



INSTITUT FÜR
SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT



PRÜF- UND ENTWICKLUNGSINSTITUT FÜR
ABWASSERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN E.V.



Abschlussbericht

zum Forschungsvorhaben

Untersuchungen zur Gasentwicklung

in Kleinkläranlagen

(Abschätzung des Explosionsrisikos)

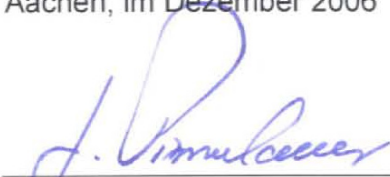
AZ IV - 9 - 042 063

für das





**Ministerium für
Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen**

Aachen, im Dezember 2006


Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp
(ISA)


Dr.-Ing. E. Dorgeloh
(PIA)

Projektpartner

Partner	Bearbeiter
 <p>Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp Mies-van-der-Rohe-Str. 1 52074 Aachen Tel.: 0241 / 80 25207 Fax: 0241 / 80 22285 Email: isa@isa.rwth-aachen.de www.isa.rwth-aachen.de</p>	Dr.-Ing. Regina Haußmann
 <p>Prüf- und Entwicklungsinstitut für Ab- wassertechnik an der RWTH Aachen e.V. (PIA) Mies-van-der-Rohe-Str. 1 52074 Aachen Tel.: 0241 / 75082-0 Fax: 0241 / 75082-29 Email: info@pia.rwth-aachen.de www.pia.rwth-aachen.de</p>	Dr.-Ing. Elmar Dorgeloh Dipl.-Ing. Patricia Khan

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Kurzzeichen	V
1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung	7
3 Grundlagen	8
4 Projektverlauf	13
5 Gasmessungen – Durchführung und Darstellung der Ergebnisse	14
5.1 Beschreibung der Messeinrichtungen	16
5.2 Methanmessungen in Kleinkläranlagen auf dem Prüffeld des PIA	20
5.2.1 Durchführung der Messungen	20
5.2.2 Darstellung der Ergebnisse	21
5.3 Methanmessungen in Kleinkläranlagen vor Ort	29
5.3.1 Durchführung der Messungen	29
5.3.2 Darstellung der Ergebnisse	31
5.4 Gasmessungen in Versuchsanlage 1 auf dem Prüffeld des PIA	35
5.4.1 Aufbau der Versuchsanlage 1	35
5.4.2 Durchführung der Messungen	36
5.4.3 Darstellung der Ergebnisse	37
5.5 Gasmessungen in Versuchsanlage 2 auf dem Prüffeld des PIA	41
5.5.1 Aufbau der Versuchsanlage	41
5.5.2 Durchführung der Messungen	41
5.5.3 Darstellung der Ergebnisse	42
6 Diskussion der Ergebnisse	48
7 Ausblick	50
8 Literatur	52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einstufung der untersuchten Kleinkläranlagen.....	6
Abbildung 2: Ablaufschema – Explosionsgefährdung und Schutzmaßnahmen [4]...	12
Abbildung 3: Messprinzip der Methan-Messwertgeber [9]	16
Abbildung 4: Deckel mit CH ₄ -Sensor	18
Abbildung 5: Insektenschutz des CH ₄ -Sensors	18
Abbildung 6: Deckel Versuchsanlage 1 – Methan-Sensoren.....	19
Abbildung 7: H ₂ S-Sensor in der Versuchsanlage	19
Abbildung 8: Häufigkeit der Messwerte – Methan Prüffeld	22
Abbildung 9: Verlauf der Messwerte – Methan Anlage 5 Prüffeld.....	24
Abbildung 10: Verlauf der Messwerte – Methan Anlage 4 Prüffeld.....	25
Abbildung 11: Verlauf der Messwerte (Auszug) – Methan Anlage 4 Prüffeld	26
Abbildung 12: Vergleich nicht abgedichtet / abgedichtet – Methan Prüffeld Anlage 2	27
Abbildung 13: Installation der Messtechnik vor Ort.....	30
Abbildung 14: Installierte Messtechnik vor Ort.....	30
Abbildung 15: Darstellung der Messungen vor Ort – Anlage 1 bis 5	32
Abbildung 16: Häufigkeit der Messwerte – Methan Anlage 1 vor Ort	33
Abbildung 17: Verlauf der Messwerte – Methan Anlage 1 vor Ort	34
Abbildung 18: Versuchsanlage 1	35
Abbildung 19: Schnitt Versuchsanlage 1	36
Abbildung 20: Startphase – Methan Versuchsanlage 1	37
Abbildung 21: Maximalbelastung – Methan Versuchsanlage 1	38
Abbildung 22: Stationärer Zustand – Methan Versuchsanlage 1	39
Abbildung 23: Abdichtung der Vorklärung	42
Abbildung 24: Anzahl der Messwerte – Methan Versuchsanlage 2.....	43
Abbildung 25: Anzahl der Messwerte – Schwefelwasserstoff Versuchsanlage 2	44
Abbildung 26: Beispiel 1 – Vergleich Methan / Schwefelwasserstoff-Konzentrationen	45
Abbildung 27: Beispiel 2 – Vergleich Methan / Schwefelwasserstoff-Konzentrationen	46
Abbildung 28: Beispiel 3 – Vergleich Methan / Schwefelwasserstoff-Konzentrationen	47
Abbildung 29: Einstufung der untersuchten Kleinkläranlagen.....	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche [7]	10
Tabelle 2: Technische Daten der Messwertgeber – Methan und Schwefelwasserstoff [8, 9]	17
Tabelle 3: Untersuchte Anlagen - Prüffeld	21
Tabelle 4: Häufigkeit der Messwerte für verschiedene Anlagentypen – Methan Prüffeld	23
Tabelle 5: Untersuchte Anlagen – vor Ort	31
Tabelle 6: Untersuchungsphasen Versuchsanlage 2	42

Kurzzeichen

Kurzform	Beschreibung
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
EW	Einwohnerwerte
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MBR	Membranbioreaktor
ppm	Parts per million
SBR	Sequencing batch reactor
UEG	Untere Explosionsgrenze

1 Zusammenfassung

Mit Schreiben vom 24.01.2005 des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW) wurden das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (ISA) und das Prüf- und Entwicklungsinstitut für Abwassertechnik an der RWTH Aachen e.V. (PIA) beauftragt, im Rahmen des Vorhabens „Untersuchungen zur Gasentwicklung in Kleinkläranlagen (Abschätzung des Explosionsrisikos)“ (AZ IV-9-042 063) die Methanbildung und damit verbunden das Explosionsrisiko in Kleinkläranlagen zu untersuchen. Ziel dieses Vorhabens war es, eine Grundlage hinsichtlich der weiteren Betrachtung des Explosionsschutzes in Kleinkläranlagen zu schaffen.

Zur Abschätzung des Explosionsrisikos wurden Gasmessungen in Kleinkläranlagen durchgeführt. Die Untersuchungen umfassten Methanmessungen in Kleinkläranlagen auf dem Prüffeld des PIA und vor Ort bei Betreibern im Kreis Düren. Des Weiteren wurden im Laufe des Projektes zwei Versuchsanlagen in Betrieb genommen, in denen die Methanbildung forciert werden sollte.

Auf dem Prüffeld des PIA wurden Methanmessungen in 16 verschiedenen Kleinkläranlagen durchgeführt. Die gemessenen Werte wurden in Relation zur unteren Explosionsgrenze (UEG) von Methan gesetzt. Diese ist bei 4,4 Vol% Methan in Luft erreicht. Die Auswertung der aufgezeichneten Daten erfolgte über die Häufigkeit der Messwerte in verschiedenen Klassen. Die gewählte Klasseneinteilung für Methan orientiert sich an den Vorgaben für Alarmschwellen von Gaswarnanlagen [1]:

0 bis 10% UEG CH₄

10 bis 20% UEG CH₄

20 bis 50% UEG CH₄

50 bis 100% UEG CH₄

Der Bereich von 0 bis 10% UEG ist als unkritisch anzusehen. Zwischen 10 und 20% UEG können ggf. Maßnahmen zur Verhinderung der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre getroffen werden, über 20% UEG sollten diese Maßnahmen erfolgen. Über 50% UEG sollten ggf. diese Maßnahmen erweitert werden und eine Abschaltung aller nicht explosionsgeschützten elektrischen Anlagen und Betriebsmittel erfolgen [1].

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass im normalen Betrieb nur eine geringe Methanbildung zu beobachten war. Der überwiegende Anteil der gemessenen Werte lag im Bereich unter 10% UEG. Bei den Messwerten, die über 10% UEG lagen, handelte es sich um kurzzeitige Spitzen und keine dauerhafte Erhöhung des Methangehaltes. Lediglich in einer Anlage waren Phasen mit einer nahezu konstanten Erhöhung des Methangehaltes im Bereich 10 bis 20% UEG zu beobachten. Eine Einschränkung der Be- und Entlüftung dieser Anlage hatte einen weiteren Anstieg der gemessenen Werte bis zu einem Maximalwert von nahezu 70% UEG zur Folge.

Des Weiteren wurden 8 verschiedene Kleinkläranlagen von privaten Betreibern im Kreis Düren hinsichtlich der Methanbildung untersucht. Bei diesen Untersuchungen wurde in sieben der acht untersuchten Anlagen keine Methanbildung beobachtet. Lediglich eine Anlage wies ein geringes Potential hinsichtlich der Gasbildung auf.

Zusätzlich zu den Untersuchungen auf dem Prüffeld des PIA und vor Ort im Kreis Düren wurden zwei Versuchsanlagen in Betrieb genommen, in denen nicht ordnungsgemäße Betriebszustände simuliert und Untersuchungen zu deren Auswirkungen durchgeführt wurden. Für eine Versuchsanlage stand ein Tank zur Verfügung, bei dem sämtliche Öffnungen geschlossen und weitgehend abgedichtet wurden. Der Tank war nicht in die Erde eingelassen, so dass der Temperatureinfluss beobachtet werden konnte. Es wurden zwei Methansensoren in unterschiedlichen Höhen installiert, so dass Versuche zur Verteilung der Methanbelastung durchgeführt werden konnten. Nach Beendigung der Messungen an Anlagen vor Ort (Kreis Düren) konnte die mobile Messzentrale für die Versuchsanlage genutzt werden, so dass auch hier Schwefelwasserstoffmessungen durchgeführt werden konnten. Für die Auswertung der Methanmessungen wurden die Verläufe der Messwerte der beiden installierten Methansensoren und die mittleren Tagestemperaturen betrachtet. Die Gasmessungen in dieser Versuchsanlage haben ergeben, dass bei bestimmten Randbedingungen ein Gefährdungspotential hinsichtlich der Gasbildung bestehen kann. Die Methanbildung wurde bei diesen Untersuchungen von den Betriebsbedingungen und der Temperatur beeinflusst. Bei günstigen Randbedingungen für die Methanbildung wurden kontinuierlich Messwerte größer 20% UEG und Maximalwerte bis 35% UEG gemessen. Die Anordnung von Methansensoren in unterschiedlichen Höhen hat gezeigt, dass der Methangehalt im oberen Bereich überwiegend höher ist und sich Methanblasen bilden, auch wenn im unteren Bereich, nahe an der Wasseroberfläche,

kein Methan mehr gemessen wurde. Schwefelwasserstoff wurde in dieser Versuchsanlage nicht gemessen.

Für eine weitere Versuchsanlage konnte die Vorklämung einer Tropfkörperanlage genutzt werden, die auf dem Prüffeld des PIA betrieben wurde, sich aber nicht in einer Prüfung befand. In dieser Anlage konnten unter realeren Bedingungen als in der ersten Versuchsanlage Untersuchungen durchgeführt, da der Behälter eingeschüttet und an eine Dosieranlage des Prüffeldes angeschlossen war. In dieser Versuchsanlage konnten aufgrund der räumlichen Verhältnisse keine Methanmessungen in unterschiedlichen Höhen durchgeführt werden. Zusätzlich zu der Methanmessung wurden Schwefelwasserstoffmessungen durchgeführt. Der Untersuchungszeitraum wurde in zwei Phasen aufgeteilt. In der ersten Phase wurde die Anlage ordnungsgemäß betrieben. Vor Beginn der zweiten Phase wurde die Anlage so abgedichtet, dass die Be- und Entlüftung nur über die Zu- und Ablaufleitungen erfolgte. Die Auswertung der aufgezeichneten Daten erfolgte über die Einteilung der Messwerte in verschiedene Klassen. Für Methan wurde die bereits beschriebene Klasseneinteilung verwendet. Für Schwefelwasserstoff wurden folgende Klassen gewählt:

0 bis 10 ppm H₂S

10 bis 50 ppm H₂S

> 50 ppm H₂S

Der MAK-Wert (maximale Arbeitsplatzkonzentration) für Schwefelwasserstoff liegt bei 10 ppm [2]. Daher kann der Bereich von 0 bis 10 ppm als unkritisch angesehen werden. Der Bereich von 10 bis 50 ppm stellt keine Gefahr dar, wenn die Belastung nicht dauerhaft ist. Bei Konzentrationen ab 50 ppm kann es zu Reizungen der Augen und Atemwege nach rund 60 Minuten kommen. Die gesundheitlichen Auswirkungen von Schwefelwasserstoff reichen bis zum schlagartig eintretenden Tod nach wenigen Sekunden bei Konzentrationen über 5.000 ppm. [3]

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass bei Vorhandensein von Schwefelwasserstoff etwas geringere Methanbildungen zu beobachten waren. Allerdings waren während des gesamten Untersuchungszeitraumes nur sehr geringe Methan- und Schwefelwasserstoffbildungen zu beobachten. Es gab einige einzelne Spitzen an Schwefelwasserstoff im Bereich 10 bis 50 ppm, aber keine dauerhafte erhöhte Belastung. Ein bedeutender Einfluss der Abdichtung der Anlage war nicht zu erkennen.

Zusammenfassend ist auszusagen, dass die Untersuchungen zeigten, dass bei Kleinkläranlagen im Normalbetrieb im Wesentlichen keine oder nur geringe Methanbildungen zu beobachten waren. Des Weiteren konnten verschiedene Faktoren ermittelt werden, die die Methanbildung beeinflussen. Die Betriebsbedingungen stellen einen dieser Faktoren dar. Die Gewährleistung einer ausreichenden Be- und Entlüftung ist eine bedeutende Schutzmaßnahme zur Verhinderung oder Einschränkung der Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre. Ein weiterer wesentlicher Einflussfaktor ist die Temperatur. Günstige Bedingungen für die Methanbildung liegen bei Temperaturen im Abwasser von über 30°C vor. Diese Temperaturen werden in der Regel bei in die Erde eingebauten Kleinkläranlagen nicht erreicht. Weiterhin wurden Unterschiede hinsichtlich verschiedener Anlagentypen festgestellt. In besonders belüfteten Behältern, wie z. B. Membranbioreaktoren, ist die Bildung von Methan nahezu ausgeschlossen. Ein Gefährdungspotential ist eventuell in nicht belüfteten Reinigungsstufen vorhanden. Außerdem wurden bei der Methanbildung Unterschiede beobachtet, deren Ursache in anlagenspezifischen Einflüssen gesehen werden kann. Bei der Untersuchung zweier Vorklärunge in einem identischen Untersuchungszeitraum auf dem Prüffeld des PIA wurden sehr unterschiedliche Methanbildungen beobachtet. In einer Vorklärunge wurde nahezu kein Methan gemessen und in der anderen regelmäßige Spitzen im Bereich 5 bis 12% UEG. Es war jedoch nicht möglich die Ursachen dieser Spitzen zu bestimmen. Das Vorkommen von regelmäßigen, kurzen Spitzen mit Methangehalten im Bereich 5 bis 20% UEG wurde häufiger bei Anlagen beobachtet.

Die Untersuchungen der Schwefelwasserstoffbildung zeigten, dass im Rahmen der Messungen im Bereich des Sensors durch Schwefelwasserstoff keine Gefährdung, weder hinsichtlich des Explosionsrisikos noch der Vergiftungsgefahr bestand.

Die Methanmessungen in Kleinkläranlagen bei privaten Betreibern im Kreis Düren ergaben, dass in den untersuchten Anlagen keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre im Sinne der Betriebssicherheitsverordnung zu beobachten war. Bei Anlagen im realen Betrieb sind jedoch die Betriebsbedingungen ein erheblicher Einflussfaktor hinsichtlich der Methanbildung.

Bei Betrachtung der Methanmessungen in den untersuchten Kleinkläranlagen auf dem Prüffeld des PIA, die ordnungsgemäß betrieben wurden, wurde ein maximaler Wert von 22% UEG gemessen. Auf dieser Grundlage war das Auftreten von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre im Sinne der Betriebssicherheitsverordnung nicht zu beobachten.

