

Erfahrungen mit der Entsorgung methanarmer Gase

Roland Berger, Dres Michel

e-flox GmbH, Renningen; Depotech GmbH, Schliengen

1 Motivation - Deponiegasentwicklung in der Schlussphase der Gasproduktion

Eine genaue Prognose zur Entwicklung des Deponiegasaufkommens in der Schlussphase der Gasproduktion älterer Deponien ist schwierig und von vielen Faktoren abhängig. Das Alter der Deponie, die Qualität der Gasbrunnen und der Übergang zur aeroben Abbaumechanismen im Deponiekörper spielen hier wesentliche Rollen. In der letzten Phase der Gasproduktion einer Mülldeponie nimmt deshalb die Methanmenge ab. In Verbindung mit alternden Gasbrunnen, Lufteinbrüchen und unvollständiger Erfassung nimmt die Methankonzentration des zur Verwertung anstehenden Gases ab. Abbildung 1 zeigt den beispielhaften Verlauf der Methankonzentration.

Motoren von Blockheizkraftwerken (BHKW) können bis ca. 38 Vol.% CH₄ wirtschaftlich betrieben werden. Mikrogasturbinen bis 30 Vol.%. Um diese hohen Gas-Qualitäten sicherzustellen werden Deponien oftmals nur noch partiell abgesaugt, d.h. nur noch gute Gasbrunnen werden besaugt. Eine korrekte Entgasung ist dann nicht mehr sichergestellt, Gas geringerer Qualitäten bleibt in der Deponie bzw. tritt im Extremfall ungeordnet aus.

Da die Gasproduktion jedoch noch über Jahre weitergeht, wurden Deponiegasfackeln entwickelt welche bis 15 Vol.% Methan die gesetzlichen Bestimmungen bezüglich Temperatur und Verweilzeit erfüllen. Mit der neuen e-flox-Brennkammer kann ohne Stützgas bis hinunter auf 6,5 Vol.% CH₄ und mit Stützgas bis auf 3 Vol.% CH₄ das anfallende Deponiegas bei 1100 bis 1200°C und einer Verweilzeit > 0.6 Sekunden entsorgt werden. Dieses Schwachgasverwertungsverfahren kommt der praktischen Erfahrung der rückläufigen Methankonzentration entgegen und ermöglicht auch die Nutzung gealterter oder schlecht angebundener Gasbrunnen.

Betrachtet man den typischen Verlauf des Methangehaltes im Deponiegas in der letzten Phase der Gasproduktion, so kann man leicht feststellen, dass durch den Unterschied von 15 Vol.% auf 6,5 Vol.%, respektive 3 Vol.% CH₄ eine deutliche Verlängerung der Betriebsdauer und eine günstigere Darstellung der Amortisierungszeit resultiert. Die Entgasung der Deponie kann praktisch bis zum Ende der Gasproduktion aufrechterhalten bleiben, wodurch die Treibhausgasemissionen auch in dieser Phase gering gehalten werden.

2 e-flox Schwachgasverbrennungsanlagen

e-flox baut seit fünf Jahren Schwachgasverbrennungsanlagen für die Verwertung von Restgasen aus der Aufbereitung von Biogasen. Auf Basis dieser Erfahrungen wurde ein neuartiges Verfahren für die Verwertung von sehr heiz-

wertarmen Deponiegasen entwickelt. Es besteht aus Rekuperator-FLOX Brennern, die in einer adiabaten Brennkammer eingesetzt werden.

