

eflox

DepoTec - Service GmbH
Anlagenbau in der Deponietechnik

Schwachgasverbrennung mit Wärmenutzung

Internationale Bio – und Deponiegas Fachtagung

„Synergien nutzen und voneinander lernen VI“

17. / 18. IV. 2012

Dr. Roland Berger¹, Dr. Dieter Uhlig¹

Dres Michel²

e-flox GmbH¹, DepoTec – Service GmbH²

Stand: 22.02.2012

1 Zusammenfassung

Die Firmen e-flox GmbH und DepoTec GmbH präsentieren ein neues Hochtemperatur-Verbrennungssystem mit dem auch niederkalorische Brenngase aus Deponien problemlos oxydiert werden. Durch ein ausgeklügeltes System zur Wärmerückgewinnung und die äußerst robuste FLOX-Technik ist das System sehr flexibel. Deponiegase mit Methankonzentrationen von 40 Vol.% bis 3 Vol.% können verarbeitet werden, wobei bis 6,5 Vol% Methan kein Zusatzbrennstoff erforderlich ist. Der Regelbereich des Systems liegt bei 1:5. Beim aktuell eingesetzten Drei-Brenner Modell entspricht dies 20 m³/h bis 100 m³/h. Durch die Verbrennung in einer ausgemauerten Brennkammer, die auch den Betrieb im Überdruck erlaubt, sind auch verschiedenste Wärmenutzungsoptionen möglich.

2 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. In der letzten Phase der Gasproduktion auf einer Mülldeponie nimmt sowohl die Gasmenge als auch der Methangehalt ab. Abbildung 1 zeigt den 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. Mit diesen Schwachgasverwertungsverfahren kann die Deponie auch wieder korrekt entgast werden, d.h. alle Gasquellen können genutzt werden.

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 Betriebs- und Amortisationszeit resultiert. Die korrekte Entgasung der Deponie kann praktisch bis zum Ende der Gasproduktion aufrechterhalten bleiben.