Die Gasmessungen im Rahmen dieses Vorhabens lassen folgende Einstufung der untersuchten Kleinkläranlagen in das Ablaufschema zur Beurteilung der Explosionsgefährdung und Festlegung von Schutzmaßnahmen [4] zu.

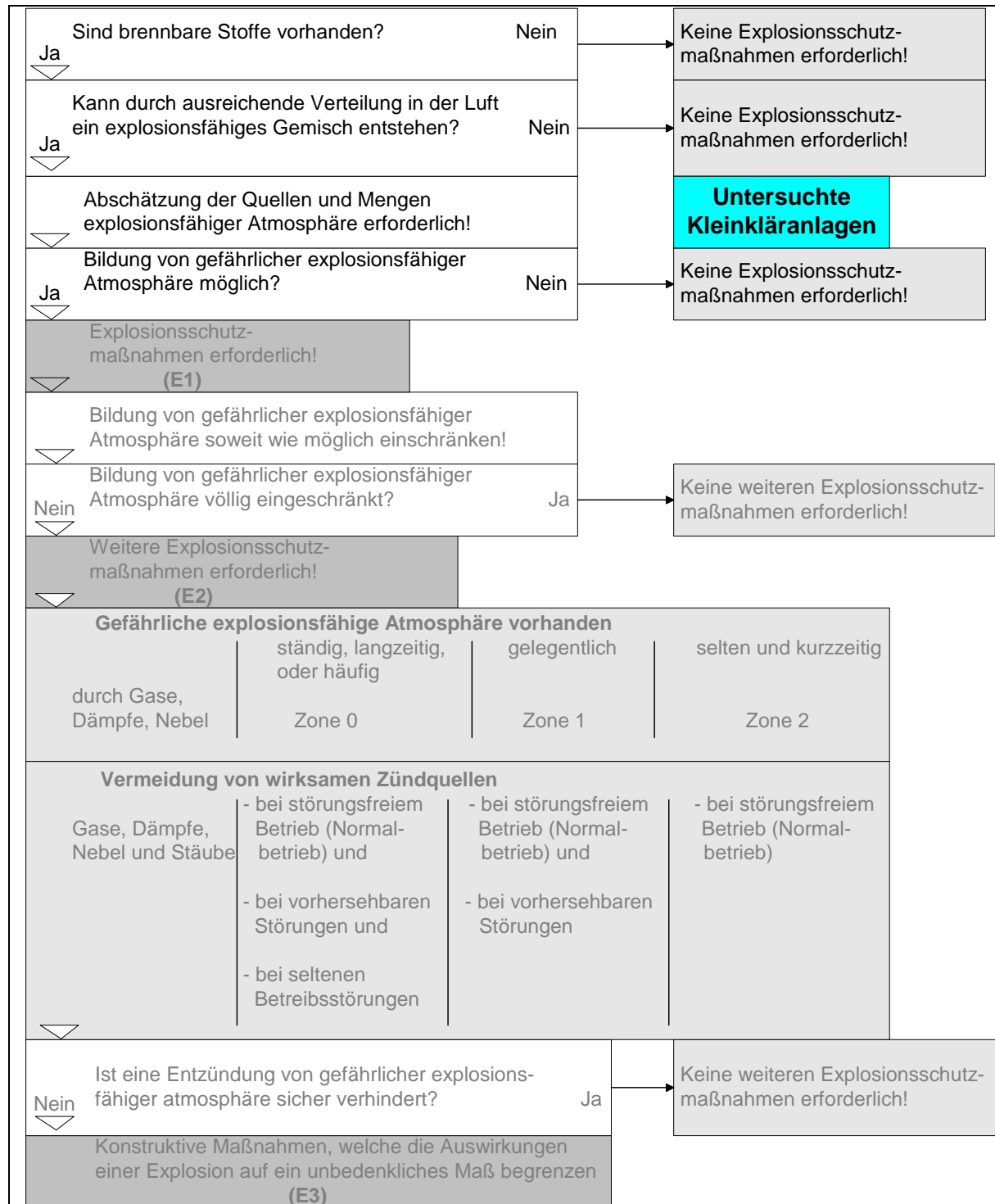


Abbildung 1: Einstufung der untersuchten Kleinkläranlagen

2 Einleitung

Mit Schreiben vom 24.01.2005 des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW) wurden das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (ISA) und das Prüf- und Entwicklungsinstitut für Abwassertechnik an der RWTH Aachen e.V. (PIA) beauftragt, im Rahmen des Vorhabens „Untersuchungen zur Gasentwicklung in Kleinkläranlagen (Abschätzung des Explosionsrisikos)“ (AZ IV-9-042 063) die Methanbildung und damit verbunden das Explosionsrisiko in Kleinkläranlagen zu untersuchen.

Bei der Abwasserbehandlung entsteht unter anaeroben Bedingungen aus dem Abbau organischer Materie ein Gasgemisch, das zu etwa zwei Dritteln aus Methan und einem Drittel aus Kohlendioxid besteht. Weiterhin können geringe Mengen anderer Gase, wie z. B. Schwefelwasserstoff vorhanden sein [1]. Bei fast allen derzeit betriebenen Systemen zur dezentralen Reinigung häuslichen Schmutzwassers können anaerobe Betriebszustände auftreten. Mit der organischen Belastung des häuslichen Schmutzwassers ist theoretisch ein Potential für Faulprozesse vorhanden.

Die Vorgaben der Betriebssicherheitsverordnung für den Explosionsschutz müssen für Kläranlagen angewendet werden. Da in Kleinkläranlagen ebenfalls die verschiedenen Prozesse der Abwasserreinigung stattfinden, stellt sich die Frage nach dem Explosionsschutz in Kleinkläranlagen.

Ziel dieses Vorhabens war es, eine Grundlage hinsichtlich der weiteren Betrachtung des Explosionsschutzes in Kleinkläranlagen zu schaffen.

3 Grundlagen

Für den Abbau von organischen Substanzen unter anaeroben Bedingungen in anorganische Endprodukte und Methan sind mehrere Abbauschritte und damit auch unterschiedliche Bakteriengruppen notwendig. Bei der Methanbildung gibt es vier aufeinander folgende Abbauphasen unter Beteiligung unterschiedlicher Gruppen von Mikroorganismen [5].

1. Hydrolyse-Phase:

Hochmolekulare und oft ungelöste Stoffe (Polymere) werden durch Enzyme in gelöste Bruchstücke überführt.

2. Versäuerungs-Phase:

Kurzkettige organische Säuren (z. B. Buttersäure, Propionsäure und Essigsäure), Alkohole, Wasserstoff und Kohlendioxid werden von verschiedenen fakultativ und obligat anaeroben Bakterienarten gebildet.

3. Acetogene-Phase:

Die in der zweiten Phase gebildeten organischen Säuren und Alkohole werden durch acetogene Bakterien zu Essigsäure umgebaut.

4. Methanogene-Phase:

Hauptsächlich aus Essigsäure, aber auch aus Wasserstoff und Kohlendioxid wird Methan gebildet.

Die Methanbakterien werden überwiegend den mesophilen Organismen zugeordnet. Somit erreichen sie ihre maximale Stoffwechselaktivität bei Temperaturen im Bereich von 30 bis 40°C. Des Weiteren existieren Methanbakterien, deren optimale Temperatur in höheren Bereichen liegt. [5]

Methan gilt als gefährliches Gas im Sinne der Gefahrstoffverordnung. Es ist ein hochentzündliches Gas, das mit Luft bzw. Sauerstoff hochexplosive Gemische bilden kann. Der Explosionsbereich liegt zwischen 4,4 und 16,5 Vol% Methan in Luft mit einem Maximum der Explosionskraft bei 9,4 Vol% Methan in Luft. Im Gemisch mit stark oxidierenden Gasen kann spontan oder bei thermischer sowie katalytischer Zündung eine Explosion erfolgen. [6]

Schwefelwasserstoff entsteht durch die Reduktion von Sulfat durch Desulfurikanten. Diese sulfatreduzierenden Bakterien können unter anaeroben Bedingungen bei Vor-

handensein von Sulfat anwachsen. Für die Sulfatreduktion benötigen die Desulfurikanten Wasserstoff. [5]

Schwefelwasserstoff ist ebenfalls ein hochentzündliches Gas, das mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch bilden kann. Dieser Explosionsbereich liegt zwischen 4,3 und 45,5 Vol%. Da Schwefelwasserstoff schwerer ist als Luft, besteht die Gefahr von Ansammlungen in Vertiefungen oder Schächten. Wenn diese Schwefelwasserstoff-Schwaden eine Zündquelle erreichen, kann es zu Explosionen kommen, die häufig bis zur Gasaustrittsstelle rückzünden. Des Weiteren ist Schwefelwasserstoff besonders giftig, in geringen Konzentrationen unangenehm riechend und umweltgefährlich. [2, 3]

Methan und Schwefelwasserstoff sind Gase, die bei Faulprozessen entstehen. Für die Entstehung beider Gase benötigen die jeweiligen Bakterien Wasserstoff. Die Bakterien konkurrieren um den Wasserstoff, wobei die Desulfurikanten (sulfatreduzierende Bakterien) den Methanbakterien gegenüber energetisch begünstigt sind. Eine Verminderung der Methanbildung kann die Folge sein. Des Weiteren wirkt Schwefelwasserstoff in höheren Konzentrationen toxisch auf Methanbakterien. [5]

Die im Oktober 2002 in Kraft getretene Betriebssicherheitsverordnung [7] sieht vor, dass der Arbeitgeber für Arbeitsmittel und Arbeitsabläufe in explosionsgefährdeten Bereichen die Erstellung eines Explosionsschutzdokumentes bis zum 31. Dezember 2005 sicherstellen musste. Die Erstellung eines Explosionsschutzdokumentes basiert auf einer Gefährdungsbeurteilung. Die explosionsgefährdeten Bereiche werden in Zonen unterteilt, die nach Häufigkeit und Dauer des Auftretens von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre unterschieden werden. In der folgenden Tabelle ist die Zoneneinteilung zusammengestellt. [7]

Tabelle 1: Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche [7]

Auftreten von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre	Brennbare Gase, Dämpfe oder Nebel im Gemisch mit Luft	Brennbare Stäube im Gemisch mit Luft
ständig, über lange Zeiträume oder häufig	Zone 0	Zone 20
bei Normalbetrieb gelegentlich	Zone 1	Zone 21
bei Normalbetrieb nicht oder aber nur kurzzeitig	Zone 2	Zone 22

In der Betriebssicherheitsverordnung werden die Begriffe *explosionsfähige Atmosphäre* und *gefährliche explosionsfähige Atmosphäre* wie folgt beschrieben [7]:

- Explosionsfähige Atmosphäre:
Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben unter atmosphärischen Bedingungen, in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Entzündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt.
- Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre:
Explosionsfähige Atmosphäre, die in einer solchen Menge (gefahrrohende Menge) auftritt, dass besondere Schutzmaßnahmen für die Aufrechterhaltung des Schutzes von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer und Anderer erforderlich werden.

Im Folgenden werden die brennbaren Stäube im Gemisch mit Luft nicht weiter betrachtet, sondern nur die Zonen 0 bis 2. Die Betriebssicherheitsverordnung beinhaltet Kriterien für die Auswahl von Geräten und Schutzsystemen in explosionsgefährdeten Bereichen. Sofern im Explosionsschutzdokument unter Zugrundelegung der Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung nichts anderes vorgesehen ist, sind in Abhängigkeit der Zonen folgende Kategorien von Geräten gemäß der Richtlinie 94/9/EG zu verwenden [7]:

- Zone 0: Geräte der Kategorie 1
- Zone 1: Geräte der Kategorie 1 oder der Kategorie 2
- Zone 2: Geräte der Kategorie 1, der Kategorie 2 oder der Kategorie 3

Die Kategorien bedingen Vorgaben hinsichtlich der Vermeidung von Zündquellen und der Oberflächentemperatur sowie bei Kategorie 1 und 2 zusätzlich hinsichtlich des Öffnens von Geräteteilen. So werden unterschiedliche Sicherheiten für verschiedene Anwendungsbereiche gewährleistet. [8]

In den Explosionsschutz-Regeln (GUV-R 104 Teil 1) werden Maßnahmen des Explosionsschutzes beschrieben, die nach folgender Aufteilung und Priorität unterschieden werden [4]:

- Maßnahmen, welche eine Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindern oder einschränken (Vermeiden explosionsfähiger Atmosphäre, E 1)
- Maßnahmen, welche die Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindern (Vermeiden wirksamer Zündquellen, E 2)
- Maßnahmen, welche die Auswirkungen einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken (Konstruktiver Explosionsschutz, E 3)

Im Folgenden ist das Ablaufschema zur Beurteilung der Explosionsgefährdung und Festlegung von Schutzmaßnahmen dargestellt.

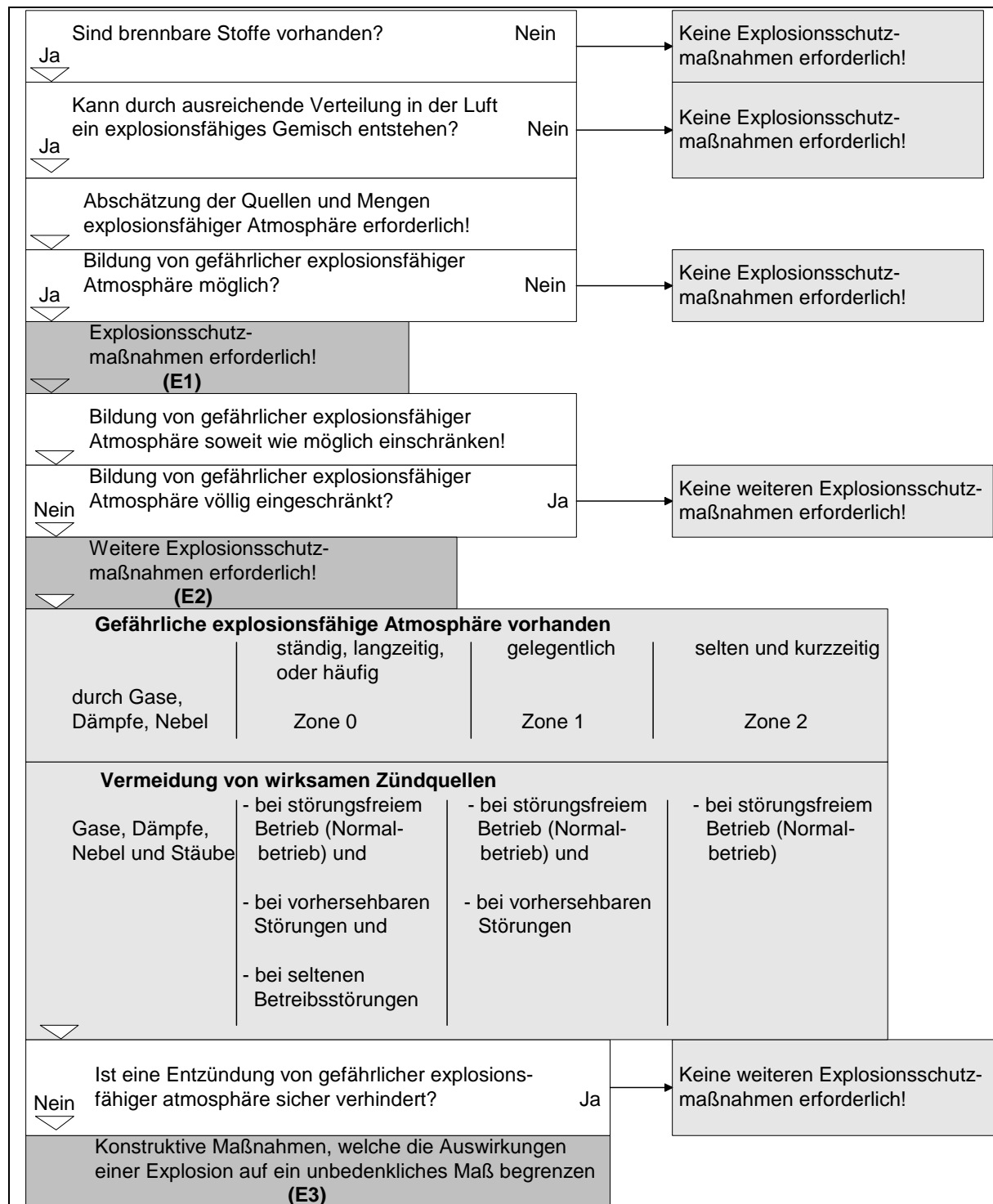


Abbildung 2: Ablaufschema – Explosionsgefährdung und Schutzmaßnahmen [4]

4 Projektverlauf

Nach Bewilligung des Vorhabens durch das MUNLV NRW mit Schreiben vom 24.01.2005 wurde im März 2005 das Gaswarnsystems WinPro® der Firma Winter GmbH in Auftrag gegeben. Zusätzlich wurden erste Vorbereitungen auf dem Prüffeld des PIA zur Installation der Messtechnik getroffen. Nach Erhalt des Gaswarnsystems und Beendigung der Vorarbeiten wurden im Juli 2005 die Messeinrichtungen in Betrieb genommen.

