

# Deponie Titisee-Neustadt

Entsorgung von Deponieschwachgas  
durch eine flammenlose Oxidation

- Abschlussbericht -



ABFALLWIRTSCHAFT  
LANDKREIS  
BREISGAU-  
HOCHSCHWARZWALD

In Zusammenarbeit mit

***DepoTec - Service GmbH***  
*Anlagebau in der Deponietechnik*

und



gefördert durch das  
Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg



<b>1.</b>	<b>VERANLASSUNG</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>FLAMMENLOSE OXIDATION UND E-FLOX-TECHNIK</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Prinzip der flammenlosen Oxidation (Flox Verbrennung)</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>Bisherige Einsatzzwecke der Flox Verbrennung</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>RAHMENBEDINGUNGEN UND AUFBAU DER E-FLOX ANLAGE TITISEE-NEUSTADT</b>	<b>5</b>
<b>3.1</b>	<b>Entgasungssystem der Deponie Titisee-Neustadt</b>	<b>5</b>
<b>3.2</b>	<b>Anlagenaufbau in Titisee-Neustadt</b>	<b>6</b>
<b>3.3</b>	<b>Regelbereich der Anlage</b>	<b>8</b>
<b>3.4</b>	<b>Genehmigungen</b>	<b>8</b>
<b>3.5</b>	<b>Sicherheitstechnische Überwachung der Anlage und Arbeitsschutz</b>	<b>9</b>
<b>4.</b>	<b>NUTZUNG DER ANFALLENDEN ABWÄRME</b>	<b>10</b>
<b>5.</b>	<b>WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNGEN</b>	<b>11</b>
<b>6.</b>	<b>DURCHGEFÜHRTE MESSUNGEN AN DER ANLAGE</b>	<b>12</b>
<b>7.</b>	<b>ERSTE BETRIEBSERFAHRUNGEN UND EINZELASPEKTE</b>	<b>14</b>
<b>7.1</b>	<b>Aufheizbetrieb</b>	<b>14</b>
<b>7.2</b>	<b>Umrüstungsaufwand bei veränderten Volumenströmen</b>	<b>15</b>
<b>7.3</b>	<b>Umrüstungsaufwand bei veränderten Methangehalten</b>	<b>15</b>
<b>7.4</b>	<b>Überwachung der Propangasleitungen</b>	<b>15</b>
<b>7.5</b>	<b>Lautstärke</b>	<b>15</b>
<b>7.6</b>	<b>Online Überwachung der Anlage</b>	<b>16</b>
<b>7.7</b>	<b>Propangastank</b>	<b>16</b>
<b>7.8</b>	<b>Abblaseeinrichtung</b>	<b>16</b>
<b>8.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>17</b>



## **1. Veranlassung**

Seit Beendigung der Betriebsphase auf der Deponie Titisee-Neustadt im Jahre 2004 ist ein stetiger Rückgang sowohl der abgesaugten Deponiegasmenge als auch des Methangehaltes zu verzeichnen. Aus diesem Grund wird das anfallende Deponiegas bereits seit 2006 nicht mehr über einen Gasmotor verstromt, sondern nur noch über eine Hochtemperaturfackel (HT-Fackel) verbrannt.

In der jüngeren Vergangenheit konnte jedoch auch diese HT-Fackel aus den oben genannten Gründen nicht mehr durchgängig betrieben werden.

Um wieder eine dauerhafte Deponieentgasung sicherstellen zu können, hat die ALB eine Ausschreibung zur Einrichtung einer Schwachgasverbrennungsanlage durchgeführt. Bei der Ausschreibung wurde von Seiten der ALB u.a. ein Leistungsbereich der Anlage von 15-38 Vol.-% Methan sowie ein Volumenstrom von 20 -100 m<sup>3</sup>/h gefordert.

Das Angebot, das die ALB dann beauftragte, ein Nebenangebot der Fa. Depotec GmbH in Kooperation mit der Fa. E-Flox GmbH, sicherte der ALB sogar eine autotherme Verbrennung in einem Methanbereich von 6,5 - 40 Vol-% zu.

Aufgrund der Umsetzung der Deponieverordnung im Jahre 2005 darf inzwischen kein organischer Abfall mehr unvorbehandelt abgelagert werden. Daher werden im Laufe der nächste Jahre viele Deponien, sowohl bereits stillgelegte, als auch noch weiterbetriebene, mit zum Teil stark zurückgehenden Deponiegasmengen und -qualitäten (v.a. ein Rückgang von Methan) umgehen müssen.