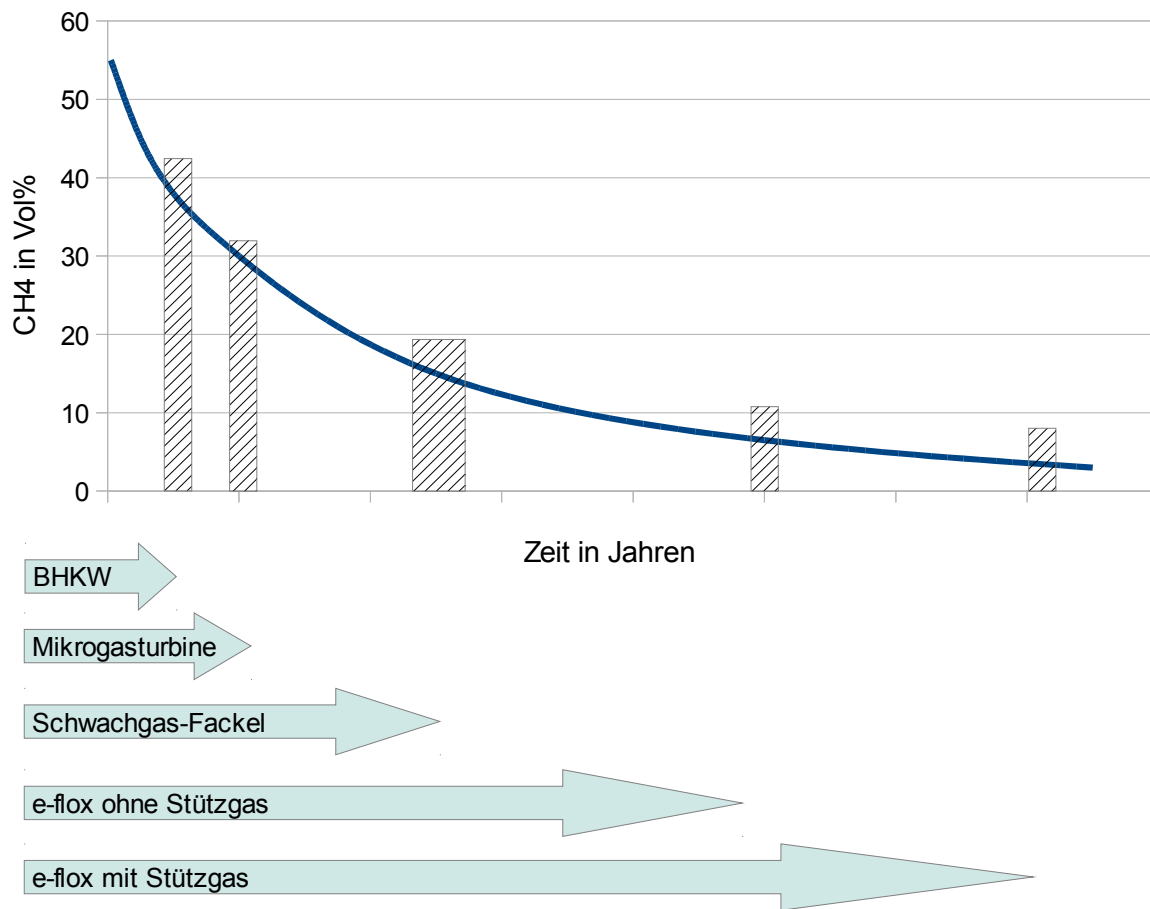


Abbildung 1: Methananteil im Deponiegas in der letzten Phase der Gasproduktion und dabei mögliche Gasverwertungen (der genaue Zeitverlauf ist Deponie-Spezifisch)

2.1 e-flox Brenner zur Nutzung von Schwachgasen

Beim e-flox Verfahren werden sogenannte Rekuperatorbrenner eingesetzt. Rekuperatoren sind im Brenner integrierte Wärmetauscher, die mit Hilfe der im Abgas enthaltenen thermischen Energie Verbrennungsluft und Schwachgase vorwärmen.

Für die Nutzung von H_2S und halogenhaltigen Deponiegasen werden FLOX-Brenner mit keramischem Rekuperator eingesetzt, Abbildung 2 zeigt den für die Deponiegase genutzten Brenner. Zwei wesentliche Vorteile qualifizieren diese Brenner für den Einsatz in einer Deponiegasverbrennung:

FLOX-Verbrennung: Bei der Flammlosen Oxidation (FLOX®) wird durch speziell geformte Brennerdüsen und Brennräume eine starke und stabile Abgasrezirkulation im Brennraum bewirkt. Dadurch wird die Mischung aus Brenngas, Luft und Abgas schnell auf hohe Temperaturen angehoben und das Methan oxidiert ohne sichtbare Flamme. Die Oxidation findet im gesamten Brennraum statt, erfordert keine Flammenstabilisierung und generiert deutlich weniger Stickstoffoxide als konventionelle Flammenbrenner.