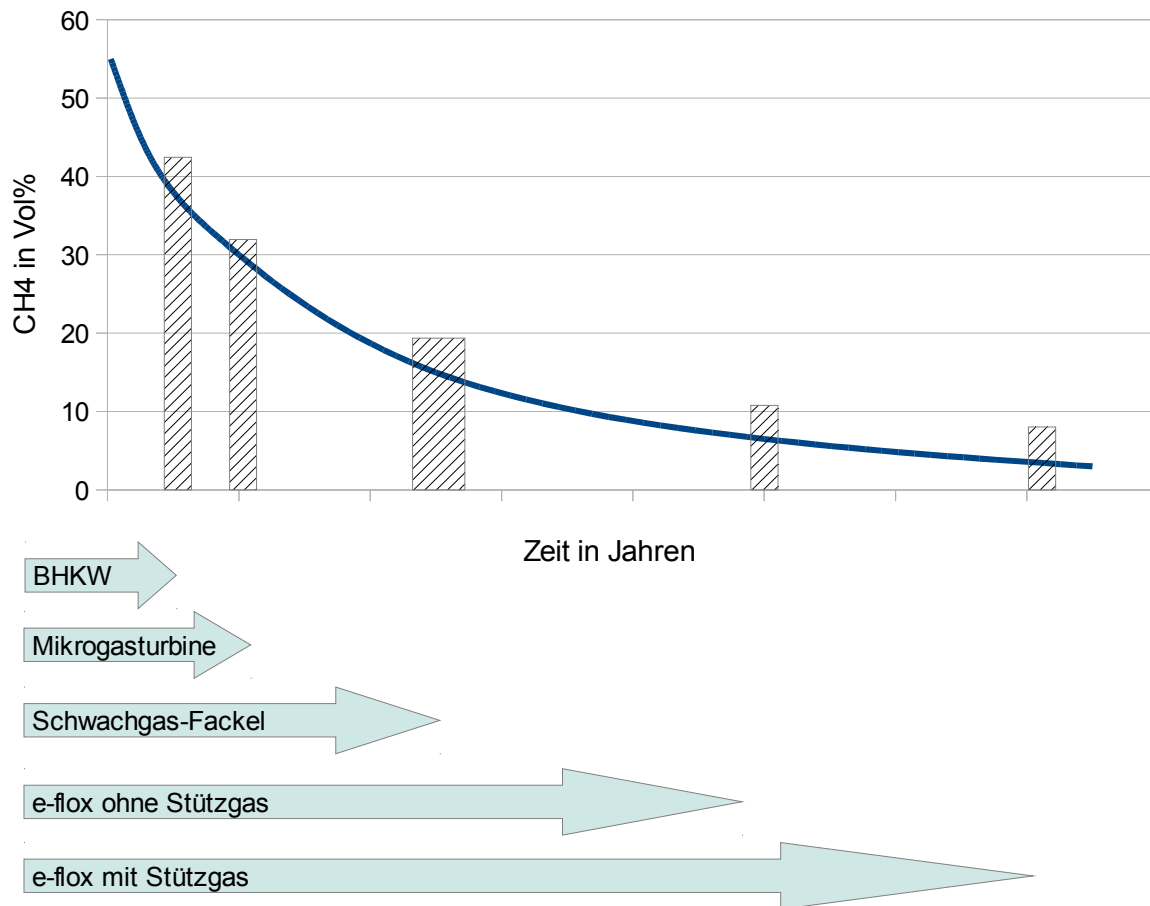


Abbildung 1: Methananteil im Deponiegas in der letzten Phase der Gasproduktion und dabei mögliche Gasverwertungen (der genaue Zeitverlauf ist Deponie-Spezifisch)

3 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 H₂S 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.

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.

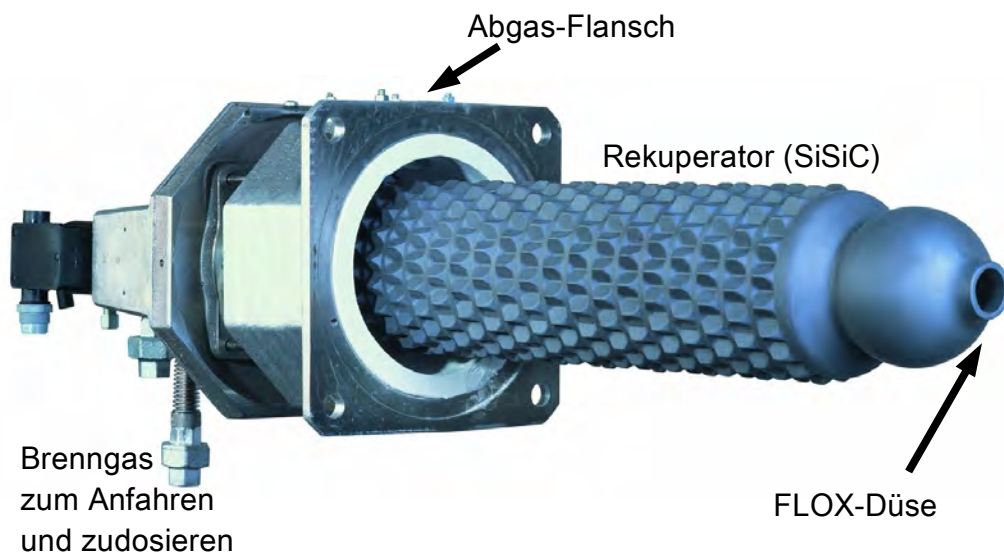


Abbildung 2: Keramischer Rekuperator-Brenner (Fa. WS Wärmeprozessestechnik GmbH)