Die Vorgehensweise zur Durchführung der Untersuchungen auf dem Prüffeld des PIA war abhängig von den Prüfbedingungen für die untersuchten Kleinkläranlagen, da eine Beeinträchtigung der Prüfungen ausgeschlossen werden musste. Dieses bedingte einen nur eingeschränkten Zugriff auf die Kleinkläranlagen. Zunächst wurden orientierende Messungen zur Beurteilung der Messtechnik, der Vorgehensweise und der Auswahl von Kleinkläranlagen durchgeführt. Im November und Dezember 2005 erfolgte eine erste Datenaufbereitung. Zur Erweiterung der Untersuchungen wurde im Dezember 2005 ein Ergänzungsantrag an das MUNLV NRW zur Messung von Schwefelwasserstoffemissionen gestellt. Die aufbereiteten Daten wurden im Januar und Februar 2006 hinsichtlich der Methanbildung ausgewertet. Auf dieser Grundlage wurden ab April 2006 weitere Messungen auf dem Prüffeld des PIA durchgeführt. Im Juli 2006 waren aufgrund der hohen Außentemperaturen keine optimalen Messungen möglich, da Fehlermeldungen angezeigt wurden, die auf eine zu hohe Umgebungstemperatur der Messwertgeber zurückzuführen waren.

Methanmessungen unter realen Betriebsbedingungen erfolgten in Kleinkläranlagen im Kreis Düren. Die Untersuchungen wurden von September 2005 bis Oktober 2006 durchgeführt.

Im April 2006 wurde eine Versuchsanlage in Betrieb genommen, um nicht ordnungsgemäße Betriebszustände zu simulieren und Untersuchungen zu deren Auswirkungen und zur Anordnung der Messtechnik durchführen zu können. Im August 2006 wurde eine weitere Versuchsanlage in Betrieb genommen, in der zusätzlich Schwefelwasserstoffmessungen durchgeführt wurden. Ab Oktober 2006 stand nach Beendigung der Messungen vor Ort ausreichende Messtechnik auf dem Prüffeld zur Verfügung, so dass auch in der ersten Versuchsanlage ein Messwertgeber für Schwefelwasserstoff installiert werden konnte.

5 Gasmessungen – Durchführung und Darstellung der Ergebnisse

Zur Abschätzung des Explosionsrisikos wurden Gasmessungen in Kleinkläranlagen durchgeführt. Die Untersuchungen umfassten Methanmessungen in Kleinkläranlagen auf dem Prüffeld des PIA und vor Ort bei privaten Betreibern im Kreis Düren. Dieses ermöglichte einerseits die Ermittlung von Messdaten von Kleinkläranlagen unter Prüfbedingungen und andererseits von Kleinkläranlagen im realen Betrieb. Im Laufe des Projektes wurde aufgrund der vorhandenen Messdaten entschieden, zusätzlich eine Versuchsanlage in Betrieb zu nehmen, in der die Methanbildung forciert werden sollte. Das Vorkommen von Fehleinleitungen in die untersuchten Kleinkläranlagen wurde im Rahmen dieses Vorhabens nicht berücksichtigt.

Die vorhandene Messtechnik ermöglichte eine kontinuierliche Datenaufzeichnung. Die Erfassung der Messwerte erfolgte in der Regel alle 5 Minuten. Zur Beurteilung des gewählten Zeitintervalls wurde bei den Messungen auf dem Prüffeld des PIA vorübergehend ein Intervall von 30 Sekunden eingestellt. Da die Ergebnisse vergleichbar waren, wurde für die restlichen Untersuchungen ein Intervall von 5 Minuten gewählt.

Die Auswertung der aufgezeichneten Daten erfolgte über die Häufigkeit der Messwerte in verschiedenen Klassen. Die gewählte Klasseneinteilung für Methan orientiert sich an den Vorgaben für Alarmschwellen von Gaswarnanlagen [1]:

0 bis 10% UEG CH₄

10 bis 20% UEG CH₄

20 bis 50% UEG CH₄

50 bis 100% UEG CH₄

Der Bereich von 0 bis 10% UEG ist als unkritisch anzusehen. Zwischen 10 und 20% UEG können ggf. Maßnahmen zur Verhinderung der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre getroffen werden, über 20% UEG sollten diese Maßnahmen erfolgen. Über 50% UEG sollten ggf. diese Maßnahmen erweitert werden und eine Abschaltung aller nicht explosionsgeschützten elektrischen Anlagen und Betriebsmittel erfolgen [1].

Für Schwefelwasserstoff wurden folgende Klassen gewählt:

0 bis 10 ppm H₂S

10 bis 50 ppm H₂S

> 50 ppm H₂S

Der MAK-Wert (maximale Arbeitsplatzkonzentration) für Schwefelwasserstoff liegt bei 10 ppm [2]. Daher kann der Bereich von 0 bis 10 ppm als unkritisch angesehen werden. Der Bereich von 10 bis 50 ppm stellt keine Gefahr dar, wenn die Belastung nicht dauerhaft ist. Bei Konzentrationen ab 50 ppm kann es zu Reizungen der Augen und Atemwege nach rund 60 Minuten kommen. Die gesundheitlichen Auswirkungen von Schwefelwasserstoff reichen bis zum schlagartig eintretenden Tod nach wenigen Sekunden bei Konzentrationen über 5.000 ppm. [3]

5.1 Beschreibung der Messeinrichtungen

Für die Gasmessungen auf dem Prüffeld des PIA wurde das Gaswarnsystem WinPro® der Firma Winter GmbH eingesetzt. Das System besteht aus einer stationären Messzentrale, die eine kontinuierliche Aufzeichnung der Daten ermöglicht, und den Messwertgebern für Methan- und Schwefelwasserstoffmessungen, die an die Messzentrale angeschlossen werden. Für die Methanmessungen in Kleinkläranlagen vor Ort wurde eine mobile Messzentrale eingesetzt, die dem Gaswarnsystem der stationären Messzentrale des Prüffeldes entspricht.

Die Messwertgeber für Methanmessungen basieren auf dem Prinzip der optischen Detektion von Gasen über Infrarotfrequenzen. Die Sensoren sind für einen Standardmessbereich von 0 bis 100% der unteren Explosionsgrenze (UEG) ausgelegt. Die untere Explosionsgrenze entspricht der unteren Grenze des Explosionsbereiches von 4,4 Vol% Methan in Luft. In der folgenden Abbildung ist das Messprinzip der Methan-Messwertgeber dargestellt.

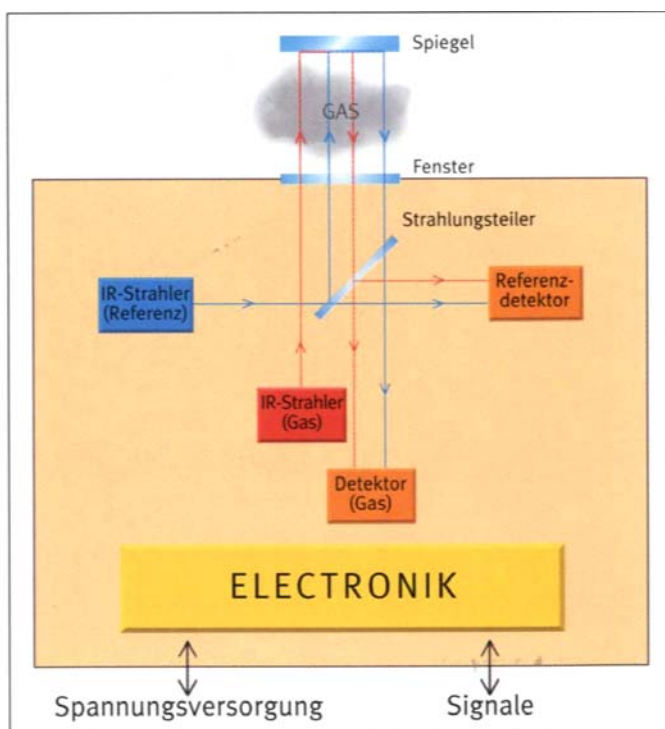


Abbildung 3: Messprinzip der Methan-Messwertgeber [9]

Die Messwertgeber für Schwefelwasserstoff basieren auf dem elektrochemischen Messprinzip. Der Messbereich der Sensoren umfasst 0 bis 200 ppm. In Tabelle 2 sind einige technische Daten der Messwertgeber für Methan und Schwefelwasserstoff dargestellt.

Tabelle 2: Technische Daten der Messwertgeber – Methan und Schwefelwasserstoff [9, 10]

	CH₄-Messwertgeber	H₂S-Messwertgeber
Messprinzip	Optisch: Infrarot-Absorption	Elektrochemische Reaktion (Oxidation oder Reduktion)
Messbereich	0 -100% UEG CH ₄	0 – 200 ppm H ₂ S
Genauigkeit	± 3% UEG	k. A.
Feuchte	0 – 99% rel. Luftfeuchtigkeit	15 – 90% rel. Luftfeuchtigkeit
Umgebungstemperatur des Sensors	- 25°C bis + 55°C	- 25°C bis + 50°C

Die Messwertgeber für Methan wurden an speziell angefertigten Deckeln aus Plexiglas befestigt. Diese Deckel sollten die Möglichkeit geben, Sichtkontrollen durchzuführen, ohne den Deckel öffnen zu müssen. Die Sensoren mussten zudem luftdurchlässig mit einem Fliegengitternetz gegen Insekten geschützt werden, da diese die optische Detektion beeinflussen können. Für die Messungen auf dem Prüffeld sowie vor Ort wurden die gleichen Deckel genutzt. Diese Deckel wurden jeweils anstelle der Originalabdeckung auf die Kleinkläranlagen gelegt. Es wurde darauf geachtet, dass ursprüngliche Entlüftungsöffnungen beibehalten wurden. Die Sensoren wurden an den Deckeln der Kleinkläranlagen angeordnet, da Methan eine geringere Dichte als Luft hat.



Abbildung 4: Deckel mit CH₄-Sensor



Abbildung 5: Insektenschutz des CH₄-Sensors

Zusätzlich zu den vorhandenen Deckeln wurde für die Versuchsanlage 1 der in Abbildung 6 dargestellte Deckel erstellt, an dem zwei Messwertgeber für Methan befestigt wurden. So war es möglich, Messungen von Methan in unterschiedlichen Höhen durchzuführen. Für die später begonnenen Schwefelwasserstoffmessungen in der Versuchsanlage 1 wurde der entsprechende Messwertgeber nachträglich ebenfalls an den Deckel montiert. Der Schwefelwasserstoffsensor für die Versuchsanlage 2 wurde wie in Abbildung 7 dargestellt installiert. Die Sensoren für Schwefelwasserstoff wurden in der Nähe der Wasseroberfläche angeordnet, da Schwefelwasserstoff eine größere Dichte als Luft hat.

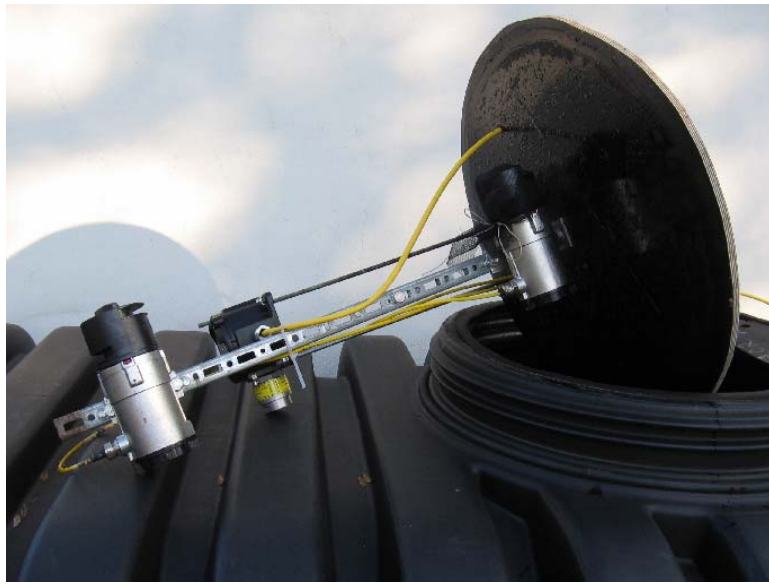


Abbildung 6:
Deckel Versuchsanlage 1
– Methan-Sensoren



Abbildung 7:
H₂S-Sensor in der Ver-
suchsanlage

5.2 Methanmessungen in Kleinkläranlagen auf dem Prüffeld des PIA

Das Prüffeld des PIA bietet die Möglichkeit, in verschiedenen Kleinkläranlagen Methanmessungen durchzuführen. Die Anlagen auf dem Prüffeld des PIA werden aufgrund des Prüfbetriebes von Fachpersonal kontrolliert. Die Untersuchungen fanden mit dem Einverständnis der Hersteller statt.

5.2.1 Durchführung der Messungen

Die Methanmessungen in den verschiedenen Kleinkläranlagen auf dem Prüffeld des PIA erfolgten über einen Zeitraum von mehreren Monaten, in denen die Daten kontinuierlich aufgezeichnet werden konnten. Eine Beeinträchtigung der Prüfverfahren musste ausgeschlossen werden. Für die Kontrollen an den Anlagen und Probenahmen im Rahmen der Prüfungen war die Sichtmöglichkeit durch die Plexiglasdeckel nicht immer ausreichend, so dass die Deckel mindestens einmal pro Woche geöffnet werden mussten. Die Zeiten der Öffnungen wurden notiert.

Bei der Auswahl der Kleinkläranlagen war die praktische Umsetzung der Installation der Messtechnik ein entscheidendes Kriterium. Da durch die Messungen der Betrieb nicht beeinflusst werden durfte, mussten die gegebenen Randbedingungen eingehalten werden. So war es z. B nicht möglich, Behälter zu untersuchen, die viele Zuluftöffnungen im Deckel vorsehen.

5.2.2 Darstellung der Ergebnisse

In der folgenden Tabelle sind die untersuchten Anlagen und der jeweilige Anlagentyp sowie die entsprechenden Untersuchungszeiträume dargestellt. Aus Gründen der gebotenen Anonymisierung der untersuchten Kleinkläranlagen ist eine genauere Angabe des Untersuchungszeitraumes nicht möglich.

Tabelle 3: Untersuchte Anlagen – Prüffeld

Nr.	Anlagentyp	Untersuchungszeitraum	
		Monate	Jahreszeiten
1	Vorklärung	1	Sommer
2	Vorklärung	1	Winter
3	Vorklärung	3	Winter
4	Vorklärung	4	Sommer / Herbst
5	Vorklärung	4	Sommer / Herbst
6	Vorklärung	6	Sommer / Herbst / Winter
7	SBR-Anlage	1	Sommer
8	SBR-Anlage	4	Sommer / Herbst
9	SBR-Anlage	4	Sommer / Herbst
10	Festbett-Anlage	1	Sommer
11	Festbett-Anlage	6	Sommer / Herbst / Winter
12	Festbett-Anlage	6	Sommer / Herbst / Winter
13	MBR-Anlage	2	Herbst / Winter
14	MBR-Anlage	5	Sommer / Herbst / Winter
15	MBR-Anlage	6	Sommer / Herbst / Winter
16	Tropfkörper	1	Winter

In der folgenden Abbildung sind die Häufigkeiten der Messwerte aller auf dem Prüffeld des PIA untersuchten Anlagen für die gewählte Klasseneinteilung für Methan zusammengestellt.