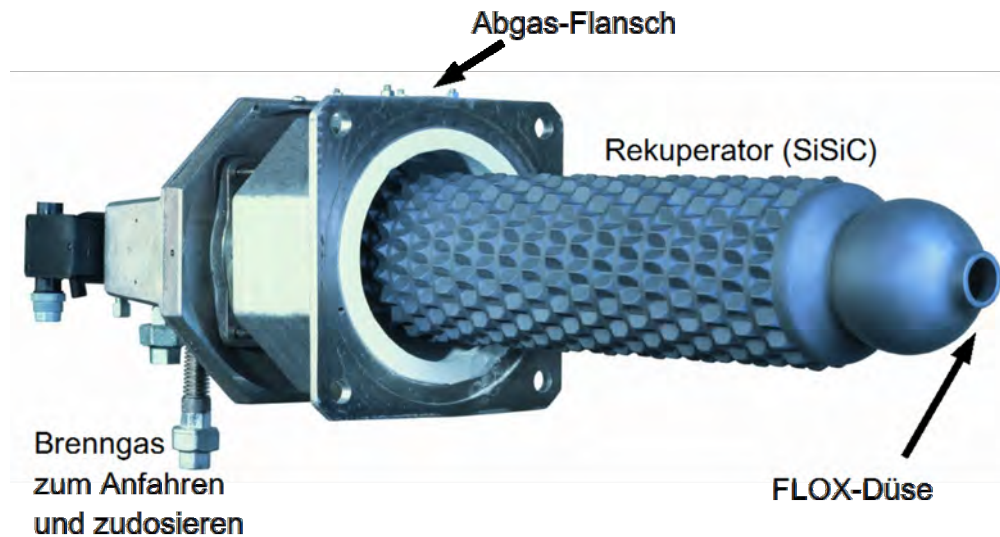


Abbildung 2: Keramischer Rekuperator-Brenner (Fa. WS Wärmeprozessestechnik)

Keramischer Rekuperator: Der Rekuperator dient zur Vorwärmung der Schwachgase und der Verbrennungsluft mit Hilfe der Abgaswärme. Durch diese Vorwärmung genügt bereits ein Methangehalt von 6,5 Vol% Methan im Deponiegas für eine autotherme Verbrennung. Der Rekuperator für die Deponiegasverbrennung ist aus siliziiertem Silizium-Carbid (SiSiC) hergestellt. Dieses Material erlaubt nicht nur die erforderlichen hohen Betriebstemperaturen (1000°C – 1200°C) sondern ist auch resistent gegen das im Deponiegas enthaltene H₂S und andere saure Abgasbestandteile.

2.2 e-flox Hochtemperaturreaktor

Die Deponiegasverbrennungs-Anlage (DGV100) besteht aus insgesamt drei Rekuperator-Brennern, die in eine ausgemauerte Brennkammer eingebaut sind.

Abbildung 3 zeigt den Aufbau von vorne und in einer seitlichen Ansicht. In der Mitte befindet sich der Startbrenner. Dieser wird zunächst mit Erd- oder Flüssiggas im Flamme-Modus betrieben und heizt die Anlage auf 850°C. Bei dieser Temperatur schaltet die Anlage in den FLOX®-Modus, wobei die Heizleistung weiterhin vom Flüssiggas erbracht wird. Über den Rekuperator dieses Brenners wird die Verbrennungsluft vorgewärmt. Die Brennkammer wird im FLOX®-Modus weiter bis auf 1000°C erwärmt. Dann wird Deponiegas über die beiden äußeren Rekuperatorbrenner vorgewärmt und in die Brennkammer eingedüst. Über den zentralen Startbrenner wird im autothermen Betriebe die Verbrennungsluft zugegeben

