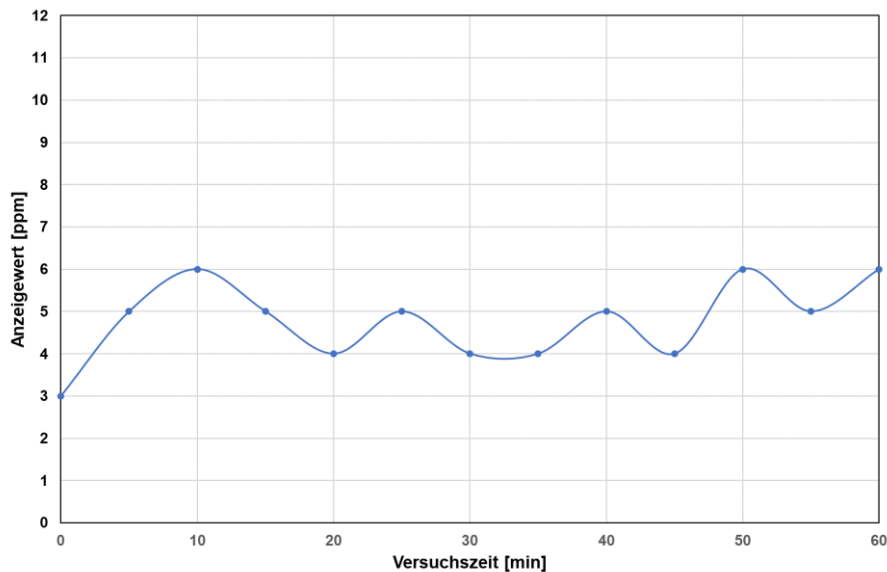


Abbildung 3: Anzeigewerte des DP-IR+ bei Beaufschlagung mit einem Prüfgas mit einer Konzentration von 5 ppm Methan
Analog zu den Ergebnissen der Prüfung mit dem Prüfgas von 10 ppm Methan treten auch beim Prüfgas mit 5 ppm Methan über den Messbereich schwankende Werte über den Versuchszeitraum auf. Es wurden Werte im Bereich vom 4 bis 6 ppm mit einem Mittelwert von 4,8 ppm und einer Standardabweichung von 0,6 ppm detektiert. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der beiden Versuchsreihen zusammengefasst.

Tabelle 2: Ergebnisse der Versuchsreihen der Prüfgasaufgabe am DP-IR+

Messreihe	Einheit	1	2
Konzentration Methan	ppm	5	10
Mittelwert	ppm	4,8	9,25
Standardabweichung	ppm	0,9	0,6
Wiederfindungsrate	%	95	93

Die Ergebnisse der beiden Validierungsversuche zeigen, dass der DP-IR+ in der Lage ist, eine Methankonzentration im Bereich von 5-10 ppm nachzuweisen. Aus den Messreihen ergibt sich eine Wiederfindungsrate von 95 % (5 ppm Methan im Prüfgas) bzw. 93 % (10 ppm). Die Schwankungen über den Versuchszeitraum entsprechen dabei den Herstellervorgaben. Mit abnehmender Methankonzentration im Prüfgas (5 ppm) nimmt zwar die Standardabweichung der Messwerte zu, jedoch bewegt sich diese im Rahmen der vom Hersteller angegebenen Empfindlichkeit von 1 ppm.

3.2 Prüfung der Messsysteme

Die Validierung der Methanemissionsmessung beinhaltet nicht nur die Prüfung der Messgeräte zur Messung der Methankonzentration, sondern auch die Prüfung der einzelnen Messsysteme im Verbund. In den zur Verfügung stehenden Messsystemen sind die Messungen des Volumenstroms, der Gastemperatur und des Luftdrucks integriert. Mithilfe dieser Werte und der Methankonzentration im abgesaugten Volumenstrom erfolgt die Berechnung der Methanemissionsraten (s. Gl. 1).

Insgesamt stehen zwei Messsysteme zur Verfügung. Die beiden verschiedenen Messsysteme sind für unterschiedliche Einsatzbereiche konzipiert. Zum einen für die Messung von GDR(M)A mit einem Raumvolumen von $< 17 \text{ m}^3$ und Leckstellen an erdverlegten Leitungen und zum anderen für die Messung von GDR(M)A $> 17 \text{ m}^3$ und $< 80 \text{ m}^3$ Raumvolumen.

Zur Prüfung wurde direkt in den Ansaugstutzen des Gebläses Erdgas mit einem definierten Volumenstrom injiziert. Der Volumenstrom entsprach dabei der vergebenen Emissionsrate. In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Validierungsversuche an beiden Messsystemen zusammengefasst

Tabelle 3: Ergebnisse der Versuchsreihen der Prüfgasaufgabe am DP-IR+

	Einheit	Leitungsmessung Anlagen $< 17 \text{ m}^3$	Gebäudemessung Anlagen $> 17 \text{ m}^3$
Absaugvolumenstrom	m^3/h (i.N.)	9,7	36
Methankonzentration im abgesaugten Volumenstrom	ppm	73	22
Gemessene Methanemissionsrate	l/h (i.N.)	0,72	0,78
Vorgegebene Methanemissionsrate	l/h (i.N.)	0,75	0,83
Abweichung zwischen vorgegebener und gemessener Emissionsrate bei Prüfgas-Freisetzung	%	-4,2	-7,1
Wiederfindungsrate	%	95	93

Die gemessenen Methanemissionsraten zeigen bei beiden Messsystemen im Vergleich zu den vorgegebenen Emissionsraten eine absolute Abweichung von $< 10 \%$. Die Wiederfindungsraten liegen mit 95% und 93% oberhalb von 90% . Für die beiden Messsysteme kann daher eine Genauigkeit von $\pm 10 \%$ angegeben werden.