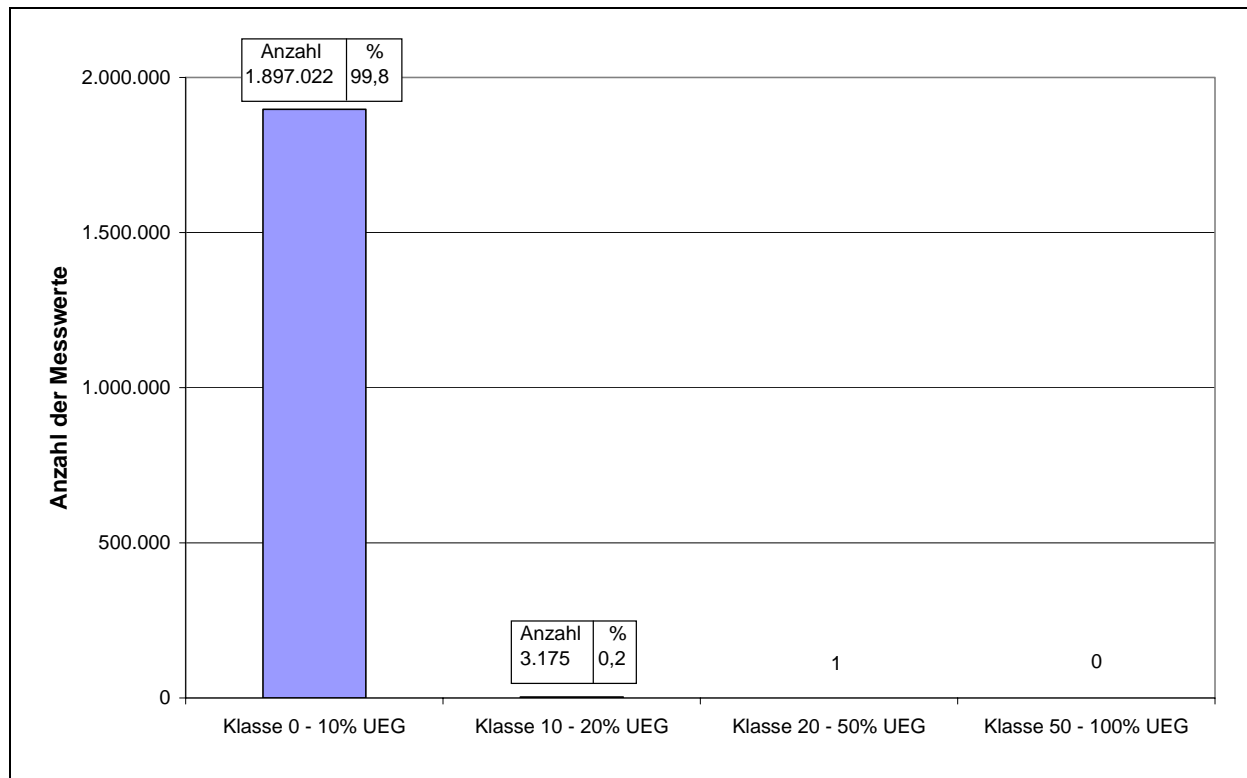


Abbildung 8: Häufigkeit der Messwerte – Methan Prüffeld

Die Abbildung zeigt, dass nahezu alle Messwerte im Bereich unter 10% UEG lagen. Der Anteil der Messwerte größer 10% UEG entspricht 0,2% der Gesamtanzahl der Messwerte. Der maximale Messwert dieser Untersuchungen betrug 21,9% UEG.

In der folgenden Tabelle sind die Häufigkeiten, unterschieden nach den verschiedenen untersuchten Anlagentypen, dargestellt.

Tabelle 4: Häufigkeit der Messwerte für verschiedene Anlagentypen – Methan Prüffeld

Anlagentyp	Anzahl	Maximaler Messwert	Anzahl der Messwerte				Summe
			0 – 10 % UEG	10 – 20 % UEG	20 – 50 % UEG	50 – 100 % UEG	
		[% UEG]					
Vorklärung	6	14,3	515.045	3.099	0	0	518.145
SBR	3	17,3	128.092	27	0	0	128.119
Festbett	3	21,9	519.070	49	1	0	519.120
MBR	3	6,4	660.421	0	0	0	660.421
Tropfkörper	1	1,6	73.394	0	0	0	74.394
Summe			1.897.022	3.175	1	0	1.900.198

Die Tabelle zeigt, dass bei den untersuchten Kleinkläranlagensystemen Membran- und Tropfkörperanlagen, die in der Regel einen separaten Behälter für die Vorklärung aufweisen, keine Messwerte über 10% UEG gemessen wurden. Der maximale Messwert betrug 6,4% UEG.

Die untersuchten Kleinkläranlagentypen SBR und Festbett bestanden aus einem Behälter, in dem die Reinigungsschritte Vorklärung, Biologie und Nachklärung ablaufen. Die überwiegende Anzahl an Messwerten wurde auch hier im Bereich kleiner 10% UEG gemessen. Es gab jedoch auch Überschreitungen der 10% UEG. In der Klasse 10 bis 20% UEG wurden 76 Werte gemessen, dies entspricht ca. 0,01% der gesamten Messwerte. Eine explosionsfähige Atmosphäre wurde nicht beobachtet. Der maximale Messwert betrug 21,9% UEG.

Die untersuchten Vorklärungen bestanden jeweils aus einem separaten Behälter. Auch hier wurde der überwiegende Teil der Werte im Bereich 0 bis 10% UEG gemessen. Allerdings lagen 3.099 Messwerte zwischen 10 und 20% UEG, das ent-

spricht ca. 0,6% der gesamten Messwerte. Der maximale Messwert betrug 14,3% UEG. Von diesen 3.099 Messwerten der Klasse von 10 bis 20% UEG, die in den sechs untersuchten Vorklärunen gemessen wurden, wurden 3.086 Messwerte in der Anlage 2 gemessen.

In den folgenden beiden Abbildungen sind die Verläufe der Messwerte von zwei verschiedenen Anlagen jeweils über den gesamten Untersuchungszeitraum dargestellt. Ausgewählt wurden die Anlagen 4 und 5. Beide Anlagen waren Vorklärunen und der Untersuchungszeitraum war identisch.

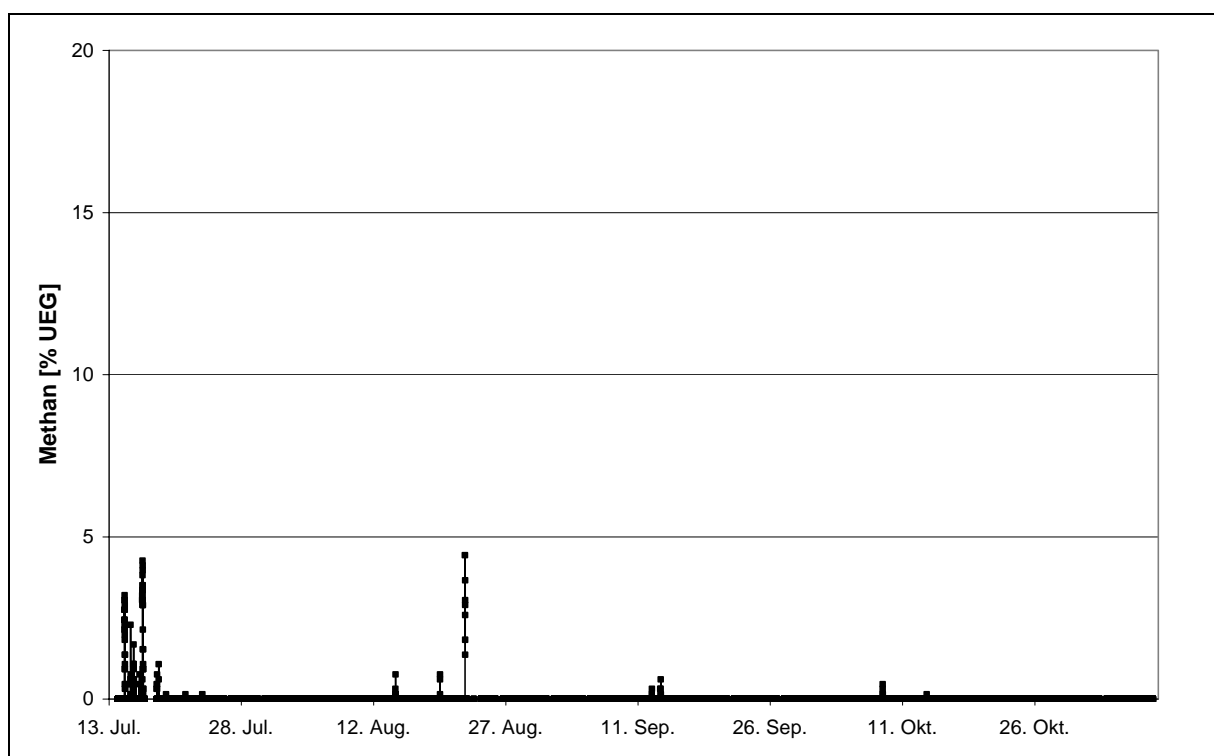


Abbildung 9: Verlauf der Messwerte – Methan Anlage 5 Prüffeld

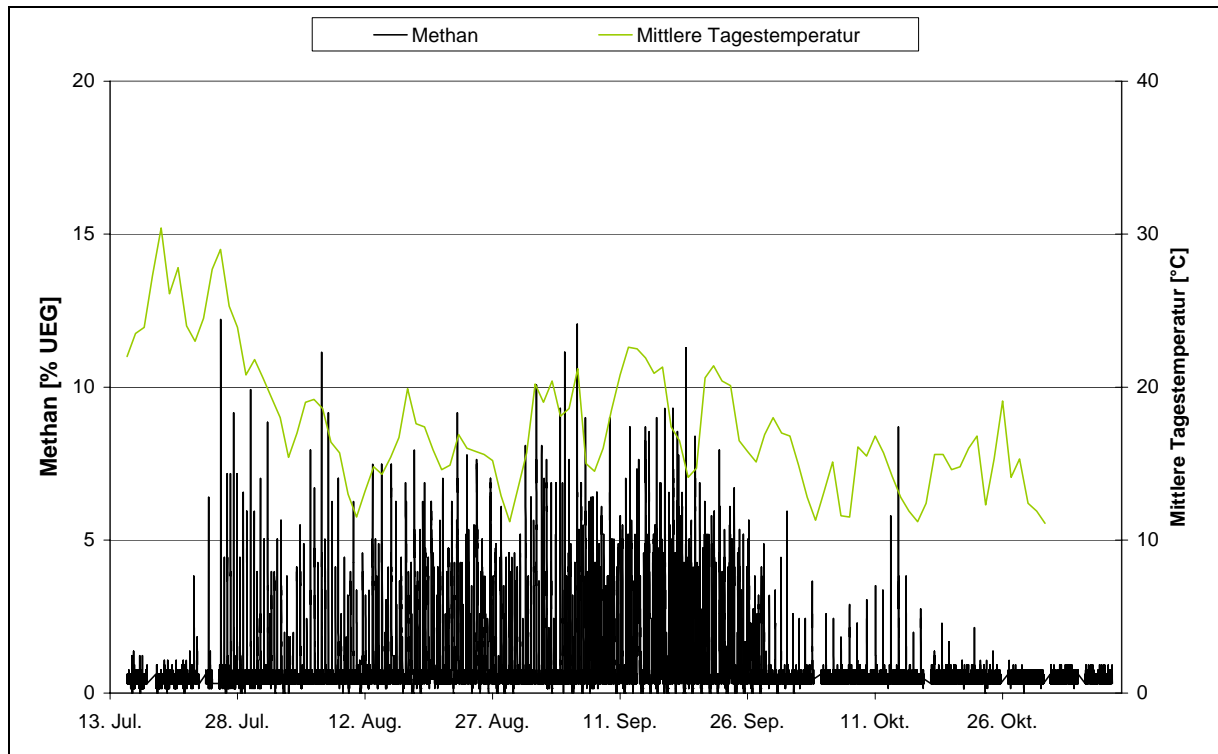


Abbildung 10: Verlauf der Messwerte – Methan Anlage 4 Prüffeld

Die Abbildungen zeigen, dass in Anlage 5 nahezu keine Methanbildung zu beobachten war. In Anlage 4 hingegen waren Methanbildungen zu beobachten, die hauptsächlich im Bereich 0 bis 5% UEG und vereinzelt, aber regelmäßig im Bereich 5 bis 10% UEG lagen. Einige Werte haben die 10% UEG auch überschritten. In der folgenden Abbildung ist ein siebentägiger Auszug aus dem Untersuchungszeitraum der Anlage 4 dargestellt, der die Regelmäßigkeit der Methanbildungen in dieser Anlage verdeutlicht.

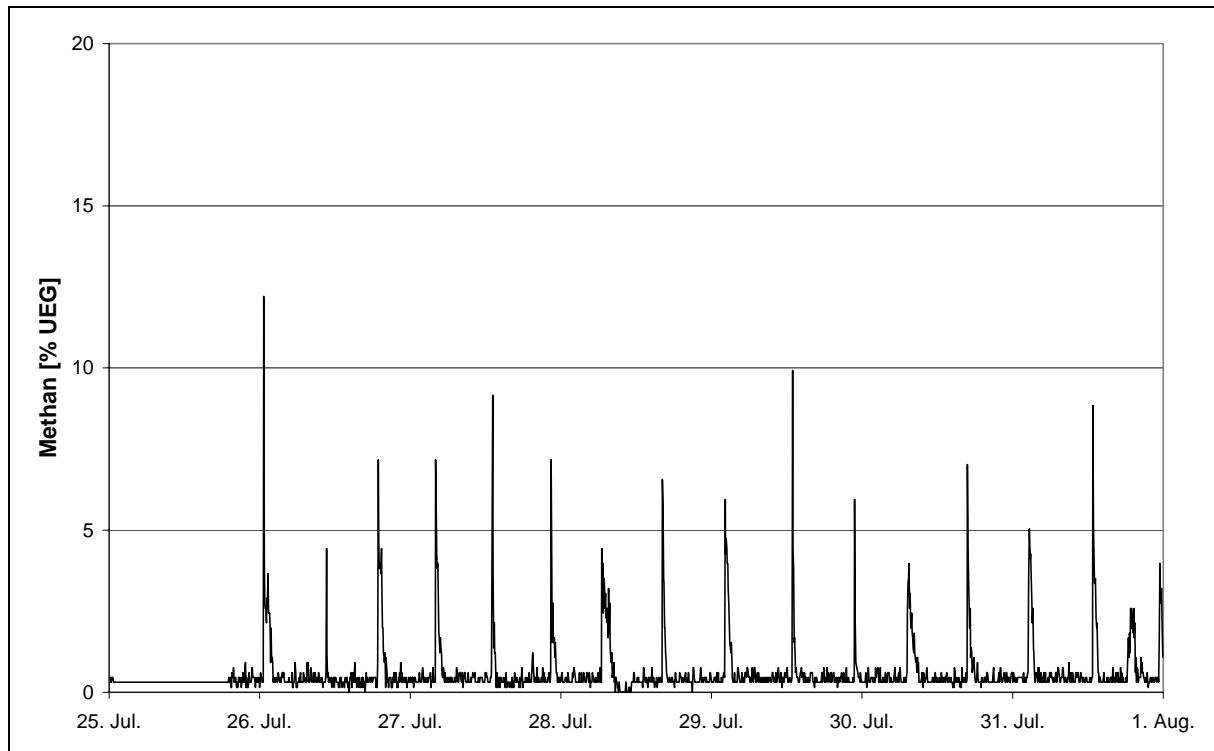


Abbildung 11: Verlauf der Messwerte (Auszug) – Methan Anlage 4 Prüffeld

Es gab Phasen mit unterschiedlichen Zeitabständen der Spitzen. Es war jedoch nicht möglich die Ursachen dieser Spitzen zu bestimmen.