4 e-flox Hochtemperaturreaktor

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

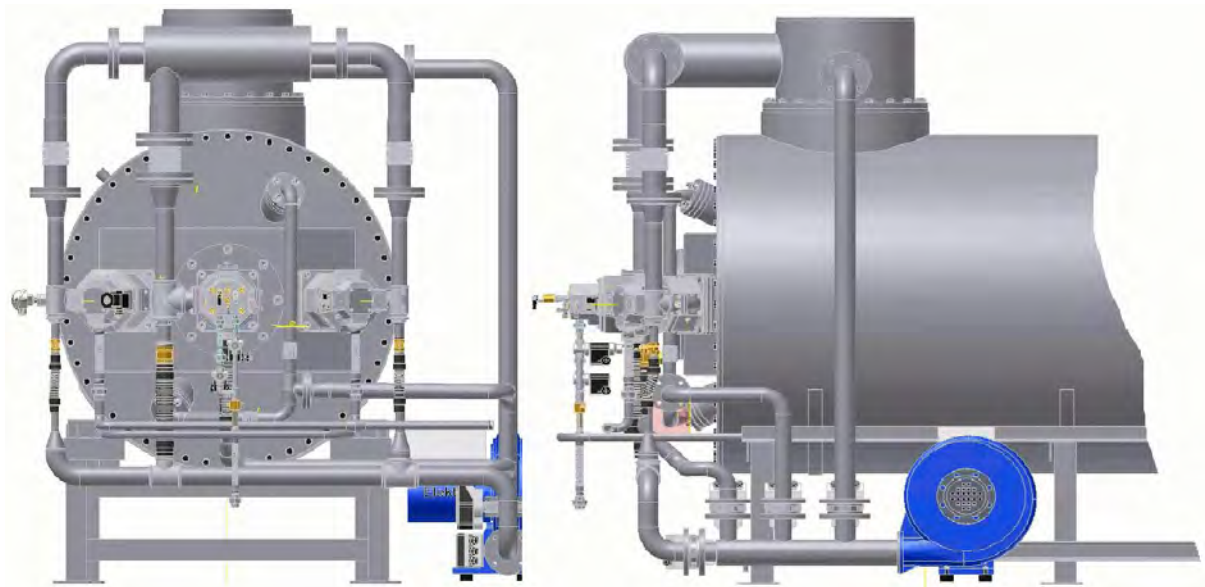


Abbildung 3: Deponiegasverbrennungs-Anlage DGV 100

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 und lediglich der mittlere Brenner läuft. Über den Rekuperator dieses Brenners wird Luft vorgewärmt. Die Brennkammer wird nun im FLOX-Modus weiter erwärmt. Nach Erreichen der Mindest-Temperatur von 1000°C wird auch Deponiegas über die beiden äußeren Rekuperatorbrenner eingedüst.

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, bestimmt die über die Brenner abgesaugte Abgasmenge und damit den Grad der Vorwärmung. Zusätzlich kann unvorgewärmte Luft direkt eingeblasen werden. Diese beiden Stellhebel werden zur Temperaturregelung der Anlage bei unterschiedlichen Methankonzentrationen verwendet.

Die Feuerungs-Anlage 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, falls diese Aggregate am Einsatzort nicht schon vorhanden sind. Dafür wird der Container um 10 Fuß (ca. 3 m) erweitert. Zwischen Feuerungsraum und Verdichter-Raum befindet sich dann eine gasdichte Wand.

5 Abgasemissionen der e-flox Feuerung

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 NO_x (Chemielumineszenz-Messung) für verschiedene Betriebspunkte dargestellt. Der Betriebspunkt mit rund 40 Vol% Methan im Deponiegas entsprach dem reinen Deponiegas, 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