Mit Hilfe dieser Technik, die bereits im Biogasbereich erfolgreich zum Einsatz kommt, könnte auch im Deponiegasbereich eine bislang vorhandene Lücke geschlossen werden.

Derzeit vorhandene Technologien können Deponieschwachgas, das für eine herkömmliche HT-Fackel nicht mehr geeignet ist, bis in einen Bereich von rund 10-12 Vol-% Methan verbrennen. Bei Werten, die darunter liegen ist ein weiteres technisches System notwendig, das eine ordnungsgemäße Restentgasung sicherstellt.

Die von E-Flox garantierten Werte würden es zukünftig ermöglichen, die Schwachgasentsorgung mit einem einzigen System durchführen zu können, zumal mit Hilfe einer Stützfeuerungsung mit Propan auch noch Methangehalte unter 6,5% zu verbrennen sind.

Darüber hinaus bietet das E-Flox System noch die Möglichkeit einer Abwärmenutzung, was z.B. zur Raumheizung oder zur Holz Trocknung eingesetzt werden kann.

Mit Hilfe des nachfolgenden Berichtes und den zuvor getätigten Messungen und Untersuchungen soll erläutert werden, dass der Einsatz dieser Technologie auf vielen Deponien technisch sinnvoll sein könnte und darüber hinaus auch wirtschaftlich darstellbar wäre.

Aufgrund des erwarteten Nutzens dieser Untersuchungen und Erfahrungen für andere Stadt- und Landkreise, wurde das Vorhaben durch das Umweltministerium Baden-Württemberg finanziell gefördert.

## 2. Flammenlose Oxidation und E-Flox-Technik

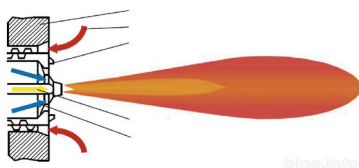
### 2.1 Prinzip der flammenlosen Oxidation (Flox Verbrennung)

Bei der so genannten Flox Verbrennung wird das anfallende Brenngas ohne die Ausbildung einer Flamme verbrannt (oxidiert).

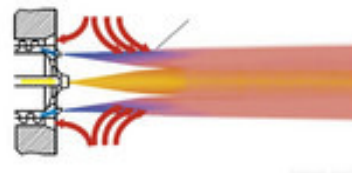
Die flammenlose Oxidation wird erreicht durch Einstellung folgender Rahmenbedingungen:

- Verbrennung in einer abgeschlossenen und definierten Brennkammer.
- Das Brenngas und Verbrennungsluft werden zunächst getrennt von einander gehalten und erst im Brennraum miteinander vermischt.
- Beide Gase werden mit sehr hohen Geschwindigkeiten in den Brennraum ( $> 50-100$  m/s) eingedüst um sehr schnell für eine gute Durchmischung zu sorgen und die Ausbildung einer Flammenfront zu unterbinden.
- Die hohe Geschwindigkeit der Brenngase und der Verbrennungsluft bewirkt zusammen mit der speziellen Brennkammerform eine stabile und starke interne Zirkulation der Verbrennungsgase in der Brennkammer.

Die Brennkammer wird zuerst mit Hilfe von Propan mit einer herkömmlichen Flamme auf rund  $850$  °C aufgeheizt. Danach wird die Brennkammer im Flox-Betrieb mit Propan bis auf  $1.000$  °C weiter aufgeheizt. Erst danach wird das Brenngas (Deponiegas) zugeführt und die Zufuhr von Propan ausgeschaltet. Der eigentliche Betrieb erfolgt dann ausschließlich mit Brenngas (Deponiegas) und Verbrennungsluft.