Im Folgenden wird die Anlage 2 näher betrachtet, da in dieser Anlage Methanbildungen zu beobachten waren und weitere Untersuchungen durchgeführt wurden. Das Prüfverfahren der Anlage 2 war nach dem Untersuchungszeitraum von einem Monat beendet. Die Anlage konnte jedoch noch einen weiteren Monat auf dem Prüffeld des PIA verbleiben. Da hauptsächlich in dieser Anlage Methan gemessen wurde, wurde der zusätzliche Zeitraum für weitere Untersuchungen genutzt. Für diese Untersuchungen wurde die Be- und Entlüftung der Vorklärung weitgehend abgedichtet, um den Einfluss der Betriebsbedingungen zu ermitteln. Der prozentuale Vergleich der beiden Untersuchungsphasen ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

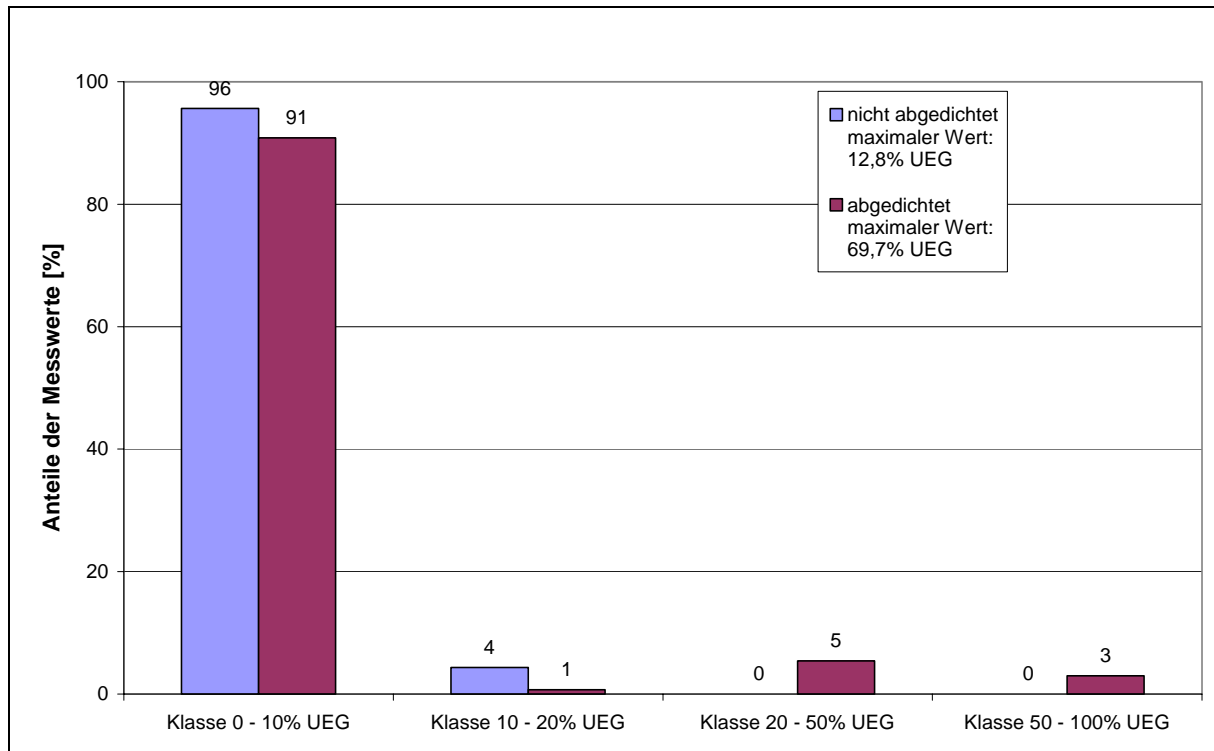


Abbildung 12: Vergleich nicht abgedichtet / abgedichtet – Methan Prüffeld Anlage 2

Die Abbildung zeigt, dass sich nach der Abdichtung der Anlage zum einen die prozentuale Häufigkeit der Messwerte über 10% UEG erhöhte und zum anderen die Verteilung in den verschiedenen Klassen änderte. Nach der Abdichtung wurden häufiger Messwerte über 20% UEG gemessen. Der Vergleich der maximalen Messwerte zeigt ebenfalls das erhöhte Gefährdungspotential. In beiden Untersuchungsphasen waren nicht nur einzelne Spitzen, sondern auch Phasen mit kontinuierlich erhöhten Methangehalten über 10 bzw. 20% UEG zu beobachten.

Die Untersuchungen in verschiedenen Kleinkläranlagen auf dem Prüffeld des PIA haben gezeigt, dass im normalen Betrieb nur eine geringe Methanbildung zu beobachten war. Der überwiegende Anteil der gemessenen Werte lag im Bereich unter 10% UEG. Bei den Messwerten, die über 10% UEG lagen, handelte es sich um kurze, regelmäßige Spitzen und keine dauerhafte Erhöhung des Methangehaltes. Lediglich in einer Anlage waren Phasen mit einer nahezu konstanten Erhöhung des Methangehaltes in dem Bereich 10 bis 20% UEG zu beobachten. Eine Einschränkung

der Be- und Entlüftung dieser Anlage hatte einen weiteren Anstieg der gemessenen Werte bis zu einem Maximalwert von nahezu 70% UEG zur Folge.

5.3 Methanmessungen in Kleinkläranlagen vor Ort

Die Methanmessungen in Kleinkläranlagen vor Ort dienen der Abschätzung des Explosionsrisikos, das von Anlagen mit privaten Betreibern ausgeht. Diese Untersuchungen ermöglichten näherungsweise die Verhältnisse der Methanbildung in Kleinkläranlagen, die unter realen Bedingungen betrieben werden, darzustellen.

In Absprache mit dem Amt für Wasser, Abfall und Umwelt der Kreisverwaltung Düren wurden Kleinkläranlagen innerhalb des Kreisgebietes ausgewählt. Bei der Auswahl wurden die gängigsten Abwasserreinigungssysteme, die in Kleinkläranlagen eingesetzt werden, berücksichtigt. Anschließend wurden die Betreiber um ihre Einverständniserklärung zur freiwilligen Teilnahme an den Untersuchungen in ihrer Kleinkläranlage im Rahmen des Forschungsprojektes gebeten.

5.3.1 Durchführung der Messungen

Die Untersuchungen wurden über einen Zeitraum von mindestens fünf Tagen je Kleinkläranlage durchgeführt. Aufgrund der vorhandenen Messtechnik war eine kontinuierliche Erfassung des Methangehaltes in der Umgebungsluft innerhalb der untersuchten Kleinkläranlagen über 24 Stunden täglich möglich. Bei der Installation der Messtechnik wurde besonders auf die Nachbildung des Zustandes während des Normalbetriebes geachtet. Es wurden nur die Behälter untersucht, bei denen dies in der praktischen Umsetzung möglich war. Zu Beginn jeder Messung wurde Prüfgas auf den Messwertgeber aufgegeben und bei Bedarf erfolgte eine Kalibrierung. Während des Untersuchungszeitraumes wurden die Deckel der Kleinkläranlagen nicht geöffnet.



Abbildung 13:
Installation der
Messtechnik
vor Ort



Abbildung 14:
Installierte
Messtechnik
vor Ort

5.3.2 Darstellung der Ergebnisse

In der folgenden Tabelle sind die untersuchten Anlagen und der jeweilige Anlagentyp, einschließlich der Anlagengröße und der tatsächlichen Einwohner, sowie die entsprechenden Untersuchungszeiträume dargestellt.

Tabelle 5: Untersuchte Anlagen – vor Ort

Nr.	Anlagentyp	Anlagen- größe [EW]	Tatsächliche Einwohner	Untersuchungszeitraum	
				von	bis
1	Festbett	8	3	13.09.2005	19.09.2005
2	Festbett	12	5	11.11.2005	17.11.2005
3	Ausfaulgrube	8	3	29.11.2005	05.12.2005
4	Ausfaulgrube	4	3	26.01.2006	02.02.2006
5	Absetzgrube (Tropfkörper)	4	3	16.02.2006	22.02.2006
6	Absetzgrube (Tropfkörper)	8	4	24.08.2006	31.08.2006
7	Ausfaulgrube	4	4	31.08.2006	07.09.2006
8	Ausfaulgrube (Tropfkörper)	4	3	10.10.2006	16.10.2006

In der folgenden Abbildung sind die Verläufe der Messwerte der untersuchten Anlagen 1 bis 5 beispielhaft dargestellt. Die Messwerte der Anlagen 6 bis 8 verlaufen wie die Messwerte der Anlagen 2 bis 5.

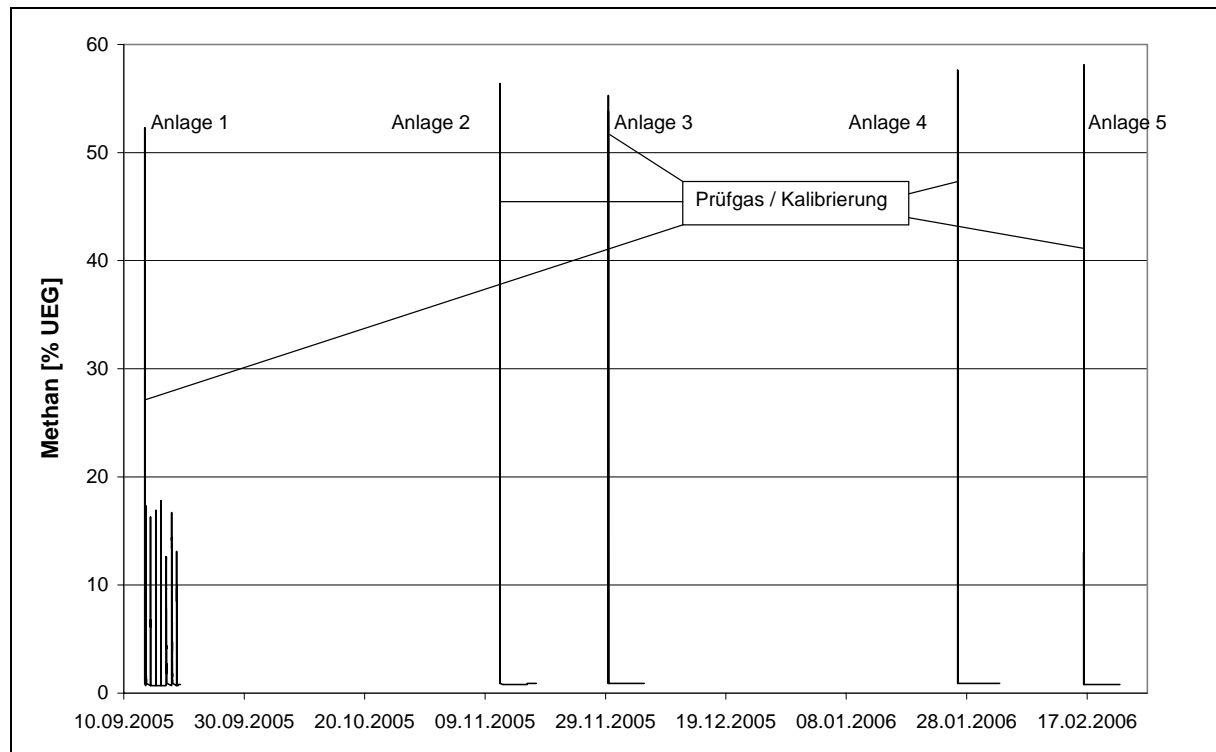


Abbildung 15: Darstellung der Messungen vor Ort – Anlage 1 bis 5

Die Abbildung zeigt, dass nur in einer Anlage Methan gemessen wurde. Die maximalen Werte in den Darstellungen beschreiben das Aufgeben von Prüfgas auf die Messwertgeber und ggf. deren Kalibrierung jeweils zu Beginn der Untersuchungen. Da in den Anlagen 2 bis 8 kein Methan gemessen wurde, werden nur die Daten der Anlage 1 näher betrachtet. In der folgenden Abbildung sind zunächst die Häufigkeiten der Messwerte für die verschiedenen Klassen dargestellt. Die Auswertung erfolgte nach der gewählten Klasseneinteilung für Methan. Die Klassen größer 20% UEG sind nicht dargestellt, da keine Werte in diesem Bereich gemessen wurden.

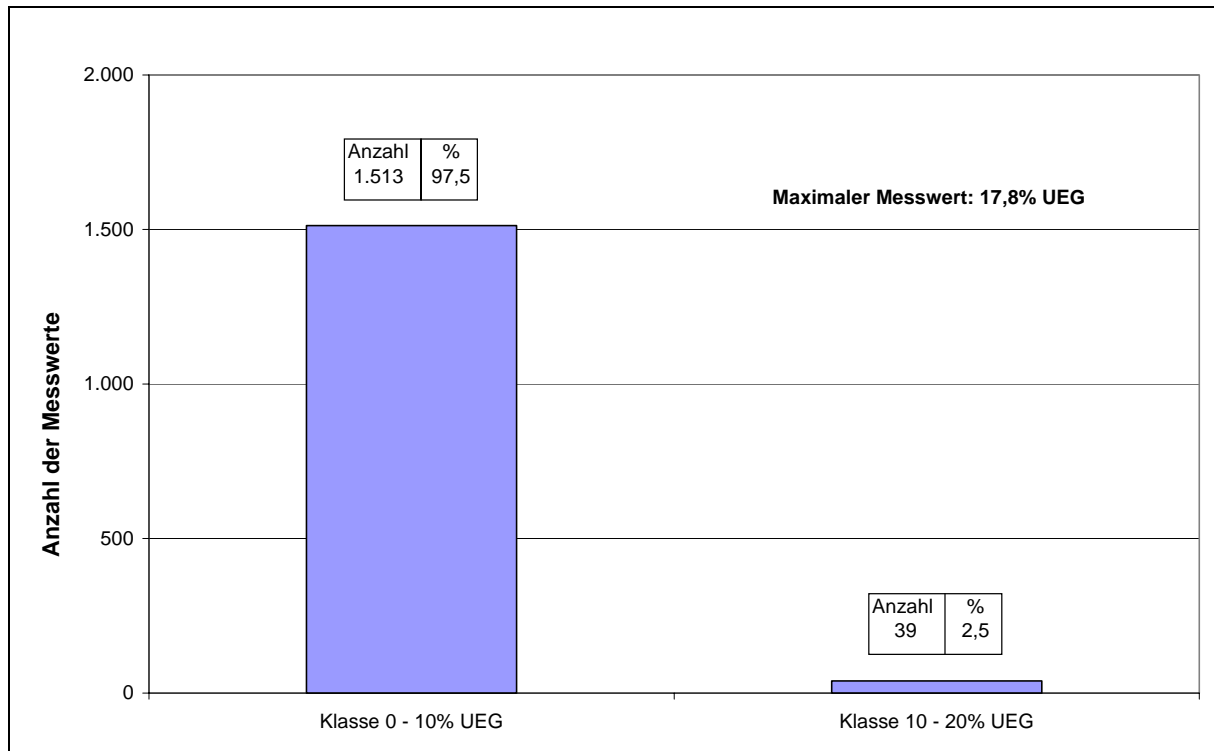


Abbildung 16: Häufigkeit der Messwerte – Methan Anlage 1 vor Ort

Die Abbildung zeigt, dass hauptsächlich Werte im Bereich kleiner 10% UEG gemessen wurden. In der Klasse 10 bis 20% UEG wurden 39 Werte gemessen, das entspricht ca. 2,5% der gesamten Messwerte. Der maximale Messwert betrug 17,8% UEG. Zur weiteren Auswertung der Untersuchung wird der Verlauf der Messwerte über den gesamten Untersuchungszeitraum betrachtet, der in der folgenden Abbildung dargestellt ist.

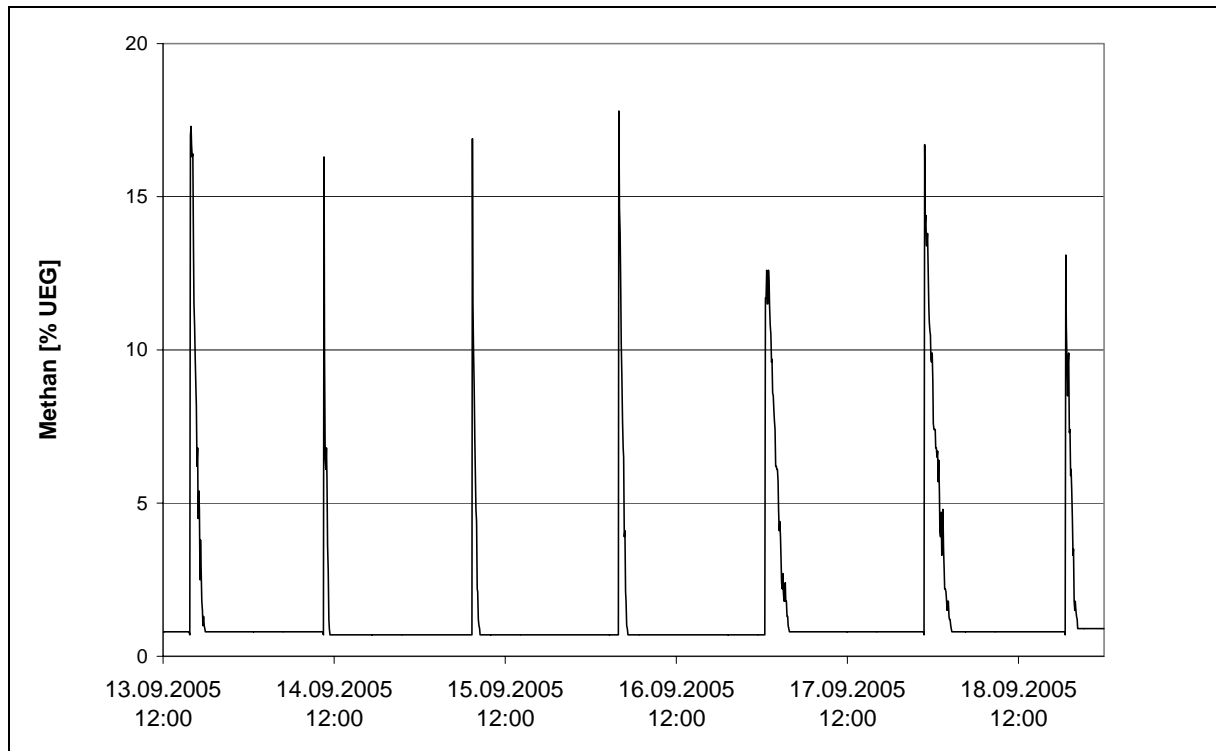


Abbildung 17: Verlauf der Messwerte – Methan Anlage 1 vor Ort

Die Abbildung zeigt, dass die Messwerte der Klasse 10 bis 20% UEG nicht über einen längeren zusammenhängenden Zeitraum, sondern in kurzen Spitzen gemessen wurden. Diese Spitzen waren in regelmäßigen Abständen von ca. 20 Stunden zu beobachten. Es war jedoch nicht möglich die Ursachen dieser Spitzen zu bestimmen.