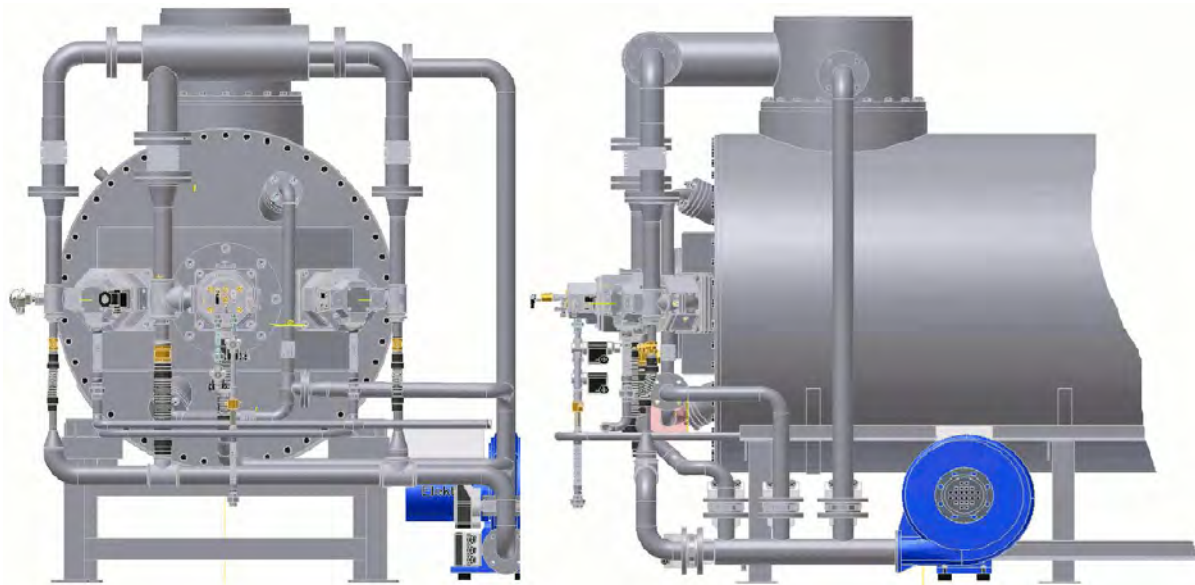


Abbildung 3: Deponiegasverbrennungs-Anlage DGV 100

Das Abgas wird zum einen über die Brenner abgesaugt, zum anderen wird das Abgas direkt über einen Abgasstutzen auf der Brennkammer-Oberseite abgeleitet. Für das Absaugen der Abgase über die Rekuperatoren werden luftgeblasene Eduktoren eingesetzt. Die Luftmenge, die durch die Eduktoren geleitet wird, regelt damit die Abgasmenge die über die Brenner abgesaugt wird und damit den Grad der Luft- und Schwachgasvorwärmung. Zusätzlich kann zur Kühlung unvorgewärmte Luft eingeblasen werden. Diese beiden Möglichkeiten zur Temperaturregelung erlauben die Verbrennung des Deponiegases bei unterschiedlichen Methankonzentrationen.

Die Feuerungsanlage befindet sich zusammen mit der Luftversorgung und dem Schaltschrank in einem 20 Fuß Container (ca. 6 m). Zusätzlich kann die Anlage mit einem Deponiegasverdichter und einer Deponiegasanalytik (vgl. unten) ausgerüstet werden. Dafür wird der Container um 10 Fuß (ca. 3 m) erweitert. Feuerungsraum und Verdichter-Raum sind gasdicht getrennt.