Quelle	Messkomponente	Einheit	Maximaler Messwert minus Up	Maximaler Messwert plus Up	Emissionsbegrenzung	Betriebszustand
Verbrennung	Gesamt-C	mg/m ³	0	5	-	41,6 % Methan
Verbrennung	Kohlenmonoxid (CO)	mg/m ³	n.n.	n.n.	-	41,6 % Methan
Verbrennung	NOx als NO2	mg/m ³	177	199	-	41,6 % Methan
Verbrennung	Gesamt-C	mg/m ³	0	4	-	12,2 % Methan
Verbrennung	Kohlenmonoxid (CO)	mg/m ³	n.n.	n.n.	-	12,2 % Methan
Verbrennung	NOx als NO2	mg/m ³	80	90	-	12,2 % Methan
Verbrennung	Gesamt-C	mg/m ³	0	3	-	1,7 % Methan
Verbrennung	Kohlenmonoxid (CO)	mg/m ³	n.n.	n.n.	-	1,7 % Methan
Verbrennung	NOx als NO2	mg/m ³	63	69	-	1,7 % Methan
Verbrennung	Gesamt-C	mg/m ³	0	3	-	7,9 % Methan
Verbrennung	Kohlenmonoxid (CO)	mg/m ³	1	4	-	7,9 % Methan
Verbrennung	NOx als NO2	mg/m ³	16	18	-	7,9 % Methan

n.n. = kleiner Bestimmungsgrenze

Messwerte auf 3 Vol. % Sauerstoff bezogen.
Es sind keine Emissionsbegrenzungen festgelegt.

6 Sicherheitstechnische Aspekte bei der Schwachgasnutzung

In Entgasungsanlagen wird Deponiegas in unterschiedlichen Methan-Konzentrationen gefördert, verwertet oder entsorgt. Bei Vermischung mit Luftsauerstoff, z.B. durch undichte Stellen im Gasfassungssystem, können explosionsfähige Gasgemische gebildet werden. Folglich muss eine Klassifikation der gefährlichen Bereiche in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit der Bildung von explosiven Gemischen definiert werden.

Zone 0: kennzeichnet Bereiche, in denen explosionsfähige Gemische als ständig vorhanden vorausgesetzt werden müssen. Neben Prozessen, bei denen dies tatsächlich ständig der Fall ist, sind hierunter auch Prozesse zu verstehen, bei denen für eine längere Zeitspanne (z.B. während eines mehrstündigen Prozessschrittes) oder in kurzen Abständen regelmäßig wiederkehrend explosions-

fähige Gemische auftreten.
Zone 1: kennzeichnet Bereiche, in denen es im Normalbetrieb (einschließlich An- und Abfahren) gelegentlich zu explosionsfähiger Atmosphäre kommen. Dies geschieht jedoch in unregelmäßigen Abständen oder mit eingeschränkter Wahrscheinlichkeit, so dass nicht zwingend zu jedem Zeitpunkt damit gerechnet werden muss (z.B. im Innenraum von Mischbehältern).
Zone 2: kennzeichnet Bereiche, in denen es im Normalbetrieb nicht zu explosionsfähigen Gemischen. Hier sind nur störungsbedingte Zustände zu betrachten. Treten entsprechende Störungen aber zu häufig auf, oder stehen solche Störungen zu lange an (z.B. unerkannte Störungen oder mangelhafte Gegenmaßnahme bei einer Störung), so ist eine höherwertige Einstufung erforderlich.

Die sicherheitstechnischen Konzepte für Deponie-Entgasungseinrichtungen basieren auf dem sogenannten vorbeugenden und konstruktiven Explosionsschutz. Beim vorbeugenden Explosionsschutz werden Gaswarneinrichtungen installiert, die permanent die Gaszusammensetzung im Deponiegas messen (Ziel: Vermeidung zündfähiger Gasgemische). Ziel ist, die Gasfördereinrichtung und Gasverwertungseinrichtungen, die als potentielle Zündquellen anzusehen sind, zu überwachen. 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:

Überwachung mit redundanter Gaswarneinrichtung. Messung der CH₄-Konzentration und der O₂-Konzentration im Deponiegas.

Bei diesem Konzept sind die Grenzwerte für Methan (30/25-Vol.% CH₄) **und** Sauerstoff (3/6-Vol.% O₂) einzuhalten. Eine Überschreitung der Grenzwerte 25-Vol.% CH₄ oder 6-Vol.% O₂ führt zur sofortigen Abschaltung der Gasförderung.