4 Messung von Methanemissionen an Gas-Druckregel- und Messanlagen GDR(M)A

4.1 Methodik und Durchführung der Messungen

Im Rahmen der EU-Verordnung zur Verringerung der Methanemissionen im Energiesektor wird bei Messungen unterschieden zwischen:

1. Messung von Methanemissionen direkt an der Quelle (Source-Level) und
2. Messung von Methanemissionen auf Standortebene (Site-Level).

Die Source-Level-Messungen finden direkt an einzelnen Anlagenbauteilen (Flanschverbindungen, Rohrverschraubung, Gas-Druckregelgeräten usw.) statt. Demgegenüber erfolgen Site-Level-Messungen in einem größeren Abstand zur Emissionsquelle an einer ganzen Anlage oder Standort und erfassen damit i.d.R. mehr als eine einzelne Methanemissionsquelle. Die Site-Level-Messungen stellen eine Ergänzung zu Source-Level-Messungen dar, um sicher zu gehen, dass alle Quellen für Emissionen detektiert wurden.

Im Rahmen der durchgeführten Messung erfolgte die Source-Level-Messung entsprechend der Methode nach DIN EN 15446:2008-04 „Fugitive und diffuse Emissionen von allgemeinem Interesse für Industriebereiche - Messung fugitiver Emissionen von Gasen und Dämpfen aus Lecks von Betriebseinrichtungen und Rohrleitungen; Deutsche Fassung EN 15446:2008“ und die Site-Level-Messung durch die Absaugmethode.

Source-Level-Messung: Methode nach DIN EN 15446

Die Source-Level-Messung wird durch Abspüren der erreichbaren Anlagenteile umgesetzt. Zu Beginn der Messung von Methanemissionsraten an GDR(M)A erfolgt das Abspüren aller zugänglichen Anlagenteile und Baugruppen mit einem Methansensorgerät. Bei einer auftretenden Leckstelle wird entsprechend DIN EN 15446:2008-04 die Emissionsrate berechnet ².

Site-Level-Messung: Absaugmethode auf Standort-Ebene

Als Site-Level-Messung kommt die „Absaugmethode auf Standort-Ebene“ zum Einsatz, welche die Methanemission der gesamten Anlage inklusive aller in der Gebäudehülle befindlichen Komponenten erfasst.

Zur Bestimmung der Emissionsrate innerhalb der GDR(M)A werden deren Öffnungen nach außen verschlossen und abgedichtet. Die vorhandene Querbelüftung bleibt unverschlossen. An die obere Querbelüftung wird anschließend der Absaugflansch angebracht. Die untere Querbelüftung dient zum Ansaugen von Frischluft. Danach erfolgt das Absaugen der Raumluft über ein Gebläse mit gleichzeitiger Messung der Methankonzentration im abgesaugten Volumenstrom. Der Absaugvolumenstrom pro Stunde entspricht dem Raumvolumen des Gebäudes. Die Messung beginnt, sobald ein Raumluftwechsel erfolgt ist. Sobald die Methankonzentration im abgesaugten Volumenstrom konstant ist, wird aus der gemessenen Konzentration und dem Absaugvolumenstrom die Emissionsrate in l/h (i.N.) berechnet.

Bestandteil der Messung ist außerdem die Überprüfung der Ausbläser. Dabei wird ein Luftstrom durch die untere Öffnung der Ausbläser angesaugt und dabei die Emissionen der Ausbläserleitungen vollständig mit dem Absaugstrom erfasst. Die Messung erfolgt mit Hilfe einer Teleskopsonde bestehend aus einem geraden Rohr, an deren Ende eine nach unten geöffnete Ansaugglocke montiert ist.

² Die in der DIN EN 15446:2008-04 angegebenen Korrelationsfaktoren können i.d.R. zu einer Überschätzung der Emissionsrate führen. Jedoch handelt es sich um eine anerkannte Methode und es stehen kaum Alternativen zur Verfügung, sodass der Einsatz verbreitet ist.

Die Sonde wird für die Messung der Emissionsrate auf den einzelnen Ausbläser gesetzt und über einen Schlauch mit der Messeinrichtung verbunden. Es erfolgt die Aufzeichnung von Volumenstrom und Methankonzentration, die Methanemissionsrate wird dann aus dem Volumenstrom und der detektierten Methankonzentration berechnet.

Abbildung 4: zeigt Beispiele der Source-Level-Messung (Messung auf Quellebene) und der Site-Level-Messung (Messung auf Standortebene).