2.3 Abgasemissionen der e-flox Schwachgasverbrennung

Die erste Deponiegas-Verbrennung des neuen Typs wurde an der Deponie Titisee Neustadt aufgebaut. Dort befindet sich die Anlage seit rund einem halben Jahr in Betrieb. Im Auftrag des Betreibers (ALB Abfallwirtschaft, Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald) wurden vom TÜV Süd Abnahmemessungen an dieser Anlage durchgeführt. Die Schwerpunkte der Messungen lagen auf:

1. Kalibrierung der Betriebs-Temperaturmessung zur Sicherstellung der geforderten Mindesttemperatur von 1000°C.
2. Ermittlung der Abgasemissionen mit aktuellem Deponiegas (25-35 Vol %)
3. Ermittlung der Abgasemissionen beim Betrieb mit niederkalorischem Deponiegas (Verdünnung des Deponiegases mit Stickstoff)

Die folgende Tabelle wurde mit freundlicher Genehmigung des ALB Abfallwirtschaft dem Messbericht des TÜV Süd entnommen. Darin sind die ermittelten

Emissionen für Gesamt-Kohlenwasserstoffe (FID-Messung), Kohlenmonoxid (NDIR-Messung) und NOx (Chemielumineszenz-Messung) für verschiedene Betriebspunkte dargestellt. Der Betriebspunkt mit rund 40 Vol% Methan im Deponiegas entsprach dem reinen Deponiegase, alle anderen Betriebspunkte wurden durch Zugabe von Stickstoff zum Deponiegas eingestellt.

Die Messung zeigt zum einen, dass in allen Betriebspunkten die Emissionen von Produkten unvollständiger Verbrennung, hier am Beispiel Gesamt-C und CO ermittelt, extrem gering sind. Die gemessenen Werte liegen durchweg im Bereich der Nachweisgrenze. Auch die Emissionen für Stickstoffoxide liegen immer unter 200 mg/m³ @ 3% O₂. Damit lassen sich auch strenge Grenzwerte (die hier nicht vorlagen) einhalten. Zum anderen konnte durch die Messungen bewiesen werden, dass tatsächlich bis 6,5 Vol% CH₄ ein autothermer Betrieb, also ein Betrieb ohne Zugaben von Stützbrennstoff, möglich ist.

Die Anlage erfüllt also hinsichtlich der zugesicherten Eigenschaften für Abgasemissionen und autothermer Betriebspunkt voll die in sie gesetzten Erwartungen.

Tabelle 1: Abgasemissionen der DGV 100 Titisee-Neustadt in verschiedenen Betriebspunkten (Messung TÜV Süd)

Messkomponente	Einheit	Maximaler Messwert minus Up	Maximaler Messwert plus Up	Emissionsbegrenzung	Betriebszustand
Gesamt-C	mg/m ³	0	5	-	41,6 % CH ₄
Kohlenmonoxid (CO)	mg/m ³	n.n.	n.n.	-	41,6 % CH ₄
NOx als NO ₂	mg/m ³	177	199	-	41,6% CH ₄
Gesamt-C	mg/m ³	0	4	-	12,2% CH ₄
Kohlenmonoxid (CO)	mg/m ³	n.n.	n.n.	-	12,2% CH ₄
NOx als NO ₂	mg/m ³	80	90	-	12,2 % CH ₄
Gesamt-C	mg/m ³	0	3	-	1,7 % CH ₄
Kohlenmonoxid (CO)	mg/m ³	n.n.	n.n.	-	1,7 % CH ₄
NOx als NO ₂	mg/m ³	63	69	-	1,7 % CH ₄
Gesamt-C	mg/m ³	0	3	-	7,9 % CH ₄
Kohlenmonoxid (CO)	mg/m ³	1	4	-	7,9 % CH ₄
NOx als NO ₂	mg/m ³	16	18	-	7,9 % CH ₄

n.n. = kleiner Bestimmungsgrenze
Messwerte bezogen auf 3 Vol. % Sauerstoff

3 e-flox Heizkessel für Schwachgase

Zur Wärmenutzung aus Deponiegas bietet e-flox einen modifizierten Heizkessel mit FLOX[®]-Brenner an. Im Kessel ist ein mit Hochleistungs-Isolierung versehenes Inlay eingebaut, das die für den FLOX[®] Betrieb erforderlichen Temperaturen sicherstellt. Durch diese Bauart ist eine einfache und kostengünstige Verwertung von Schwachgasen möglich. Allerdings kann diese Anlage nur bis zu einem minimalen CH₄ Gehalt von 25 Vol% betrieben werden.