Anfahren des Startbrenners im Normalbetrieb



Startbrenner im Flox-Betrieb

Bilder: WS Wärmeprozessstechnik

**Abbildung 1: Startbrenner mit Propangas im Normalbetrieb und Flox-Betrieb**

#### Vorteile dieser Technik:

- Einstellung einer homogenen Verbrennung in der Brennkammer. Dadurch werden zum einen Bereiche mit zu geringen Temperaturen vermieden, die zu einer unvollständigen Verbrennung führen können, sowie Bereiche mit zu hohen Spitzentemperaturen (z.B. Flammenspitze einer HT-Fackel) an denen die Bildung von Stickoxiden verstärkt stattfinden würde.
- Flox-Brenner können durch die Vorwärmung der Rohgase durch das Abgas besser energiearme Gase (Schwachgase) verbrennen, als herkömmliche Gasfackeln.
- Bei den derzeit verwendeten Gasfackeln, führen stärkere Schwankungen im Rohgas meist zu Instabilitäten an der Flamme. Dies kann entweder zu einem Zusammenbruch der Flamme oder zu einem abheben der Flamme führen. Diese Probleme treten bei der Flox Verbrennung nicht auf, da dort keine Flamme vorhanden ist.
- Durch Steuerung der Rohgasvorwärmung, bzw. bei sehr hohen Methangehalten durch das Zugeben von Kühlluft, kann die Anlage in einem sehr weiten Konzentrationsfenster des Brenngases gefahren werden.
- Das anfallende Abgas kann zur Wärmeabfuhr genutzt werden.



- Es ist ausreichend die Temperatur im Abgang der Brennkammer zu überwachen, sowie die Verweilzeit ( $> 0,3$  s) zu berechnen. Eine weitere Überwachung, z.B. über ein UV-Auge o.ä. ist im Flox-Betrieb nicht erforderlich (erforderlich ist die Flammenüberwachung in der Aufheizphase).
- Bei entsprechender Rohgasüberwachung kann auf Abgasanalysen verzichtet werden.

#### Nachteile dieser Technik:

- Der reine Anschaffungspreis für einen Flox Brenner liegt derzeit noch höher (ca. 20-40%) als die bisher am Markt angebotenen Schwachgasverbrennungsreinrichtungen.
- Die Brennkammer muss nach jedem Neustart zuerst auf die Betriebstemperatur von mindestens  $1.000$  °C mit Propangas aufgeheizt werden.
- Aufgrund der Aufheizzeiten muss möglichst ein kontinuierlicher Betrieb der Anlage erreicht werden.

## **2.2 Bisherige Einsatzzwecke der Flox Verbrennung**

Ein Einsatzgebiet für die Flox Brenner war bislang die Stahlindustrie. Durch die Entwicklung von keramischen Rekuperatoren, können die Brenner auch bei sehr hohen Temperaturen eingesetzt werden. Dadurch konnten viele Hochtemperaturprozesse, die bislang mit elektrischer Energie betrieben wurden, auf den wesentlich günstigeren Erdgasbetrieb umgestellt werden.

Ein weiteres Einsatzgebiet für die Flox Verbrennung ist die Verbrennung von anfallenden Schwachgasen im Bereich Klärgas, Grubengas, Holzgas und vor allem auch Biogas. Durch den Einsatz im Biogasbereich entstand auch die Verbindung hin zum Deponiegas. Im Biogasbereich wird die Flox Technik zur Nachverbrennung der, bei der Biogasaufbereitung zur Einspeisung des Methans in das Erdgasnetz anfallenden, Rest- und Abgase eingesetzt. Diese Gase enthalten meistens sehr niedrige Methangehalte (2-7 Vol-% Methan in  $\text{CO}_2$ ) bei sehr hohen Abluftvolumenströmen. Zusätzlich zum autothermen Betrieb ist es durch die Flox Technik bei derartigen Anlagen noch möglich, die bei der Nachverbrennung anfallende Abwärme zu nutzen, z.B. zur Beheizung der Biogasfermenter und der Betriebsräume o.ä..

## **3. Rahmbedingungen und Aufbau der E-Flox Anlage Titisee-Neustadt**

### **3.1 Entgasungssystem der Deponie Titisee-Neustadt**

Die Deponie Titisee-Neustadt ist eine ehemalige Hausmülldeponie. Sie war seit Ende der 50er Jahre bis Dezember 2004 in Betrieb. Insgesamt wurden ca. 1 Mio  $\text{m}^3$  Abfall eingebaut, v.a. Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll, Bauschutt und Erdaushub sowie Klärschlämme. Die Deponie verfügt über ein aktives Entgasungssystem mit derzeit 33 Gasbrunnen, die über 3 Zwischenstationen gefasst und einen Drehkolbenverdichter abgesaugt werden. Bis Mai 2006 wurde das anfallende Deponiegas über einen Gasmotor in Strom umgewandelt und dieser ins öffentliche Stromnetz eingespeist. Aufgrund der stetig sinkenden Gasqualität und -quantität wurde der Gasmotor abgezogen. Seither wird das Gas über eine Hochtemperaturfackel ohne weitere Nutzung verbrannt. Derzeit fallen rund  $150.000$   $\text{m}^3/\text{a}$  Deponiegas an, mit einem Methangehalt von durchschnittlich knapp 30 Vol-%. Bei diesem Wert muss aber berücksichtigt werden, dass die HT-Fackel bei Werten unter 25 Vol-% sich selbstständig ausgeschaltet hat. Die HT-Fackel wurde gegen Ende nur noch ca. 3-4 Tage pro Woche betrieben.