Abbildung 4: Beispiele der Source-Level-Messung (links) und der Site-Level-Messung (Mitte und rechts) Standortebene).

4.2 Durchführung der Messungen

Zur Validierung des Messverfahrens wurde ein Feldtest an einer in Betrieb stehenden Gas-Druckregel- und Messanlage (GDR(M)A) eines Verteilnetzbetreibers durchgeführt. Ziel der Feldmessung war der Nachweis, ob freigesetzte Emissionsraten bekannter Höhe durch den Messaufbau wiedergefunden werden.

Die Source-Level-Messung zeigte an mehreren Flanschverbindungen Leckstellen. In Tabelle 4 sind die berechneten Emissionsraten nach DIN EN 15446:2008-04 zusammengefasst.

Tabelle 4: Ergebnisse der Source-Level-Messungen

Messstelle	Verbindungstyp	Methankonzentration [ppm]	Berechnete Emissionsrate nach DIN EN 15446:2008 04 [l/h i.N.]
Flansch 1	Flansch	140	0,21
Flansch 2	Flansch	120	0,19
Flansch 3	Flansch	32	0,07
Flansch 4	Flansch	38	0,08
Flansch 5	Flansch	750	0,68
Summe		940	1,02

Tabelle 5 zeigt das Ergebnis der Site-Level-Messung.

Tabelle 5: Ergebnis der Site-Level Messung

Messstelle	Volumenstrom bei der Absaugung [m³/h i.N.]	Mittelwerte der Messung	
		CH ₄ Konzentration im abgesaugten Volumenstrom [ppm]	Berechnete Emissionsrate [l/h i.N.]
Gesamte Station	33,5	<10*	<0,34

* Bestimmungsgrenze

Die Methanemissionsrate der Site-Level Messung liegt unterhalb der Bestimmungsgrenze. Bei Messwerten unterhalb der Bestimmungsgrenze der Messgeräte erfolgt die Angabe der Emissionsrate auf Grundlage der Bestimmungsgrenze. Die Bestimmungsgrenze der Emissionsrate gibt dabei die minimale detektierbare Emissionsrate an. Die tatsächliche Emissionsrate liegt unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Die Berechnung mit den in der DIN EN 15446:2008-04 angegebenen Korrelationsfaktoren führen i.d.R. zu einer Überschätzung der Emissionsrate. Dies bestätigt sich im vorliegenden Fall, die berechnete Emissionsrate aus den Source-Level-Messungen (s. Tabelle 4) liegt über der der Site-Level-Messung (s. Tabelle 5). Jedoch handelt es sich bei der Berechnungsmethode um eine anerkannte Methode und es stehen keine Alternativen zur Berechnung der Emissionsraten aus der gemessenen Konzentration zur Verfügung, sodass der Einsatz verbreitet ist.

Nachdem die Methanemissionsrate der GDR(A) durch bereits vorhandene Leckstellen bestimmt wurde, erfolgte die gezielte Freisetzung eines methanhaltigen Prüfgases über einen Massendurchflussregler (MFC) in der Nähe der Regelschienen. Die Messung der Ausgangskonzentration war erforderlich, um die Anfangsemissionsrate als Ausgangswert zugrunde legen zu können. Im vorliegenden Fall war die Emissionsrate der GDR(M)A vernachlässigbar gering (s. Tabelle 5). Bei dem eingesetzten Prüfgas handelt es sich um Erdgas der Gruppe H aus dem öffentlichen Gasnetz der Stadt Leipzig. In Tabelle 6 ist die gaschromatographisch ermittelte Gaszusammensetzung dargestellt.

Tabelle 6: Gaszusammensetzung des verwendeten Erdgases (H-Gas)

Komponente	c [mol-%]	Komponente	c [mol-%]
Helium	0,0035	neo-Pentan	0,0018
Wasserstoff	0	i-Pentan	0,0518
Sauerstoff	0	n-Pentan	0,0345
Stickstoff	1,69	i-Hexane	0,0056
Kohlendioxid	1,32	n-Hexan	0,0004
Methan	89,7	i-Heptane	0,0004
Ethan	2,98	n-Heptan	0,0002
Propan	1,25	i-Octane	0,0004
i-Butan	0,189	n-Octan	0
n-Butan	0,155		

Die Freisetzung des Prüfgases im Inneren der Anlage in der Nähe der Regelschienen erfolgte mit einem vorgegebenem Volumenstrom von 20 ml/min (i.N.) bzw. 1,2 l/h (i.N.). Auf Grundlage der Gaszusammensetzung ergab sich daraus eine Methanemissionsrate von 1,08 l/h (i.N.) für die GDR(M)A.

Entsprechend der Messung ohne Freisetzung des Prüfgases erfolgte die Absaugung der Anlage mit einem Volumenstrom von 33,5 m³/h (i.N.). Im weiteren Verlauf der Messung wurde dann der Absaugvolumenstrom auf 65,5 m³/h (i.N.) erhöht. Hintergrund ist der Nachweis, dass bei Änderung des Volumenstroms, die ermittelte Methanemissionsrate konstant ist. Mit steigendem Volumenstrom muss die Methankonzentration im abgesaugten Volumenstrom sinken. In Tabelle 7 sind die Ergebnisse der beiden Versuche zusammengefasst.