Bei den Untersuchungen in verschiedenen Kleinkläranlagen vor Ort bei Betreibern im Kreis Düren wurde in sieben der acht untersuchten Anlagen keine Methanbildung beobachtet. Lediglich eine Anlage wies ein geringes Potential hinsichtlich der Gasbildung auf.

5.4 Gasmessungen in Versuchsanlage 1 auf dem Prüffeld des PIA

Die Datenauswertung nach ersten orientierenden Messungen in Kleinkläranlagen auf dem Prüffeld des PIA hatte ergeben, dass nur eine sehr geringe Methanbildung zu beobachten war. Daraufhin wurde entschieden, zusätzlich zu den im Projektantrag beschriebenen Untersuchungen, eine Versuchsanlage in Betrieb zu nehmen, in der nicht ordnungsgemäße Betriebszustände simuliert wurden und Untersuchungen zu deren Auswirkungen und zur Anordnung der Messtechnik durchgeführt werden konnten.

5.4.1 Aufbau der Versuchsanlage 1

Für die Versuchsanlage stand der in Abbildung 18 dargestellte Tank zur Verfügung. Alle Öffnungen des Tanks wurden geschlossen und weitgehend abgedichtet. Die Zulaufleitung wurde unter die Wasseroberfläche geführt. Der Tank war nicht in die Erde eingelassen, so dass der Temperatureinfluss beobachtet werden konnte.



Abbildung 18: Versuchsanlage 1

Der Tank hat ein Gesamtvolumen von $1,9 \text{ m}^3$. Aufgrund des Einsatzes zweier Messwertgeber für Methan in unterschiedlichen Höhen wurde der Tank nur bis zu einer

Höhe von ca. 0,3 m mit Rohabwasser befüllt. Daraus ergibt sich eine Abwassermenge von ca. $0,6 \text{ m}^3$.

Methan hat eine geringere Dichte als Luft und sollte somit nach oben steigen. Faulgas stellt jedoch ein homogenes Gemisch aus verschiedenen Gasen dar, das sich in der Praxis wegen der häufigen Mischungsvorgänge nicht immer nach unterschiedlichen Dichten trennt [1]. Daher wurden Versuche zur Anordnung der Messstellen gemacht. Es wurden zwei Methansensoren in unterschiedlichen Höhen (0,14 und 0,74 m unter Deckelunterkante) installiert (s. Abbildung 19).

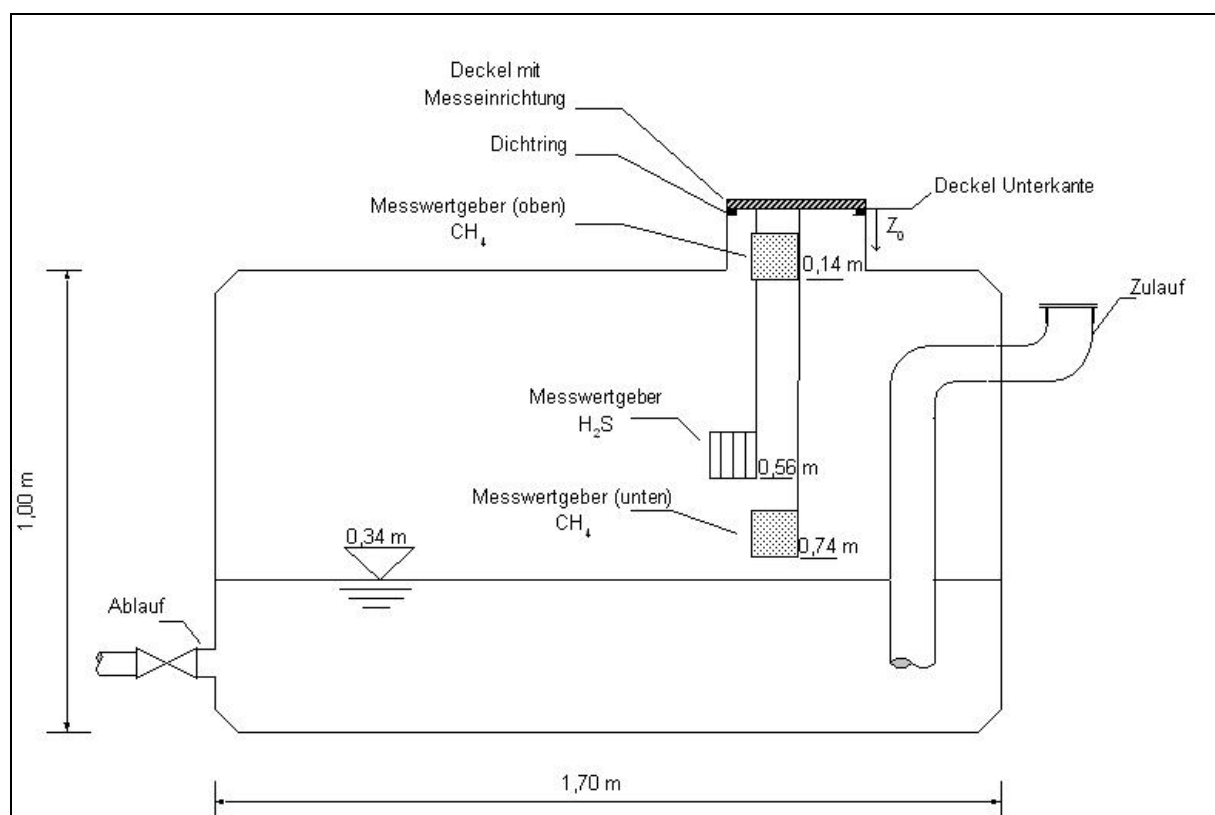


Abbildung 19: Schnitt Versuchsanlage 1

5.4.2 Durchführung der Messungen

Die Versuchsanlage wurde über einen Zeitraum von sieben Monaten betrieben und die Daten kontinuierlich aufgezeichnet. Im August 2006 gab es technische Schwierigkeiten bei der Datenaufzeichnung, so dass für einen Zeitraum von einem Monat keine Daten vorliegen. Der Betrieb der Versuchsanlage erfolgte über einen längeren Zeitraum unter Bedingungen, die eine Methanbildung forcieren sollten.

In der Versuchsanlage befanden sich ca. 600 Liter Rohabwasser. In den ersten 2 Monaten des Untersuchungszeitraumes wurde dreimal pro Woche manuell jeweils 50 Liter Abwasser aus dem Tank abgelassen und 50 Liter frisches Abwasser zugefüllt, anschließend wurde einmal pro Woche 50 Liter Abwasser ausgetauscht. Aufgrund des Zulaufstutzens war zur Befüllung des Tanks ein Öffnen des Deckels nicht erforderlich.

Nach Beendigung der Messungen an Anlagen vor Ort (Kreis Düren) konnte die mobile Messzentrale für die Versuchsanlage genutzt werden, so dass auch hier Schwefelwasserstoffmessungen durchgeführt werden konnten.

5.4.3 Darstellung der Ergebnisse

Für die Auswertung der Methanmessungen werden die Verläufe der Messwerte der beiden installierten Methansensoren und die mittleren Tagestemperaturen betrachtet. Im Folgenden sind verschiedene Phasen der Untersuchungen dargestellt.

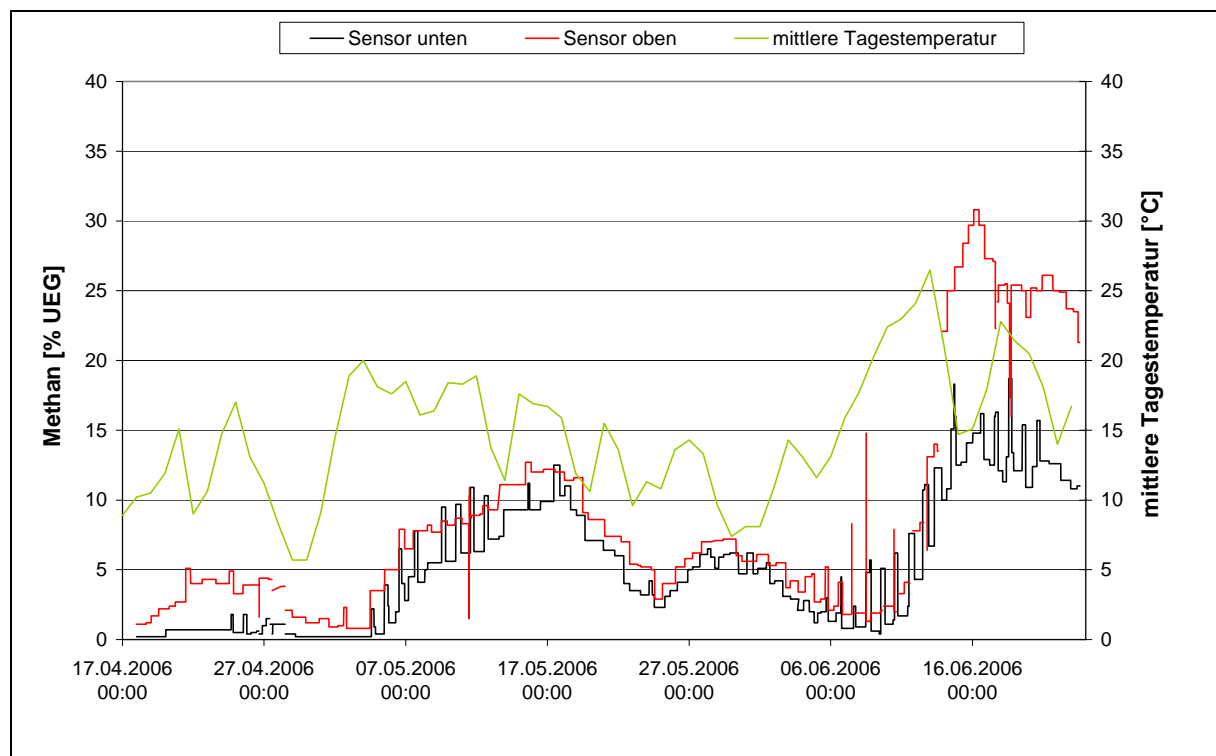


Abbildung 20: Startphase – Methan Versuchsanlage 1

Die Abbildung zeigt die Methanbildung zu Beginn der Untersuchungen. Es wird deutlich, dass die Methanbildung temperaturabhängig ist. In der folgenden Abbildung ist die Phase der maximalen Methanbelastungen dargestellt, die im Rahmen der Datenaufzeichnung ermittelt werden konnte.

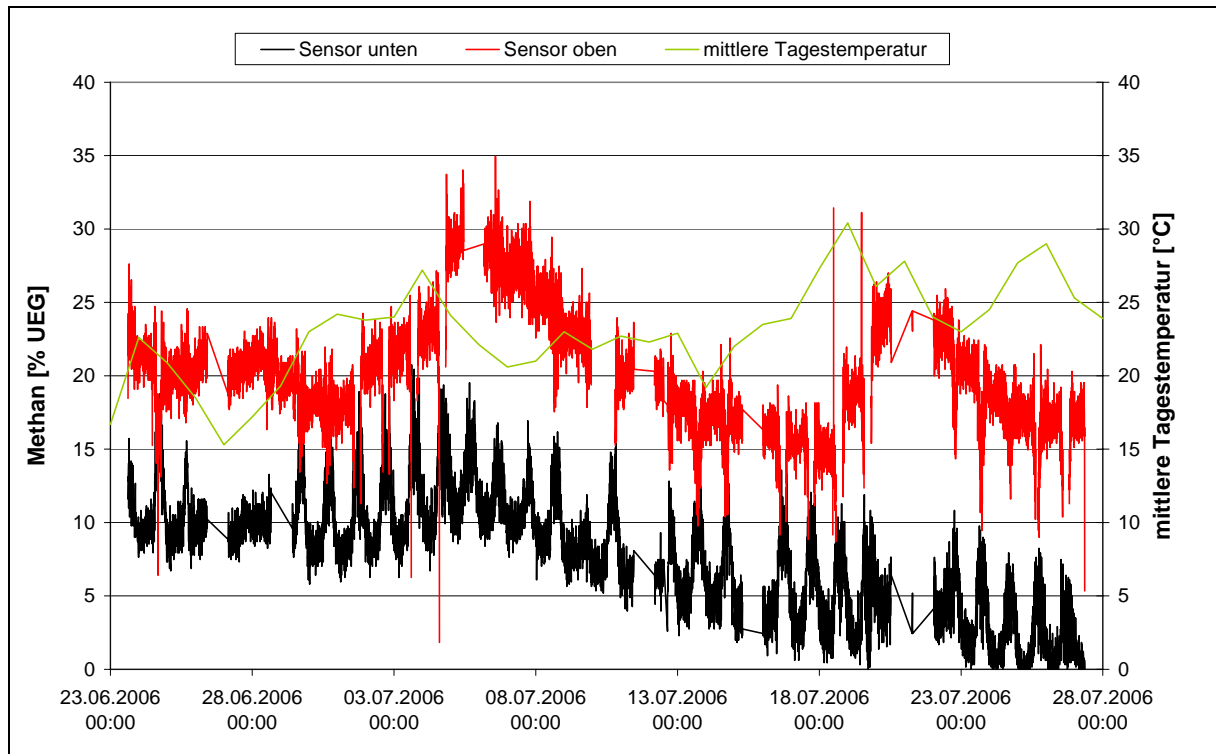


Abbildung 21: Maximalbelastung – Methan Versuchsanlage 1

Auch in dieser Abbildung wird der Einfluss der Temperatur auf die Methanbildung deutlich. Weiterhin zeigt die Abbildung, dass im oberen Bereich des Tanks höhere Methankonzentrationen zu beobachten waren.

Aufgrund technischer Schwierigkeiten erfolgte vom 27.07.2006 bis zum 29.08.2006 keine Datenaufzeichnung. In der folgenden Abbildung ist der Verlauf der Messwerte nach diesem Zeitraum beispielhaft dargestellt.



Abbildung 22: Stationärer Zustand – Methan Versuchsanlage 1

Die Abbildung 22 zeigt, dass sich ein stationärer Zustand eingestellt hat. Im Bereich des unteren Sensors wurde kein Methan mehr gemessen. Im Bereich des oberen Sensors wurde ein konstanter Methangehalt von ca. 10% UEG festgestellt. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen, die bis November 2006 durchgeführt wurden, wurde ebenfalls dieser stationäre Zustand beobachtet. Lediglich die Werte des oberen Sensors sanken geringfügig auf ca. 3 bis 6% UEG. Es wird deutlich, dass sich das Methan im oberen Bereich des Behälters sammelt. Das Gefährdungspotential hinsichtlich der Gasbildung ist in dieser Phase zu vernachlässigen. Die konstant geringere Methanbildung ab September lässt einen erheblichen Einfluss der Temperatur vermuten.

Während der von Oktober 2006 bis November 2006 durchgeführten Schwefelwasserstoffmessungen konnte kein Schwefelwasserstoff gemessen werden. Ebenfalls waren in diesem Zeitraum auch die Messwerte für Methan mit ca. 5% UEG sehr gering.