### 3.2 Anlagenaufbau in Titisee-Neustadt

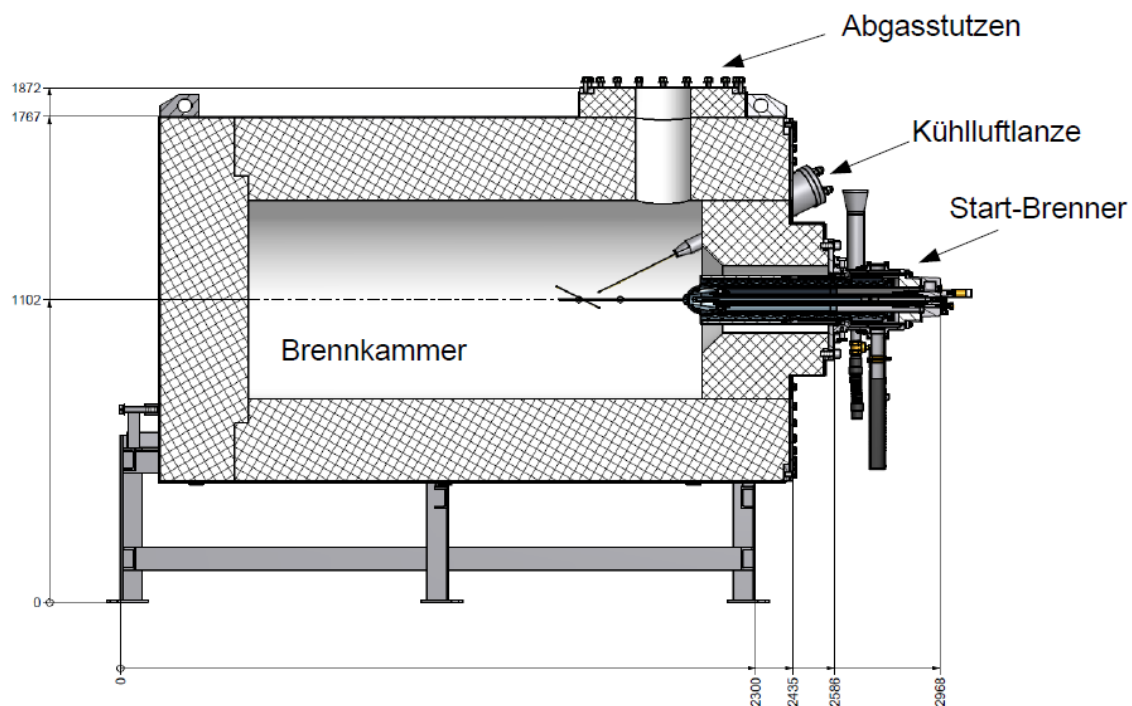
Die E-Flox Anlage in Titisee-Neustadt wurde in das bestehende Entgasungssystem der Deponie integriert. Sämtliche Gasbrunnen, Gasleitungen, Kondensattöpfe und auch der Drehkolbenverdichter sind weiterhin Bestandteil der Anlage.

Die E-Flox Anlage wurde nach dem Verdichter in das System eingebaut. Zum Schutz vor Witterungseinflüssen, die Deponie Titisee-Neustadt liegt auf ca. 850 müNN, wurde die Anlage in einen 20 Fuß Seecontainer integriert. Weiterhin wurde auf der Anlage noch ein Propangastank für die Aufheizphase mit einem Fassungsvermögen von 5 m<sup>3</sup> installiert.

Das Deponiegas wird über den Verdichter im Unterdruck abgesaugt und der E-Flox Anlage mit einem Überdruck von ca. 80 mbar übergeben.