Tabelle 7: Ergebnisse Testmessung bei Prüfgas-Aufgabe

Messreihe	Einheit	Versuch 1	Versuch 2
Absaugvolumenstrom	m³/h (i.N.)	33,5	65,5
Methankonzentration im abgesaugten Volumenstrom	ppm	29	16
Gemessene Methanemissionsrate	l/h (i.N.)	0,97	1,02
Vorgegebene Methanemissionsrate	l/h (i.N.)	1,08 ³	
Abweichung zwischen vorgegebener und gemessener Emissionsrate bei Prüfgas-Freisetzung	%	-10	-5,6
Wiederfindungsrate	%	90	95

Mit einem Absaugvolumenstrom von 33,5 m³/h (i.N.) wurde eine Methankonzentration von 29 ppm ermittelt. Bei Erhöhung des Volumenstroms (65,5 m³/h (i.N.)) während der Absaugung, reduzierte sich die Methankonzentration auf 16 ppm. Die berechneten Emissionsraten betragen 0,97 l/h (i.N.) bzw. 1,02 l/h (i.N.) und sind damit vergleichbar. Die Ergebnisse der beiden Testmessungen zeigen, dass die gemessene Emissionsrate für die ausgewählte Anlage unabhängig vom Volumenstrom während der Absaugung ist. Die ermittelten Wiederfindungsraten waren im Minimum bei 90 %. Die absolute Abweichung zwischen vorgegebener und gemessener Methanemissionsrate betrug im Maximum 10 %.

Bei diesen Versuchen wurde insgesamt die Summe aus der in der GDR(M)A vorhandenen und der zusätzlich freigesetzten Methanemission gemessen. Die Methankonzentration stieg von < 10 ppm (s. Tabelle 4) ohne Freisetzung auf 29 ppm (s. Tabelle 6) mit Freisetzung unter vergleichbaren Bedingungen. Daran wird deutlich, dass die Emissionsrate der Anlage deutlich unter der Bestimmungsgrenze von 10 ppm liegen muss und die Berechnung der Methanemissionsrate nach DIN EN 15446:2008-04 (s. Tabelle 3) im vorliegenden Fall deutlich zu hohe Emissionsraten liefert.

Insgesamt konnten die Grenzen des Messverfahrens bei geringen Emissionsraten untersucht und verifiziert werden. Dies ermöglicht die Festlegung einer Bestimmungsgrenze für die weiteren statistischen Analysen bei der Auswertung von Methanemissionsmessungen.

³ Der Ausgangswert der Emissionsrate der GDR(M)A konnte im vorliegenden Fall vernachlässigt werden.

5 Messungen an Leckstellen an erdverlegten Leitungen

5.1 Methodik der Messung

Grundlage der Messung von Methanemissionen einer Leckstelle an einer erdverlegten Gasleitung ist das Absaugen von Bodenluft mit einem definierten Volumenstrom und der gleichzeitigen Messung der Methankonzentration im abgesaugten Volumenstrom. Die Methanemissionsrate kann dann aus dem Volumenstrom und der Methankonzentration berechnet werden (s. Gl. 1). Abbildung 5 zeigt schematisch den Messaufbau.

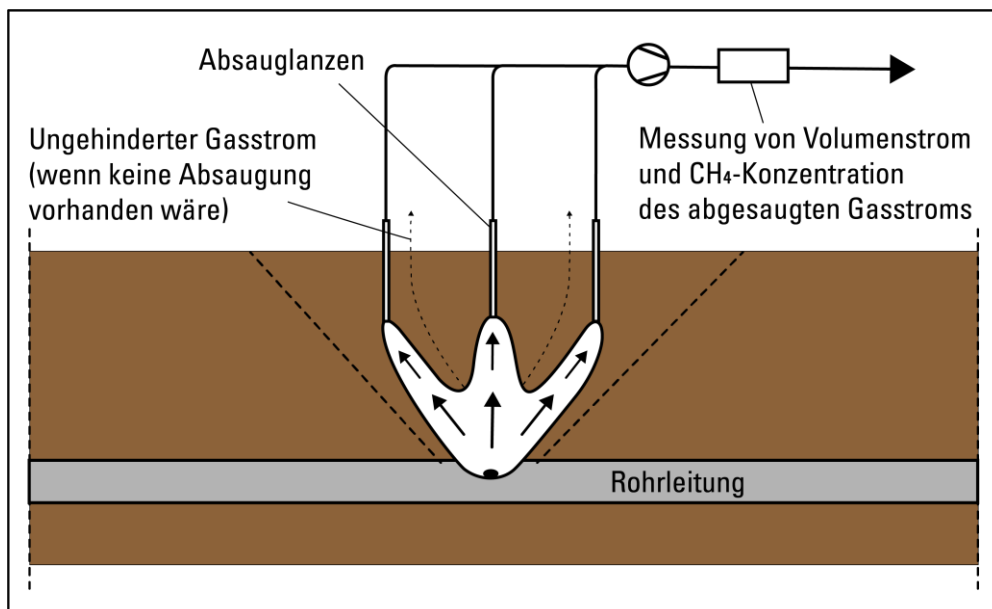


Abbildung 5: Absaugmethode: Schematischer Messaufbau und Darstellung der Absaugung der Bodenluft, eigene Darstellung, basierend auf [4]