Da die e-flox - Brennkammer konzipiert wurde um niederkalorische Gase zu verbrennen kann alternativ eine Überwachung mit einer 2-Kanal O₂-Konzentration eingesetzt werden. 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 Deflagra-

tionssicherungen 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.

Betreibt man die Anlage für beide Gase im kritischen Bereich ist die Ex-Zone auf Stufe 0 einzuordnen. Folglich muss daher dem Schutzkonzept „Vermeidung wirksamer Zündquellen“ eine größere Bedeutung zukommen. Für den Betrieb der Anlage sind nur noch Aggregate der Zone 0 zugelassen. Weil der größte Teil der am Markt verfügbaren Gasförderaggregate nicht für einen Betrieb in der Zone 0 erhältlich ist, muss auf folgende Punkte geachtet werden:

Die vorhandene Gasanalyse ist zur Kontrolle der Gasbildung im Deponiekörper beizubehalten. Für den Gasverdichter ergeben sich folgende Bedingungen bei **Zone 0** im Gasförderweg:

1. Bei Verdichtern mit Zulassung für **Zone 0** ist eine Absicherung mittels temperaturüberwachten Deflagrationssicherungen zur explosionstechnischen Entkopplung nicht erforderlich. Eine explosionsfeste Ausführung ist nicht erforderlich.
2. Bei Verdichtern mit Zulassung für **Zone 1** ist die Saugseite und Druckseite jeweils mit einer temperaturüberwachten Deflagrationssicherung zur explosionstechnischen Entkopplung auszurüsten. Eine explosionsfeste Ausführung ist erforderlich (PN6).
3. Bei Verdichtern mit Zulassung für **Zone 2** ist die Saugseite und Druckseite jeweils mit zwei temperaturüberwachten Deflagrationssicherungen zur explosionstechnischen Entkopplung auszurüsten. Eine explosionsfeste Ausführung ist erforderlich (PN6).

Die Verdichter sind gemäß Wartungshandbuch des Herstellers zu warten. Die Wartungsintervalle sind zwingend einzuhalten. Alle bestehenden sicherheitstechnischen Einrichtungen, außer der o. g. Einschränkung bzgl. der Gasanalyse, sind beizubehalten.

7 Abwärmenutzung

Der vielfach geäußerte Wunsch nach einer Nutzung der Abwärme bei einer klassischen Deponiegasfackel wurde aus konstruktiven Gründen bisher nie ausgeführt. Die im Überdruck zu betreibenden e-flox-Brennkammer kann jedoch die Abwärme für verschiedene Zwecke recht problemlos bereitstellen. Grundsätzlich wird die Wärmenutzung so angebunden, dass das heiße Abgas auch direkt abgeleitet werden kann wenn die Wärme gerade nicht benötigt wird. Der Abgasweg wird über zwei Hochtemperaturklappen nach Bedarf umgestellt. Auch eine modulierende Wärmeerzeugung ist über

diesen Mechanismus möglich. Bisher wurden zwei Varianten zur Wärmenutzung von e-flox realisiert.

7.1 Abhitzeessel

Eine Variante der Abwärmenutzung ist die Erzeugung von thermischer Energie in einem Warmwasserkessel oder einem Thermo-Öl Kessel. Der Abhitzeessel 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. Ist keine Wärmenutzung in der Nähe der Deponie verfügbar, so ist auch ein Wärmetransport über sogenannte Wärmecontainer möglich. Z.B. mit dem System der Firma LAThorm bei dem geschmolzene Salze die Wärme speichern und diese über die Straße zur Verwertungsstelle geführt wird.

7.2 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. 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.% CH ₄ und einer Gasmenge von 60 m ³ /h	> 5700 kW/Tag
30 Vol.% CH ₄ und einer Gasmenge von 50 m ³ /h	> 3600 kW/Tag
20 Vol.% CH ₄ und einer Gasmenge von 40 m ³ /h	> 1900 kW/Tag

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.

8 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