Die E-Flox Anlage selbst besteht im Wesentlichen aus folgenden Bestandteilen:

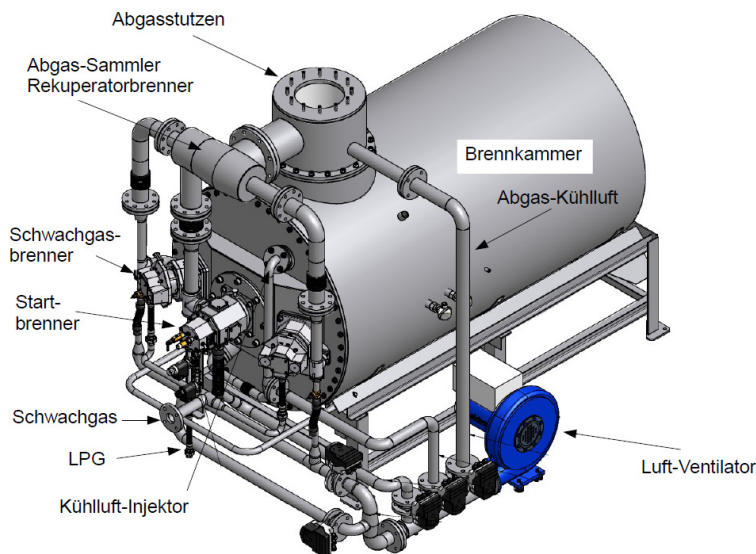
- Ein Verbrennungsluftventilator, der Verbrennungs- und Kühlluft mit dem erforderlichen Vordruck zur Verfügung stellt (Anschlussleistung: 5,5 kW, Volumenstrom: 38 m<sup>3</sup>/min)
- Eine liegende, zylindrische Brennkammer (Länge 3 m, Durchmesser 1,5 m) mit einer ca. 40 cm starken Isolierung aus Isolationsbeton
- Ein Startbrenner für die Aufheizphase mit Propangas (LPG)
- 2 Schwachgasbrenner (Rekuperatoren) zur Schwachgaszuführung
- 2 Kühllanzen zur Zugabe von zusätzlicher Verbrennungsluft
- 1 Abgaskamin
- 2 Temperaturfühler zur Überwachung der Verbrennung
- 1 EDV gestützte Anlagensteuerung
- Rohrleitungen, Ventile, Flansche, Sicherheitseinrichtungen



**Abbildung 2: E-Flox Anlage im Querschnitt**

Bild: E-Flox





**Abbildung 3: Schrägansicht der Brennkammer**

Bilder :E-Flox

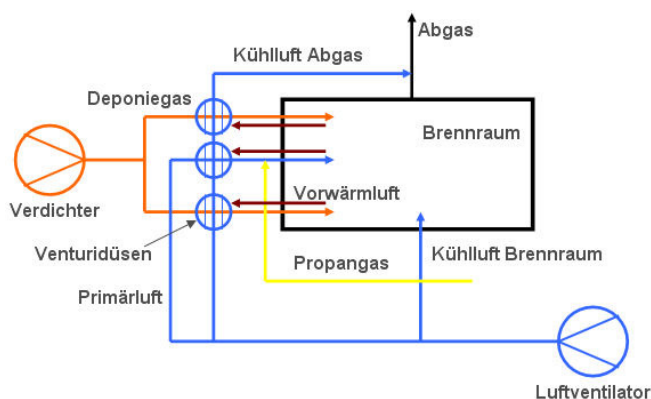


**Abbildung 4: Rekuperator**

Nach Aufheizen der Brennkammer mit Propangas im konventionellen Flammenbetrieb (mittlerer Brenner) bis 850 °C und dem anschließenden Umschalten auf den Flox-Betrieb, wird die Brennkammer weiter mit Propan bis über 1.000 °C aufgeheizt. In dieser Aufheizphase, die bei vollständig ausgekühlter Brennkammer ca. 3 Stunden andauert, wird kein Deponiegas der Anlage zugeführt und der Deponiegasverdichter fährt auf Standby. Ist die Anlage auf 1.000 °C aufgeheizt, erhält der Verdichter die Startfreigabe und fördert das Deponiegas zur E-Flox Anlage. Dort wird es über die beiden seitlich angeordneten Rekuperatoren mit einer Gasgeschwindigkeit von 50-100 m/s der Brennkammer zugeführt. Über den zentralen Startbrenner wird weiterhin Verbrennungsluft zugegeben und soweit erforderlich Propan zur Aufrechterhaltung der geforderten Temperatur zudosiert.

Das Deponiegas und die Verbrennungsluft werden durch einen Abgasteilstrom, der über die Rekuperatoren abgeführt wird, auf rund 450 °C vorgewärmt. Die Absaugung des Abgasteilstroms erfolgt über Venturi-Düsen, deren Treiblufte vom Luftventilator (Teilstrom) gestellt wird. Dieser Teilstrom wird in den Abgaskamin zur Kühlung des Abgases eingespeist. Die beiden vorgewärmten Gasströme treten dann getrennt in die Brennkammer ein und das Deponiegas oxidiert dort ohne die Ausbildung einer Flammenfront.