Abbildung 4: FLOX-Kesselanlage für Gase bis min. 25 Vol% CH₄

4 Abwärmenutzung

Die Nutzung der auch im Schwachgas noch enthaltenen Energie ist nicht nur mit dem Beschriebenen FLOX-Kessel System möglich, sie steht auch im Focus der Weiterentwicklung der Schwachgasverbrennungsanlage für Gase < 25 Vol% CH₄. Die im Überdruck zu betreibenden e-flox-Brennkammer kann die Abwärme für verschiedene Zwecke bereitstellen. Wird die Wärme nicht benötigt kann das heiße Abgas auch direkt abgeleitet werden. Der Abgasweg wird über zwei Hochtemperatur-Klappen nach Bedarf zwischen direkter Ableitung über einen Hochtemperaturkamin und der Überleitung zur Wärmenutzung umgestellt. Auch eine modulierende Wärmeerzeugung ist über diesen Mechanismus möglich. Bisher wurden zwei Varianten zur Wärmenutzung von e-flox realisiert.

4.1 Abhitzekessel

Eine Variante der Abwärmenutzung ist die Erzeugung von thermischer Energie in einem Warmwasserkessel oder einem Thermo-Öl Kessel. Der Abhitzekessel wird in diesem Fall in einen um weitere 10 Fuß erweiterten Container eingebaut. Je nach der örtlichen Gegebenheit wird die Abwärme für Gebäudeheizung oder als Prozesswärme genutzt.

Diese Technik ist im Bereich Schwachgasverwertung bei Biogasaufbereitungsanlagen Standard, im Bereich Deponiegasverwertung wurde an der Deponie Dörpen im Emsland diese Technik umgesetzt. Abbildung 5 zeigt die Containeranlage.



Abbildung 5: Deponiegasverbrennung DGV 100 mit Abhitzekessel und Biogasverdichter

Die Abwärme wird in diesem Fall zur Beheizung des Perkulat-Kreislaufs der Biogasanlage eingesetzt. In der Biogasanlage wird mit der Technologie der Batch-Trockenfermentation Grünabfall behandelt und Biogas gewonnen. Die Deponiegasverbrennung versorgt dabei die komplette Biogasanlage mit thermischer Energie. Das Biogas wird über eine Gas-Transportleitung an ein BHKW in Verbrauchernähe geliefert, um Strom und Wärme dort nutzen zu können, wo sie gebraucht werden. Das entstehende Biogas wird auch zum Anfahren der Anlage verwendet. Im Bild ist noch ein LPG Tank zu sehen, der zur Inbetriebnahme genutzt wurde, da zu diesem Zeitpunkt noch kein Deponiegas zur Verfügung stand.

4.2 Heißluft-Trocknung

Eine weitere Variante ist der Einsatz für Trocknungszwecke. Bei einem in 2012 umgesetzten Projekt auf der Deponie Ringenbach im Landkreis Sigmaringen wird die Abwärme der Brennkammer über eine Luftzumischung einer Holz Trocknung zugeführt. Abbildung 6 zeigt diese Anlage.

Das Abgas wird dabei über die Luftmischung auf eine Temperatur von 80-100°C eingestellt und zur Trocknungsanlage für Hackschnitzel geleitet. Zur Trocknung der Schnitzel von Grünschnitt wird unter Zugrundelegung einer Trocknung von 80% auf 20% Feuchte eine Energiemenge von 120 kW/t benötigt.