Zur Messung wird ein Sondenfeld über der zuvor detektierten Gasblase aufgebaut. Die erste Sonde wird an der Stelle mit der höchsten Konzentration positioniert. Sollte die markierte Konzentration bestätigt werden, kann die Erdsonde dort verbleiben. Andernfalls wird die nächsthöhere Markierung überprüft. Die weiteren Sonden (bis zu 12) werden dann sternförmig um die Sonde mit der höchsten Konzentration angeordnet. Die Anzahl der Sonden ist dabei unter anderem von der Größe der detektierten Gasblase und den örtlichen Gegebenheiten (Bebauung usw.) abhängig. Abbildung 6 zeigt schematisch den Aufbau eines Sondenfeldes.

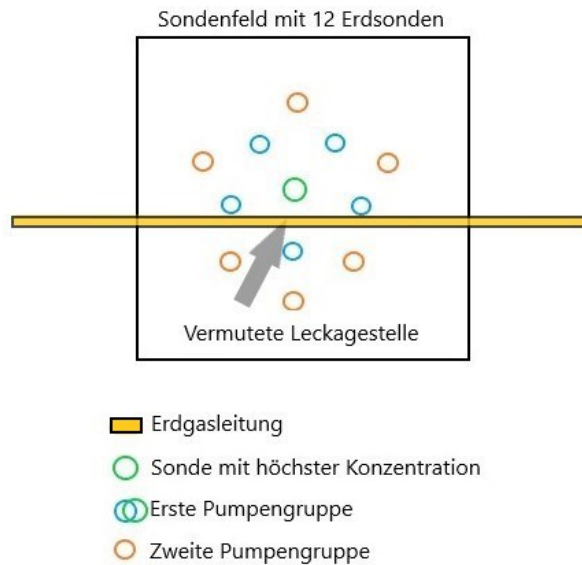


Abbildung 6: Schematische Aufbau der Erdsonden im Sondenfeld

Bei Verwendung von zwölf Bodensonden erfolgt die Aufteilung der Sonden in zwei Pumpengruppen. Die erste Pumpengruppe umfasst die Sonde mit der höchsten Konzentration und fünf weitere Sonden in der direkten Umgebung. Die zweite Pumpengruppe beinhaltet den äußeren Sondenkreis mit sechs Bodensonden (s. Abbildung 6).

Zu Beginn der Messung erfolgt das Absaugen der Bodenluft mit dem darin aufkonzentrierten Methan. Die Gasansammlung wird nach und nach abgesaugt, wodurch die Methankonzentration im abgesaugten Volumenstrom absinkt. Durch das Absaugen erfolgt eine Verkleinerung der unterirdischen Gasausbreitung. Während des Absaugens wird im Zeitintervall von 15 bis 30 Minuten an den Bodensonden die Methankonzentration überprüft, wodurch eine Eingrenzung der Leckstelle erfolgt.

Gegebenenfalls werden Sonden aus dem Sondenfeld entfernt bzw. das Messfeld verkleinert, um den abgesaugten Gasstrom nicht mit methanfreier Bodenluft zu verdünnen. Sobald die Methankonzentration im abgesaugten Volumenstrom konstant ist, wird aus der gemessenen Konzentration und dem Absaugvolumenstrom die Emissionsrate (s. Gl. 1) berechnet.

5.2 Durchführung der Messungen

Die Baggerschaden-Demonstrationsanlage (BSDA) des Trainingszentrum Gas am DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg bietet die Möglichkeit an Flächen gezielt Erdgas oder Wasserstoff freizusetzen zur Veranschaulichung von Gasaustritten an Leckstellen erdverlegter Leitungen. Es stehen drei Flächen mit verschiedenen Bodenabdeckungen zur Verfügung:

- Asphalt
- Verbundpflaster
- Verdichteter Schotter.

Abbildung 7 zeigt die Flächen mit unterschiedlichen Bodenabdeckungen.



Abbildung 7: Spürflächen an der Baggerschaden-Demonstrationsanlage (BSDA) des Trainingszentrums Gas am DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg

Die drei Flächen können getrennt voneinander mit Erdgas oder Wasserstoff bei unterschiedlichen Volumenströmen betrieben werden. Abbildung 8 zeigt den unterirdischen Verlauf der Gasleitungen und die installierte Ausströmöffnung während der Bauphase.



Abbildung 8: Verlauf der Gasleitungen und Ausströmöffnung

Für die Validierungsversuche wurde gezielt die Asphaltfläche ausgewählt. Da es sich bei Asphalt prinzipiell um ein sehr dichtes Material handelt, wird eine vorhandene Gasblase gegenüber der Umgebung stark abdichtet. Erfahrungen aus Praxismessungen zeigen deutlich, dass sich unterhalb von Asphalt die bei einer Leckstelle entstehende Gasblase meist über eine große Fläche unterhalb der Abdeckung ausbreitet.