Die starke Vorwärmung des Deponiegases und der Verbrennungsluft und die flammlose Reaktion in der Brennkammer ermöglicht die autotherme (ohne Zuführung von externen Brennstoffen) Verbrennung bis zu einem Methangehalt von 6,5 Vol-% im Deponiegas. Nach der Verbrennung wird das Abgas direkt bzw. ein Teilstrom auf dem Umweg über die Rekuperatoren, über einen Kamin in die Umgebung abgegeben.



**Abbildung 5: Prinzipskizze E-Flox**



Die Überwachung und Steuerung der Verbrennung erfolgt zum einen über einen Temperatursensor und zum anderen über eine Lambda Sonde, die den Sauerstoffgehalt in der Brennkammer überwacht. Aufgrund der fehlenden Flammenfront kann eine UV-Sonde zur Überwachung der Verbrennung nicht eingesetzt werden. Im FLOX-Betrieb erfolgt die sicherheitstechnische Überwachung durch ein Doppelthermoelement mit Sicherheitstemperaturwächter. Lediglich beim Anfahren der Anlage bis 850°C wird ein UV Auge eingesetzt, das die Ausbildung einer Flamme beim Zuströmen des Propangases überwacht.

Die Verbrennung selbst wird gesteuert über die Vorwärmung des Deponiegases und über die Zudosierung von Kühlluft. Darüber hinaus kann die Anlage, das Absaugen des Deponiegases für einige Sekunden unterbrechen, um so eine Überhitzung zu vermeiden.

Die Überwachung der Raumluft im Container erfolgt über einen UEG-Sensor (Überwachung der unteren Explosionsgrenze in Luftatmosphäre) und einen Kohlendioxidssensor.

Die verschiedenen Anlagenparameter können jederzeit an der Anlage selbst über ein Panel abgelesen werden. Die Parameter (z.B. Betriebsstunden, Methangehalt, Durchflussmenge, Verbrennungstemperatur, usw.) werden parallel dazu gespeichert und in automatischen Protokollen regelmäßig per email an die zuständigen Mitarbeiter verteilt. Gleichzeitig werden diese Daten zur Sicherheit noch auf einer SD-Karte vor Ort gespeichert.

Darüber hinaus kann der Betriebszustand der Anlage jederzeit online über einen VPN-Anschluss am PC überwacht werden oder auch über ein internetfähiges Mobiltelefon. Die Online Steuerung der Anlage wäre ebenso möglich. Aus Sicherheitsgründen hat die ALB jedoch bewusst auf eine Online Steuerung verzichtet.

### **3.3 Regelbereich der Anlage**

Die Anlage selbst hat einen Nutzungs- und Regelbereich von 20-100 m<sup>3</sup>/h Deponiegas und kann Methangehalte im Bereich von 6,5-40 Vol-% garantiert autotherm verbrennen (kleinere Umbauarbeiten sind dabei jedoch notwendig. Siehe Punkte 7.2 und 7.3). Bei geringeren Methangehalten ist eine Stützfeuerung mit Propan möglich und notwendig. Somit kann der Methangehalt im Deponiegas theoretisch bis auf 0-Vol-% heruntergefahren werden.

Die Grenzen für den Sauerstoffgehalt im Deponiegas liegen bei 3 Vol-% (Voralarm) bzw. bei 6 Vol-% (Hauptalarm). Wird der Hauptalarm ausgelöst, schaltet die Anlage über die Sicherheitskette automatisch ab und die Brennkammer wird mit Kühlluft heruntergekühlt. Die Grenzwerte für Sauerstoff im Deponierohgas sind gemäß BGR 127 festgelegt und verhindern das Fördern eines explosionsfähigen Gemisches durch die Anlage.

Der Gasmengenbereich von 20-100 m<sup>3</sup>/h wurde in der Ausschreibung der ALB festgelegt. Als die HT-Fackel noch in Betrieb war, wurde eine Gasmenge von rund 65 m<sup>3</sup>/h abgesaugt, die als Grundlage für die Angabe des o.g. Mengenbereichs diente. Grundsätzlich ist es jedoch möglich E-Flox Anlagen mit anderen Mengenbereichen herzustellen. Es wurden im Biogasbereich bereits Anlagen bis 1.000 m<sup>3</sup>/h realisiert.