Die Gasmessungen in dieser Versuchsanlage haben ergeben, dass bei bestimmten Randbedingungen ein Gefährdungspotential hinsichtlich der Gasbildung bestehen kann. Die Methanbildung wurde bei diesen Untersuchungen von den Betriebsbedingungen und der Temperatur beeinflusst. Bei günstigen Randbedingungen für die Methanbildung wurden kontinuierlich Messwerte größer 20% UEG und Maximalwerte bis 35% UEG gemessen. Die Anordnung von Methansensoren in unterschiedlichen Höhen hat gezeigt, dass der Methangehalt im oberen Bereich überwiegend höher ist und sich Methanblasen bilden, auch wenn im unteren Bereich, nahe an der Wasseroberfläche, kein Methan mehr gemessen wurde. Schwefelwasserstoff wurde in dieser Versuchsanlage nicht gemessen.

5.5 Gasmessungen in Versuchsanlage 2 auf dem Prüffeld des PIA

Im August 2006 wurde eine zweite Versuchsanlage in Betrieb genommen. In dieser Anlage wurden unter realeren Bedingungen als in der ersten Versuchsanlage Untersuchungen durchgeführt, da der Behälter eingeschüttet war, an eine Dosieranlage des Prüffeldes angeschlossen war und regelmäßig beschickt wurde.

5.5.1 Aufbau der Versuchsanlage

Für die zweite Versuchsanlage konnte die Vorklärung einer Tropfkörperanlage genutzt werden, die auf dem Prüffeld des PIA betrieben wurde, sich aber nicht in einer Prüfung befand. Die Tropfkörperanlage ist für 8 EW ausgelegt. Die Vorklärung ist eine Drei-Kammergrube, die ca. 6,7 m³ Abwasser beinhaltet. Die Kleinkläranlage war an eine Dosieranlage auf dem Prüffeld des PIA angeschlossen und wurde täglich mit 1,2 m³ Abwasser beschickt.

In dieser Versuchsanlage konnten aufgrund der räumlichen Verhältnisse keine Methanmessungen in unterschiedlichen Höhen durchgeführt werden. Zusätzlich zu den Methanmessungen wurden Schwefelwasserstoffmessungen durchgeführt.

5.5.2 Durchführung der Messungen

Die Versuchsanlage wurde über einen Zeitraum von drei Monaten betrieben und die Daten kontinuierlich aufgezeichnet. Der Untersuchungszeitraum wurde in zwei Phasen aufgeteilt. In der ersten Phase wurde die Anlage ordnungsgemäß betrieben. Vor Beginn der zweiten Phase wurde die Anlage so abgedichtet, dass die Be- und Entlüftung nur über die Zu- und Ablaufleitungen erfolgte. In der folgenden Abbildung ist der abgedichtete Behälter der Vorklärung dargestellt.



Abbildung 23: Abdichtung der Vorklärung

Die Messungen wurden über einen längeren Zeitraum unter nicht ordnungsgemäßen Betriebsbedingungen durchgeführt, da die Methan- und Schwefelwasserstoffbildung forciert werden sollte.

5.5.3 Darstellung der Ergebnisse

Die Untersuchungen wurden in der Vorklärung einer Tropfkörperanlage durchgeführt und in zwei Phasen aufgeteilt. In der folgenden Tabelle sind die Untersuchungsphasen dargestellt.

Tabelle 6: Untersuchungsphasen Versuchsanlage 2

	Phase 1	Phase 2
Untersuchungszeitraum	1 Monat	2 Monate
Jahreszeiten	Sommer	Sommer / Herbst
Anlagenzustand	Nicht abgedichtet	Abgedichtet

Methan

In der folgenden Abbildung ist die Anzahl der Messwerte für die Klassen 0 bis 10% UEG und 10 bis 20% UEG der beiden Untersuchungsphasen dargestellt.

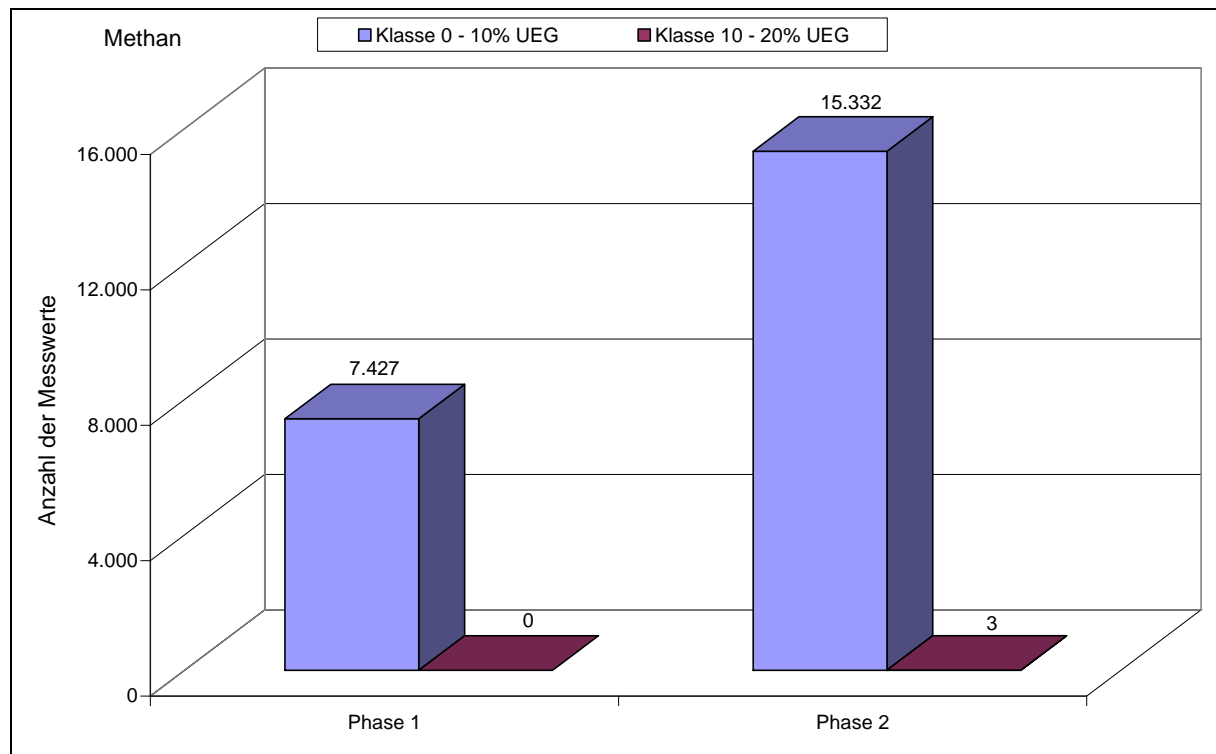


Abbildung 24: Anzahl der Messwerte – Methan Versuchsanlage 2

Die Abbildung zeigt, dass in der Phase 1 keine Überschreitung der 10% UEG gemessen wurde. In der Phase 2 wurden drei Werte größer 10% UEG gemessen. Die Klassen größer 20% UEG sind nicht dargestellt, da keine Werte in diesem Bereich gemessen wurden. Die maximalen Messwerte betragen 6,7% UEG in der Phase 1 und 14,3% UEG in der Phase 2. Hinsichtlich der unterschiedlichen Untersuchungszeiträume ergibt sich ein nahezu identisches Bild für beide Phasen.

Schwefelwasserstoff

In der folgenden Abbildung ist die Anzahl der Messwerte für die Klassen 0 bis 10 ppm und 10 bis 50 ppm der beiden Untersuchungsphasen dargestellt.

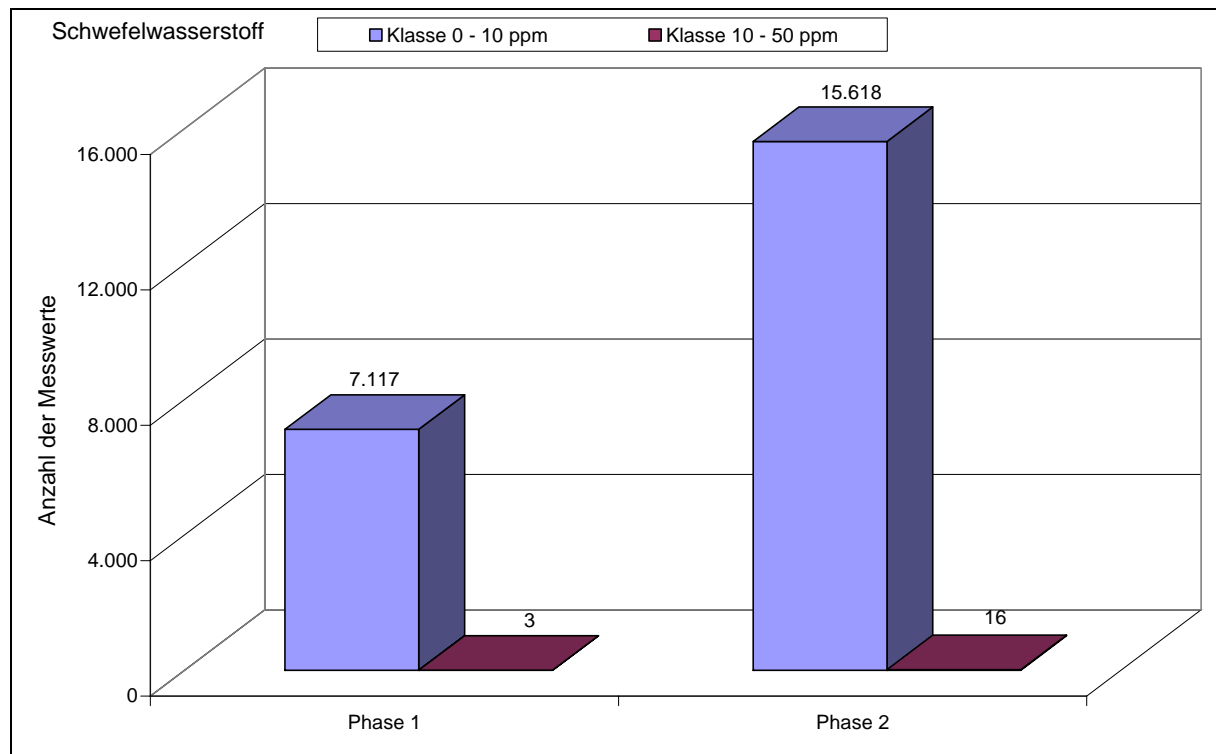


Abbildung 25: Anzahl der Messwerte – Schwefelwasserstoff Versuchsanlage 2

Die Abbildung zeigt, dass in der Phase 1 drei und in der Phase 2 sechzehn Überschreitungen der 10 ppm gemessen wurden. Die Klassen größer 50 ppm sind nicht dargestellt, da keine Werte in diesem Bereich gemessen wurden. Die maximalen Messwerte betragen 25,3 ppm in der Phase 1 und 27,8 ppm in der Phase 2. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Untersuchungszeiträume war ein Anstieg der Messwerte im Bereich größer 10 ppm in der Phase 2 zu beobachten, der jedoch im prozentualen Vergleich mit der Häufigkeit der Messwerte im unkritischen Bereich keine Auswirkung hat. Die erhöhten Messwerte waren in beiden Phasen jeweils Einzelwerte, so dass nur kurzzeitige Belastungen durch Schwefelwasserstoff gemessen wurden.

Vergleich Methan / Schwefelwasserstoff

In den folgenden Abbildungen sind vergleichend die Messwerte der Methan- und Schwefelwasserstoffmessungen in Form von Tagesganglinien an ausgewählten Beispielen dargestellt.

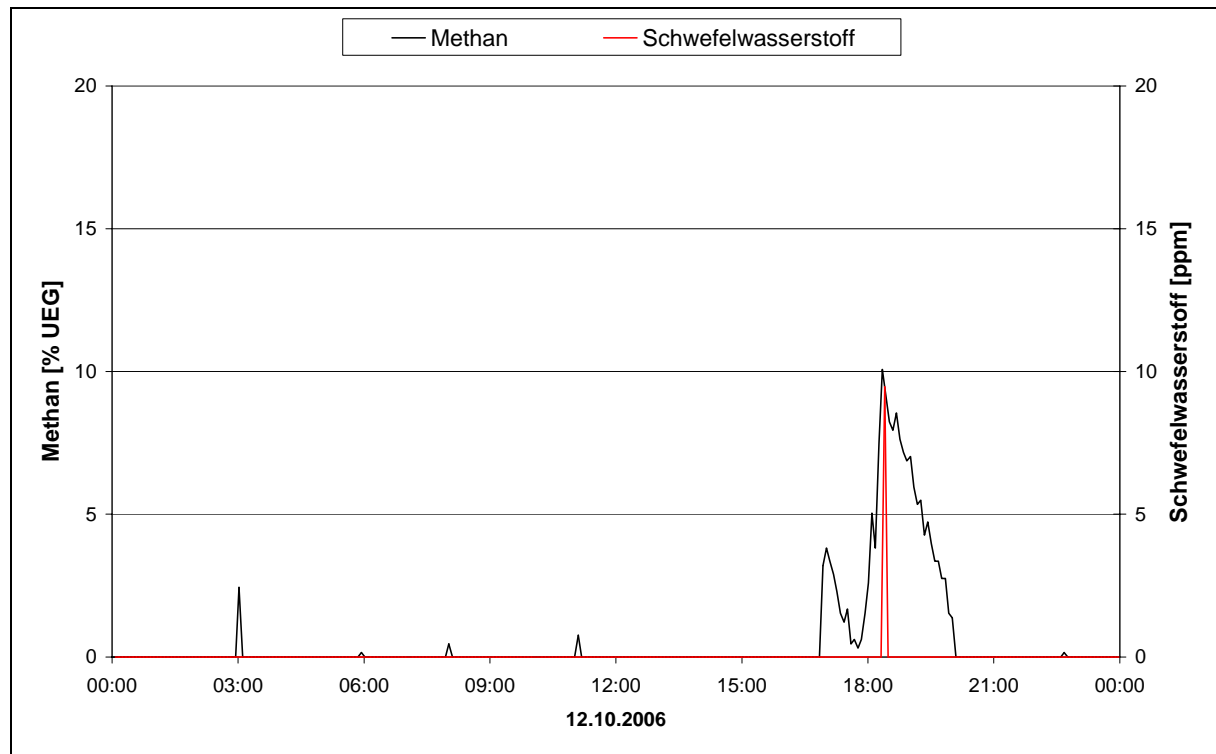


Abbildung 26: Beispiel 1 – Vergleich Methan / Schwefelwasserstoff-Konzentrationen

Die Abbildung zeigt ein Beispiel für den Vergleich der Methan- und Schwefelwasserstoffmessungen. Es wird deutlich, dass die maximalen Messwerte der beiden Gase zur selben Zeit gemessen wurden. Die maximalen Werte sind jedoch mit ca. 10% UEG (Methan) bzw. 10 ppm (Schwefelwasserstoff) jeweils gering. Dieser Verlauf war ein Einzelfall. Häufig war hingegen der Verlauf, der in der folgenden Abbildung dargestellt ist, zu beobachten.

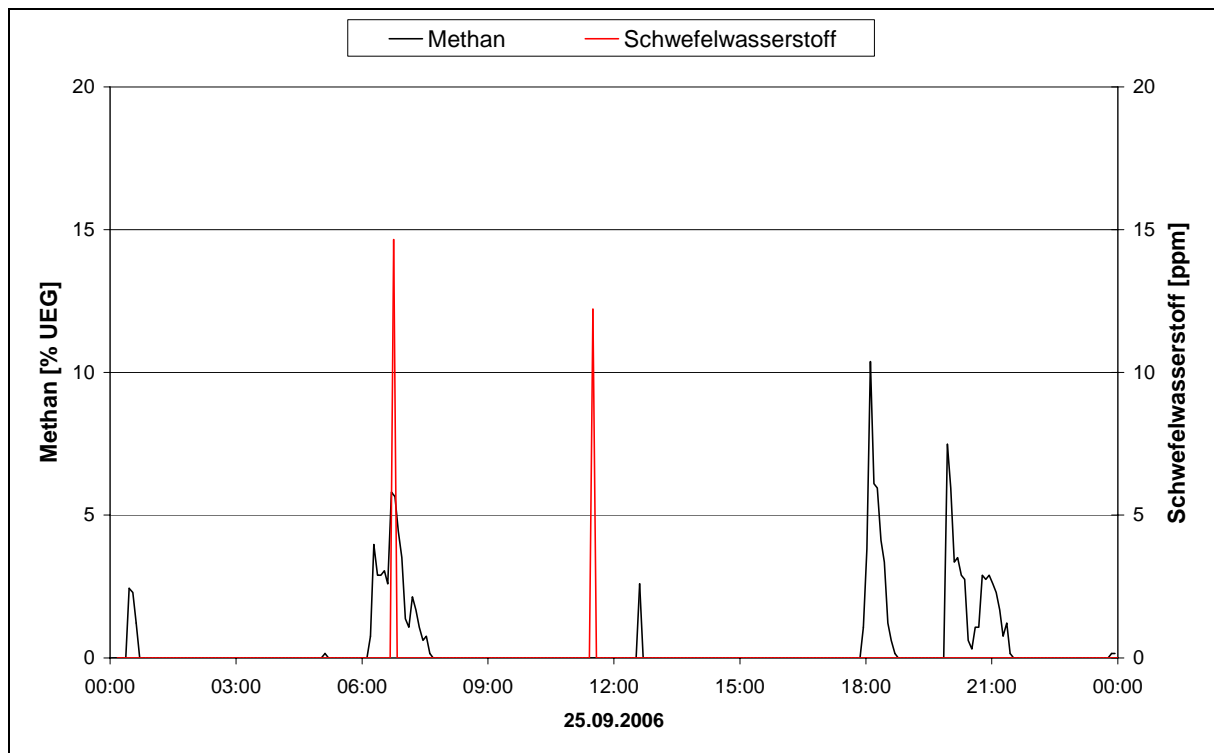


Abbildung 27: Beispiel 2 – Vergleich Methan / Schwefelwasserstoff-Konzentrationen

Das zweite Beispiel zeigt den Fall, dass ein Maximum der Schwefelwasserstoffkonzentration und ein leicht erhöhter Methangehalt zur selben Zeit bzw. mit einer geringen zeitlichen Verschiebung vorliegen. Bei nahezu allen Messwerten für Schwefelwasserstoff, die über 10 ppm lagen, war dieser Verlauf zu beobachten. Die maximalen Messwerte für Schwefelwasserstoff lagen hauptsächlich im Bereich 15 bis 25 ppm. Die zugehörigen Messwerte für Methan betragen 5 bis 8% UEG. In der folgenden Abbildung ist ein weiterer typischer Verlauf der Messwerte dargestellt.