Zu Beginn der Validierungsversuche erfolgte die Messung der Methankonzentration auf der Fläche mit einer Bodensonde ohne Gasfreisetzung zum Nachweis einer methanfreien Umgebung. Erwartungsgemäß konnte keine Methankonzentration nachgewiesen werden.

Nach dieser Messung erfolgte die Freisetzung von Erdgas. Bereits nach kurzer Ausströmzeit von ca. 10 Minuten wurde eine erhöhte Konzentration von Methan an den Randbereichen der Fläche um den Bereich der Randsteine nachgewiesen. Auf der eigentlichen Fläche konnte an der Oberfläche keine Methankonzentration nachgewiesen werden. Daran zeigt sich sehr deutlich die abdichtende Wirkung der Asphaltsschicht und die Ausbreitung des Gases in Bereiche mit deutlich geringerer abdichtenden Bodenabdeckungen.

Anschließend erfolgte das Bohren der Sondenlöcher mit einer Tiefe von ca. 30 cm auf der Fläche. Das erste Sondenloch wurde in der Mitte der Fläche und damit nahe der bekannten Austrittsöffnung gebohrt. Ausgehend von dieser Sonde wurden die weiteren Sonden im Abstand von ca. 50 cm angeordnet.

Abbildung 9 zeigt die gebohrten fünf Sondenlöcher mit den dazugehörigen Bodensonden auf der Fläche.

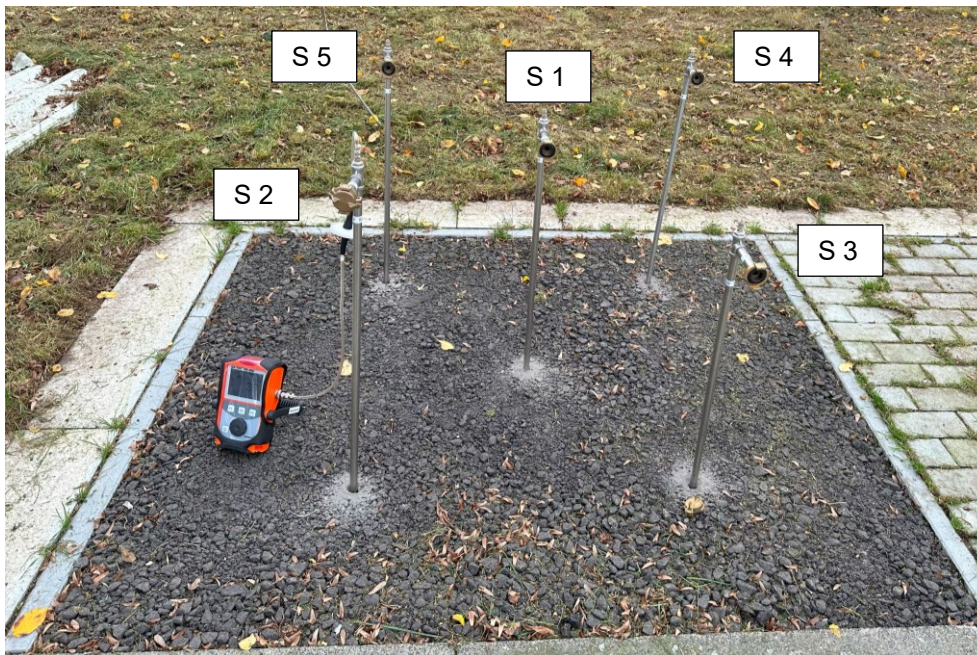


Abbildung 9: Sondenfeld auf der Prüffläche bestehend aus fünf Bodensonden

Im ersten Versuch wurde Erdgas mit einer Emissionsrate von 500 l/h (i.N) freigesetzt. Der Vorgabewert wurde anhand des installierten Gaszählers an der Baggerschadensdemonstrationsanlage ermittelt.

Ziel der Freisetzung mit dieser hohen Rate war es, den Boden mit Erdgas zu sättigen und damit den üblichen Zustand an Leckstellen an erdverlegten Leitungen bei Feldmessungen zu erreichen. Bei realen Messungen wurden auch Methanemissionsraten in dieser Größenordnung an Leckstellen ermittelt.

Nach dem Setzen der Sonden wurde vor Beginn der Absaugung die Methankonzentration an den jeweiligen Sondenköpfen gemessen. Jede Sonde wurde dabei einzeln mit dem (Sewerin Ex-TEC 680) überprüft. Die Sonden werden zur Messung mit einer Blindkappe verschlossen, um ausschließlich die Konzentration in der Bodenluft zu bestimmen. In Tabelle 8 sind die detektierten Methankonzentrationen an den jeweiligen Sonden zusammengefasst.

Tabelle 8: Detektierte Methankonzentrationen an den jeweiligen Sonden

Sonden Nr.	Konzentration [Vol.-%]
1	88
2	87
3	67
4	87
5	21

Die Methankonzentration an den einzelnen Sonden wurde während der Absaugung in regelmäßigen Abständen kontrolliert. Diese Werte dienen zur Beurteilung der Ausbreitung der Gasblase. Wenn an Sonden eine Konzentration von < 0,05 Vol.-% gemessen wird können diese aus dem Sondenfeld entfernt werden. Die Berechnung der Methanemissionsrate erfolgt jedoch prinzipiell aus dem Methangehalt im abgesaugten Volumenstrom aller eingebundenen Sonden.