### **3.4 Genehmigungen**

Für den Betrieb der gesamten Entgasungsanlage der Deponie Titisee-Neustadt existiert eine Änderungsgenehmigung des Regierungspräsidiums Freiburg zum Planfeststellungsbeschluss für den Bau und Betrieb der Gesamtdeponie.

Für die Umrüstung von HT-Fackel auf die E-Flox Anlage wurde diese Entscheidung vom zuständigen Regierungspräsidium Freiburg entsprechend angepasst.





Folgende Auflagen müssen danach durch die Anlage eingehalten werden:

- Die Abgastemperatur muss mindestens 1.000 °C betragen. Sie ist messtechnisch zu überwachen und aufzuzeichnen
- Die Verweilzeit muss bei maximalem Gasdurchsatz mindestens 0,3 s andauern.
- Folgende Abgaskonzentrationen dürfen nicht überschritten werden:
  - 0,35 g/m<sup>3</sup> Schwefeloxide, angegeben als SO<sub>2</sub>
  - 30 mg/m<sup>3</sup> gasförmige anorg. Chlorverbindungen, angegeben als HCl
  - 3 mg/m<sup>3</sup> gasförmige anorg. Fluorverbindungen, angegeben als HF  
(bezogen auf Abgas im Normzustand bei 3 Vol-% O<sub>2</sub>)Diese Abgaskonzentrationen können entweder messtechnisch im Abgas überprüft werden oder rechnerisch mit Hilfe vorhandener Rohgasanalysen.

Die Verweilzeit ist einmalig für den maximalen Gasdurchsatz durch einen Bericht einer nach § 26 BImSchG bekannt gegebenen Messstelle nachzuweisen. Nach Inbetriebnahme ist die Temperaturmessung durch eine nach § 26 BImSchG bekannt gegebene Messstelle kalibrieren zu lassen. Dies kann durch Vergleichsmessungen, z.B. mit einem Absaugpyrometer, erfolgen. Diese Messungen sind alle 3 Jahre zu wiederholen. Ebenfalls ist die Anlage vor Inbetriebnahme durch einen nach § 29a BImSchG anerkannten Sachverständigen sicherheitstechnisch zu überprüfen und freizugeben.

Darüber hinaus haben die ursprünglichen Auflagen der Nachtragsentscheidung zur Deponieentgasung weiterhin Bestand. Weitergehende Auflagen zum Betrieb der Anlage, wie z.B. Dioxinuntersuchungen im Abgas wurden nicht getätigt.

### **3.5 Sicherheitstechnische Überwachung der Anlage und Arbeitsschutz**

Eine zentrale Aufgabenstellung bei der Entsorgung von Deponieschwachgasen ist der Umgang mit dem Thema Explosionsschutz.

Für diesen Bereich ist die BGR 127 einschlägig. Die grundsätzlichen Vorgaben sind dabei folgende:

*„...Um zu verhindern, dass gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in die Gasfördereinrichtung gelangen kann, ist der Fördervorgang zu unterbrechen, wenn durch kontinuierliche messende Gaswarneinrichtungen ohne Messstellenumschalter festgestellt wird, dass bei Methan Überwachung 25 Vol-% CH<sub>4</sub> unterschritten wird oder dass bei Sauerstoff Überwachung 6 Vol-% O<sub>2</sub> überschritten werden.*

*Es ist empfehlenswert durch die Gaswarneinrichtung einen Voralarm auszulösen, wenn bei Methan Überwachung 30 Vol-% CH<sub>4</sub> unterschritten wird oder bei Sauerstoff Überwachung 3 Vol-% O<sub>2</sub> überschritten werden.*

*Die Überwachungseinrichtungen müssen redundant aufgebaut sein, wobei der Einsatz je eines CH<sub>4</sub>- und eines O<sub>2</sub>-Messgerätes auch als redundant gilt.*

*...Abweichend...sind andere sicherheitstechnische Konzepte nur nach Vorlage eines positiven Gutachtens eines Sachverständigen und seiner Zustimmung zulässig. ...“*

Auf Basis dieser BGR verfügen die meisten Deponiegasverbrennungsanlagen über eine parallele Methan- und Sauerstoffüberwachung, die bei Erreichen der o.g. Grenzwerte zur automatischen Abschaltung führt. Im Bereich der Schwachgasverbrennung kann dieses Konzept jedoch nicht weiter Anwendung finden, da es gerade Sinn und Zweck einer Schwachgasverbrennung ist, Gase mit Werten deutlich unter 25 Vol-% Methan noch zu verbrennen. Die BGR 127 lässt jedoch auch alternative Konzepte zu, sofern diese durch einen entsprechenden Gutachter geprüft wurden. Aus diesem Grund hat die ALB die Umwelttechnik Bojahr damit beauftragt ein entsprechendes Konzept für die neue Schwachgasverbrennungsanlage in Titisee-Neustadt zu erarbeiten.