Die Leistung bei nachstehenden Gasmengen und Gasqualitäten beträgt:

40 Vol.% CH₄ und einer Gasmenge von 60 m³/h > 5700 kW/Tag

30 Vol.% CH₄ und einer Gasmenge von 50 m³/h > 3600 kW/Tag

20 Vol.% CH₄ und einer Gasmenge von 40 m³/h > 1900 kW/Tag



Abbildung 6 Deponiegasverbrennung Ringenbach mit Hackschnitzeltrocknung

Bei einem Wirkungsgrad von 85% für die Schnitzeltrocknungsanlage werden folgende Trocknungskapazitäten erreicht:

Gasqualität	Gasmenge	Schnitzel/Tag
40 Vol.%	60 m ³ /h	5,3 t
30 Vol.%	50 m ³ /h	3,3 t
20 Vol.%	40 m ³ /h	1,8 t

Der ansonsten auftretende Masse- und Energieverlust durch Feuchtegärung von ca. 20% wird durch die Trocknung der Schnitzel verhindert. Zusätzlich können die getrockneten Schnitzel mit wesentlich höherem Wirkungsgrad und geringeren Emissionen luftverunreinigender Stoffe wie CO und Kohlenwasserstoff verbrannt werden.

Der besondere Reiz dieser Wärmenutzung liegt in der Tatsache, dass sich Deponien sehr oft in der Nähe von Wäldern befinden und die Körperschaft, die

die Deponie betreibt, oftmals auch Hackschnitzel produziert und Hackschnitzelfeuerungen betreibt.

5 Sicherheitstechnische Aspekte bei der Schwachgasnutzung

Die sicherheitstechnischen Konzepte für Deponie-Entgasungseinrichtungen basieren auf dem sogenannten primären (vorbeugenden) und tertiären (konstruktiven) Explosionsschutz (BGR 127 „Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz“).

Beim vorbeugenden Explosionsschutz werden Gaswarneinrichtungen installiert, die permanent die Gaszusammensetzung im Deponiegas messen (Ziel: Vermeidung der Bildung zündfähiger Gasgemische). Vor dem Erreichen eines explosiven Gasgemisches sorgt die Steuerung der Gaswarneinrichtung für eine Unterbrechung der Gasförderung. Nach GUV-R 127 Abschnitt 5.15.2 ist die Gaswarneinrichtung wie folgt auszuführen:

„Die Überwachungseinrichtungen müssen redundant aufgebaut sein, wobei der Einsatz je eines CH₄- und eines O₂-Messgerätes auch als redundant gilt.“

Bei Methan-Überwachung darf der Grenzwert von 25 Vol.% CH₄ nicht unterschritten werden. Bei Sauerstoff-Überwachung darf der Grenzwert von 6-Vol.% O₂ nicht überschritten werden. Das Erreichen der Grenzwerte führt zur sofortigen Abschaltung der Gasförderung.

Da die e-flox - Brennkammer konzipiert wurde um niederkalorische Gase auch unterhalb von 25 Vol.% CH₄ zu verbrennen, wird die geforderte Redundanz über eine 2-Kanal O₂ Überwachung erreicht.

Zusätzlich zum vorbeugenden Explosionsschutz werden Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes eingesetzt. D.h. Anlagenabschnitte in denen es zu einer Explosion kommen kann (z.B. Verdichter) werden mit temperaturüberwachten Deflagrationssicherungen geschützt. Werden Gasförderaggregate eingesetzt die zur Förderung explosiver Gasgemische geeignet sind (Zone 0), so kann auf eine Gasüberwachung und den konstruktiven Ex-Schutz verzichtet werden. Solange die Grenzwerte für Methan und Sauerstoff außerhalb der oberen bzw. unteren Explosionsgrenzen liegen ist eine Gefährdungsbeurteilung nach Zone 1 angebracht.

6 Quellennachweis

- Dokumentation e-flox GmbH und DepoTec GmbH
- Gutachterliche Stellungnahme Hr. Peterlein Umwelttechnik Bojahr
- Abschlussbericht Abfallwirtschaft Breisgau-Hochschwarzwald zur Anlage Titisee Neustadt
- gültige Vorschriften wie GUV-R 127 / BGR 127 / und weitere