Insgesamt zeigen die Konzentrationsmessungen an den einzelnen Sonden eine sehr heterogene Verteilung des Methans im Boden. Ein Grund dafür kann der nicht gleichmäßig verdichtete Unterbau der Fläche sein. Eine ähnliche inhomogene Verteilung wurde auch bei Praxismessung an Leckstellen an Rohrleitungen beobachtet und entspricht damit einem realitätsnahen Aufbau.

Nach der Messung an den einzelnen Sonden erfolgte anschließend das Absaugen der Bodenluft an der Leckstelle mit einem Volumenstrom von 11,8 m³/h (i.N.) über einen Zeitraum von einer Stunde. In Tabelle 9 ist die Entwicklung der Methankonzentration an den Sondenköpfen während der Absaugung zusammengefasst.

Tabelle 9: Entwicklung der Methankonzentration an den Sondenköpfen während der Absaugung

Sonden Nr.	Konzentration [Vol.-%]	Versuchszeit [min]		
		Methankonzentration [Vol.-%]		
		20	40	60
1	88	14	13	13
2	87	1,4	1,2	1,0
3	67	9,1	7,0	6,8
4	87	8,2	4,7	3,7
5	21	3,0	2,5	2,5

An der Sonde S1 wurde erwartungsgemäß über den gesamten Versuchszeitraum die höchste Konzentration gemessen. Die Sonden S2 und S5 zeigten die niedrigsten Konzentrationen über den Versuchszeitraum. Aus dem Konzentrationsverlauf zeigt sich, dass sich die Gasblase um die Sonden S1, S3 und S4 ausbreitet.

Der Verlauf der Methankonzentration zeigt, dass bereits nach einer Stunde Absaugung die Methankonzentration an allen Bodensonden konstant war. Wenn die Methankonzentration im abgesaugten Volumenstrom konstant ist, wurde die Gasblase um die Leckstelle herum vollständig abgesaugt. Die dann detektierte Methankonzentration ist somit ausschließlich auf die Freisetzung an der Leckstelle zurückzuführen.

Im abgesaugten Volumenstrom wurde eine Methankonzentration von 5,1 Vol.-% gemessen. Die berechnete Methanemissionsrate betrug damit 495 l/h (i.N.). Bei realen Messungen wurden auch Methanemissionsraten in dieser Größenordnung ermittelt.

Für den zweiten Versuch mit einer deutlich geringeren Emissionsrate wurde der Volumenstroms auf das Anlagetechnisch mögliche Minimum von 65 l/h (i.N.) reduziert. Analog zum ersten Versuch wurden auch hier während der Absaugung die Methankonzentration an den Sonden kontrolliert. In Tabelle 10 ist die Entwicklung der Methankonzentration während der Absaugung zusammengefasst.

Tabelle 10: Entwicklung der Methankonzentration an den Sonden während der Absaugung

Sonden Nr.	Versuchszeit [min]			
	Methankonzentration [Vol.-%]			
	0	30	60	100
1	6,6	1,9	1,6	1,2
2	0,25	0,05	0,05	0,05
3	2,1	1,45	0,95	0,5
4	1,25	0,4	0,20	0,1
5	0,6	0,1	0,10	0,05

Im abgesaugten Volumenstrom wurde eine Konzentration von 0,6 Vol.-% gemessen. Dies entsprach einer Methanemissionsrate von 70,5 l/h (i.N.). Analog zum ersten Versuch zeigte sich auch bei diesem Versuch aus dem Konzentrationsverlauf, dass sich die Gasblase um die Sonden S1, S3 und S4 ausbreitete.

Der Vergleich der vorgegebenen Emissionsrate von 65 l/h (i.N.) mit der experimentell ermittelten Methanemissionsrate von 70,5 l/h (i.N.) zeigt eine Abweichung von 10 %. In Tabelle 11 sind die Ergebnisse der Versuche zusammengefasst.

Tabelle 11: Entwicklung der Methankonzentration an den Sondenköpfen während der Absaugung

	Einheit	Leitungsmessung Anlagen <17 m ³	Gebüdemessung Anlagen >17 m ³
Absaugvolumenstrom	m ³ /h (i.N.)		11,7
Methankonzentration im abgesaugten Volumenstrom	Vol.-%	5,1	0,6
Gemessene Methanemissionsrate	l/h (i.N.)	495	70,5
Vorgegebene Methanemissionsrate	l/h (i.N.)	500	65
Abweichung zwischen vorgegebener und gemessener Emissionsrate bei Prüfgas-Freisetzung	%	-1	+8
Wiederfindungsrate	%	99	108

Die berechneten Emissionsraten betragen 495 l/h (i.N.) bzw. 70,5 l/h (i.N.) bei vorgegeben Emissionsraten von 500 l/h (i.N.) bzw. 65 l/h (i.N.). Die Wiederfindungsraten betragen damit 99 % und 108 %.