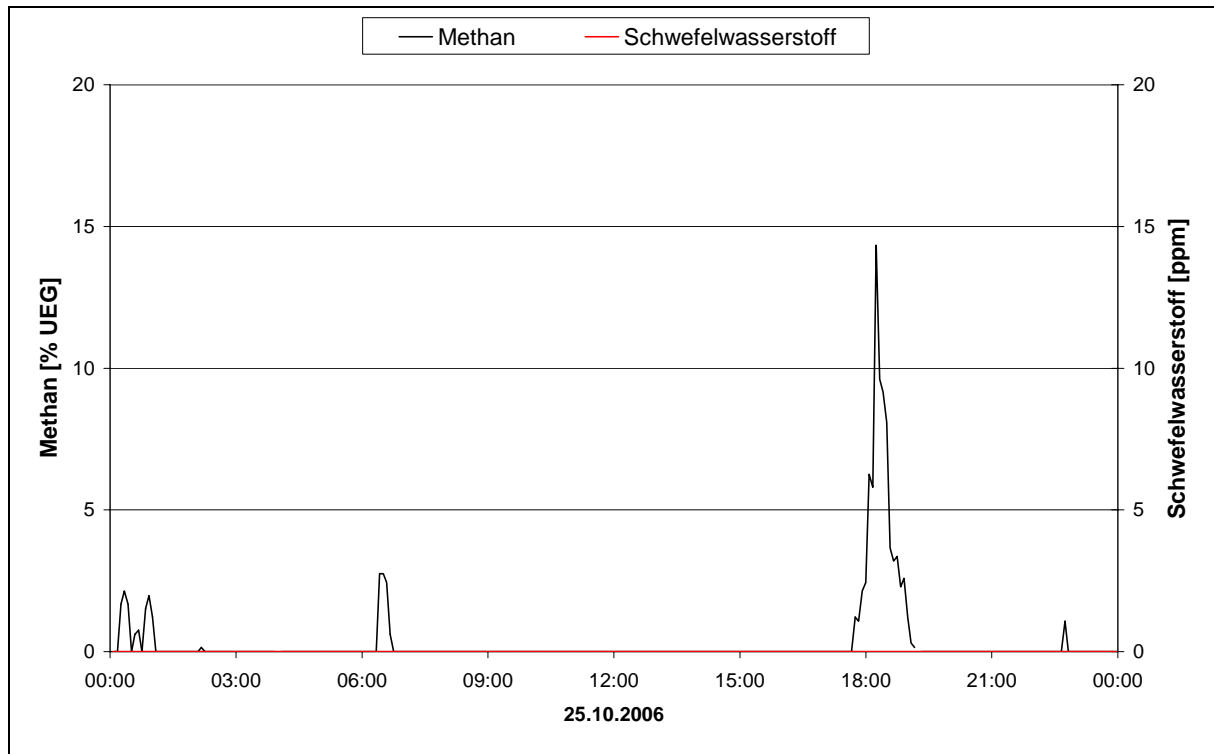


Abbildung 28: Beispiel 3 – Vergleich Methan / Schwefelwasserstoff-Konzentrationen

Das dritte Beispiel zeigt die Situation, dass Methan vorhanden war, aber kein Schwefelwasserstoff gemessen wurde. Dieser Verlauf wurde ebenfalls häufiger beobachtet, wobei die Messwerte für Methan hauptsächlich im Bereich 8 bis 10% UEG lagen.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass bei Vorhandensein von Schwefelwasserstoff etwas geringere Methanbildungen zu beobachten waren. Allerdings waren während des gesamten Untersuchungszeitraumes nur sehr geringe Methan- und Schwefelwasserstoffbildungen zu beobachten. Es gab einige einzelne Spitzen an Schwefelwasserstoff im Bereich 10 bis 50 ppm, aber keine dauerhafte erhöhte Belastung. Ein bedeutender Einfluss der Abdichtung der Anlage war nicht zu erkennen.

6 Diskussion der Ergebnisse

Ziel dieses Vorhabens war es, eine Grundlage hinsichtlich der weiteren Betrachtung des Explosionsschutzes in Kleinkläranlagen zu schaffen.

Die Untersuchungen in verschiedenen Kleinkläranlagen auf dem Prüffeld des PIA, vor Ort bei privaten Betreibern im Kreis Düren und in einer Versuchsanlage haben gezeigt, dass im normalen Betrieb keine oder nur geringe Methanbildungen zu beobachten waren. Der überwiegende Anteil der gemessenen Werte lag im Bereich unter 10% UEG. Bei den Messwerten, die über 10% UEG lagen, handelte es sich hauptsächlich um kurzzeitige Spitzen und keine dauerhafte Erhöhung des Methangehaltes. Lediglich in einer Anlage auf dem Prüffeld des PIA waren Phasen mit einer nahezu konstanten Erhöhung des Methangehaltes, in dem Bereich 10 bis 20% UEG, zu beobachten. Eine Einschränkung der Be- und Entlüftung dieser Anlage hatte einen weiteren Anstieg der gemessenen Werte, bis zu einem Maximalwert von nahezu 70% UEG, zur Folge. Dahingegen war bei der Versuchsanlage nach der Einschränkung der Be- und Entlüftung keine bedeutende Veränderung zu erkennen. In verschiedenen Versuchsphasen waren nur geringe Methanbildungen zu beobachten.

Die Gasmessungen in einer weiteren Versuchsanlage zeigten, dass bei bestimmten Randbedingungen ein Gefährdungspotential hinsichtlich der Gasbildung bestehen kann. Die Methanbildung wurde bei diesen Untersuchungen von den Betriebsbedingungen (nahezu keine Be- und Entlüftung) und der Temperatur (Behälter oberirdisch) beeinflusst. Bei günstigen Randbedingungen für die Methanbildung wurden kontinuierlich Messwerte größer 20% UEG und Maximalwerte bis 35% UEG gemessen. Die Anordnung von Methansensoren in unterschiedlichen Höhen hat gezeigt, dass der Methangehalt im oberen Bereich überwiegend höher ist und sich Methanblasen bilden, auch wenn im unteren Bereich, nahe an der Wasseroberfläche, kein Methan messbar war.

Die Untersuchungen ergaben, dass bei Kleinkläranlagen im Normalbetrieb im Wesentlichen keine oder nur geringe Methanbildungen zu beobachten waren. Des Weiteren konnten verschiedene Faktoren ermittelt werden, die die Methanbildung beeinflussen. Zu nennen sind beispielsweise die Betriebsbedingungen. Die Gewährleistung einer ausreichenden Be- und Entlüftung stellt eine bedeutende Schutzmaßnah-

me zur Verhinderung oder Einschränkung der Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre dar. Ein weiterer wesentlicher Einflussfaktor ist die Temperatur. Günstige Bedingungen für die Methanbildung liegen bei Temperaturen im Abwasser von über 30°C vor. Diese Temperaturen werden in der Regel bei in die Erde eingebauten Kleinkläranlagen nicht erreicht. Weiterhin wurden Unterschiede hinsichtlich verschiedener Anlagentypen festgestellt. In besonders belüfteten Behältern, wie z. B. Membranbioreaktoren, ist die Bildung von Methan nahezu ausgeschlossen. Ein Gefährdungspotential ist eventuell in nicht belüfteten Reinigungsstufen vorhanden. Außerdem wurden bei der Methanbildung Unterschiede beobachtet, deren Ursache in anlagenspezifischen Einflüssen gesehen werden kann. Bei der Untersuchung zweier Vorklärunge in einem identischen Untersuchungszeitraum auf dem Prüffeld des PIA wurden sehr unterschiedliche Methanbildungen beobachtet. In einer Vorklärunge wurde nahezu kein Methan gemessen und in der anderen regelmäßige Spitzen im Bereich 5 bis 12% UEG. Es war jedoch nicht möglich die Ursachen dieser Spitzen zu bestimmen. Das Vorkommen von regelmäßigen, kurzen Spitzen mit Methangehalten im Bereich 5 bis 20% UEG wurde häufiger bei Anlagen beobachtet.

7 Ausblick

Die Untersuchungen der Schwefelwasserstoffbildung in den Versuchsanlagen zeigten, dass bei Vorhandensein von Schwefelwasserstoff geringere Methanbildungen zu beobachten waren. Allerdings wurden während der gesamten Untersuchungszeiträume keine oder nur sehr geringe Belastungen gemessen. Es gab einige einzelne Spitzen im Bereich 10 bis 50 ppm, aber keine dauerhafte Belastung. Somit bestand im Rahmen der Messungen im Bereich des Sensors durch Schwefelwasserstoff keine Gefährdung, weder hinsichtlich des Explosionsrisikos noch der Vergiftungsgefahr.

Die Methanmessungen in Kleinkläranlagen bei privaten Betreibern im Kreis Düren haben gezeigt, dass in den untersuchten Anlagen keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre im Sinne der Betriebssicherheitsverordnung zu beobachten war. Bei Anlagen im realen Betrieb sind jedoch die Betriebsbedingungen ein erheblicher Einflussfaktor hinsichtlich der Methanbildung.

Bei Betrachtung der Methanmessungen in den untersuchten Kleinkläranlagen auf dem Prüffeld des PIA, die ordnungsgemäß betrieben wurden, wurde ein maximaler Wert von 22% UEG gemessen. Auf dieser Grundlage war das Auftreten von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre im Sinne der Betriebssicherheitsverordnung nicht zu beobachten.

Die Gasmessungen im Rahmen dieses Vorhabens lassen folgende Einstufung der untersuchten Kleinkläranlagen in das Ablaufschema zur Beurteilung der Explosionsgefährdung und Festlegung von Schutzmaßnahmen [4] zu.

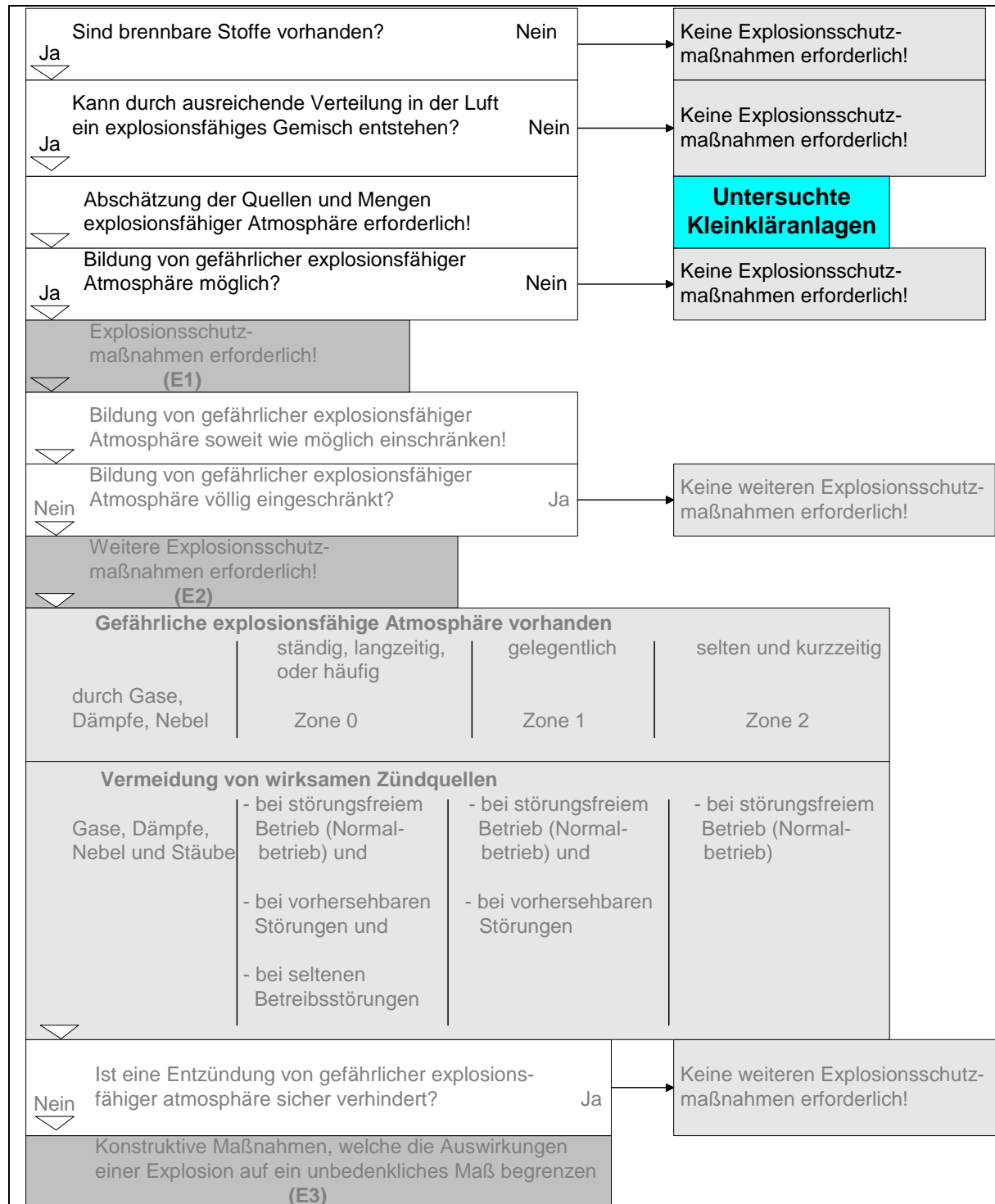


Abbildung 29: Einstufung der untersuchten Kleinkläranlagen

8 Literatur

[1]	DWA-Arbeitsbericht – Erstellung von Explosionsschutzdokumenten für abwassertechnische Anlagen; DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; September 2005
[2]	EG-Sicherheitsdatenblatt nach TRGS 220, Schwefelwasserstoff; Oktober 2005
[3]	Schwefelwasserstoff – Gesundheitsgefährdung, Sicherheitsvorkehrungen; ÖMV Aktiengesellschaft TG-STB/Sicherheitstechnik; Wien 1982
[4]	Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) – Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre, GUV-R 104; Bundesverband der Unfallkassen; März 2005
[5]	Böhnke, B.; Bischofsberger, W, Seyfried; Anaerobtechnik; Springer Verlag; Berlin, Heidelberg 1993
[6]	EG-Sicherheitsdatenblatt gemäß TRGS 220, Methan; Februar 2005
[7]	Betriebssicherheitsverordnung – Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes; vom 27. September 2002, in der Fassung vom 25. Juni 2005
[8]	ATEX-Produkt-Richtlinie (RL 94/9/EG)- Geräte und Schutzsysteme in explosionsgefährdeten Bereichen; vom 23. März 1994
[9]	Betriebsanleitung Messwertgeber OLCT IR CH ₄ ; Winter GmbH; Dortmund
[10]	Betriebsanleitung Messwertgeber H ₂ S; Winter GmbH; Dortmund