Insgesamt konnten die Grenzen des Messverfahrens untersucht und verifiziert werden. Insgesamt kann eine Unsicherheit von ± 10 % für die Messungen zugrunde gelegt werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Projekts wurden Untersuchungen zur Messung von Methanemissionsraten an einer typischen Gas-Druckregel- und Messanlage (GDR(M)A) sowie an einer künstlichen Leckstelle einer erdverlegten Leitung mit definierten Emissionsraten durchgeführt. Weiterhin wurde das verwendete Messgerät zur Messung der Methankonzentration mit verschiedenen Prüfgasen validiert und die verwendete Messausrüstung geprüft. Ziel war zum einen die Reduzierung der Bestimmungsgrenze der Methanemissionsmessung und zum anderen der Nachweis der Verfahrensparameter (Wiederfindungsrate, Abweichung zum Sollwert).

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Prüfung der Messgeräte und Messsysteme

Die Ergebnisse der beiden Validierungsversuche zeigen, dass der DP-IR+ in der Lage ist, eine Methankonzentration im Bereich von 5-10 ppm nachzuweisen. Aus den Messreihen ergibt sich eine Wiederfindungsrate von 95 % (5 ppm Methan im Prüfgas) bzw. 93 % (10 ppm). Die Schwankungen über den Versuchszeitraum entsprechen dabei den Herstellervorgaben. Die Bestimmungsgrenze des Messverfahrens konnte damit von 10 ppm auf 5 ppm Methan abgesenkt werden.

Die Prüfung der beiden Messsysteme zeigte im Vergleich zu den vorgegebenen Emissionsraten eine absolute Abweichung von < 10 %. Die Wiederfindungsraten liegen mit 95 % und 93 % oberhalb von 90 %. Für die beiden Messsysteme kann daher eine Genauigkeit von ± 10 % angegeben werden.

Messung von Methanemissionen an Gas-Druckregel- und Messanlagen

Die Ergebnisse der Messungen an einer Gas-Druckregel- und Messanlage zeigen, dass bei der Freisetzung einer definierten Methanemissionsrate diese mithilfe der Messausrüstung nachgewiesen werden konnte. Die ermittelte Abweichung beträgt ± 10 %. Die gemessene Emissionsrate war unabhängig vom Absaugvolumenstrom. Es konnten die Grenzen des Messverfahrens bei geringen Emissionsraten (1 l/h i.N. bzw. 0,75 g/h) untersucht und verifiziert werden. Dies ermöglicht die Festlegung einer geringeren Bestimmungsgrenze für weitere Methanemissionsmessungen.

Messungen an Leckstellen an erdverlegten Leitungen

Die Messung von Leckstellen an erdverlegten Leitungen ist erfahrungsgemäß in der Praxis von verschiedenen Faktoren, wie beispielsweise der Bodenbeschaffenheit, abhängig. Die Baggerschaden-Demonstrationsanlage (BSDA) bietet sich die Möglichkeit an Spürflächen gezielt Erdgas oder Wasserstoff freizusetzen.

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen konnte der vorgegebene Volumenstrom an der Leckstelle mit der Absaugmethode nachgewiesen werden. Die Abweichung zwischen der vorgegebenen Emissionsrate von 65 l/h (i.N.) und der experimentell ermittelten Methanemissionsrate von 70,5 l/h (i.N.) betrug ± 10 %.

Es sind weitere Versuche zur Validierung mit dem Nachweis der minimalen detektierbaren Methanemissionsrate geplant. Im Falle der Messung von Emissionsraten an Leckstellen erdverlegter Leitungen sollen Versuche zum Einfluss der unterschiedlichen Bodenbeläge und auch Messungen zu Wasserstoffemissionen durchgeführt werden. Für die Source-Level-Messung an Anlagenteilen der GDR(M)-Anlagen ist der Aufbau der „Bagging“-Methode zur genaueren Messung der Emissionen einzelnen Komponenten (Flanschverbindungen, Rohrverschraubungen usw.) geplant.

7 Literaturverzeichnis

- [1] EU 2019/942 VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über die Verringerung der Methanemissionen im Energiesektor und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/942

- [2] Große, Charlotte; Eyßer, Melanie; Lehmann, S.; Sammüller, J.; Behnke, M. (2022): Ermittlung von Methanemissionen des Gasverteilnetzes (ME DSO). Inventur der Datenlage zur Abschätzung von Methanemissionen aus dem deutschen Gasverteilnetz, Entwicklung und Durchführung eines repräsentativen Messprogramms zur Erhebung der erforderlichen Daten. Hg. v. DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.

- [3] DIN EN 15446:2008-04 „Fugitive und diffuse Emissionen von allgemeinem Interesse für Industriebereiche - Messung fugitiver Emissionen von Gasen und Dämpfen aus Lecks von Betriebseinrichtungen und Rohrleitungen; Deutsche Fassung EN 15446:2008“

- [4] E.ON Metering GmbH, *Implementation of new methods for maintenance work (Phase C)*, Essen **2016**.

www.dbi-gruppe.de

Scannen Sie den QR-Code,
um mehr über die DBI-Gruppe
zu erfahren!



info@dbi-gruppe.de

DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH
Karl-Heine-Straße 109/111
D-04229 Leipzig