Das Konzept wurde auf der Anlage in Titisee-Neustadt derzeit wie folgt umgesetzt. Die bestehende Deponiegasüberwachung mit je einem Methan- und einem Sauerstoffsensoren wurde ersetzt. Der Methangehalt wird nur noch angezeigt, ist aber nicht mehr in die Sicherheitskette integriert. Anstatt dessen wurden zwei redundante Sauerstoffsensoren installiert, die bei 3 Vol-% einen Voralarm anzeigen und bei 6 Vol-% einen Hauptalarm auslösen und die Anlage herunterfahren. Somit kann der Methangehalt beliebig nach unten gefahren werden.

Darüber hinaus ist der Verdichter selbst, wie bisher auch, explosionsdruckfest (PN 6) ausgeführt und verfügt saug- und druckseitig über je eine temperaturüberwachte Deflagrationssicherung.

Die E-Flox Anlage muss nach Vorgaben der Umwelttechnik Bojahr wie folgt abgesichert sein:

Im Anfahrbetrieb erfolgt die Überwachung der Flamme konventionell über ein UV-Auge. Bei einströmendem Propangas und fehlender Flamme, wird die Gaszufuhr gestoppt und der Brennraum mit Kühlluft gespült. Durch Zuführung von reinem Propan, befindet sich im Aufheizvorgang kein explosives Gasgemisch in den Leitungen

Im Floxbetrieb erfolgt die erste Absicherung durch die hohe Strömungsgeschwindigkeit. Ein Magnetventil sorgt für einen Gasvordruck von mindestens 80 mbar, bevor es geöffnet wird und das Gas einströmen kann. Dieser Vordruck sorgt für Gasgeschwindigkeiten von >50m/s an der Brenneröffnung. Dadurch wird eine dynamische Flammensperwirkung erreicht. Als zusätzliche Sicherheit muss jedoch ebenfalls eine temperaturüberwachte Deflagrationssicherung vor der eigentlichen Brennkammer vorgeschaltet werden und die Gasstrecke zwischen Deflagrationssicherung und Brenner druckstoßfest (mind. PN 6) ausgeführt werden.

#### **4. Nutzung der anfallenden Abwärme**

Die anfallende Abwärme der Anlage wird derzeit ohne weitere Verwertung über den Kamin in die Umgebung abgegeben. Dies liegt darin begründet, dass auf der Deponie Titisee-Neustadt derzeit noch keine geeignete Verwertungsmöglichkeit besteht. Diese ist jedoch grundsätzlich technisch möglich und realisierbar.

Mögliche Nutzungsvarianten für die Abwärme wären zum Beispiel die Beheizung von Räumen oder die Nutzung der Abwärme zur Trocknung von z.B. Holzhackschnitzeln, Gärreststoffen o.ä..

Die derzeit in Titisee-Neustadt installierte E-Flox Anlage produziert bei einem Methangehalt von rund 30 Vol.-% und einem Deponiegasvolumenstrom von rund 50 m<sup>3</sup>/h eine Abwärmemenge von rund 150 kW. Unter Berücksichtigung von Stillstandszeiten und Wärmeverlusten kann mit einer durchschnittlichen nutzbaren Abwärmemenge am Kamin der E-Flox Anlage von ca. 120 kWh gerechnet werden.

Diese stünde dann als Heizenergie zur Verfügung oder zur Biomassetrocknung.

Für die Trocknung von Biomasse müsste mit weiteren Verlusten, wie z.B. Leitungsverlusten, nicht optimale Luftführung im Brennstoff, usw. gerechnet werden. Bei einer angenommenen Reduzierung des Wassergehaltes von 50% (frisches Waldholz) auf 20% würde dies zu einer Trocknungskapazität von ca. 10 t Brennholz/Tag führen. Diese Menge kann natürlich erheblich variieren und ist unter anderem abhängig von der Länge der Wärmeleitungen, der Trocknungscontainer usw.

Die anfallende Abluftmenge bei den oben vorgegebenen Bedingungen setzt sich zusammen aus dem abgesaugten Deponiegas, der Primärluft für die Verbrennung sowie der Kühlluft. Primär- und Kühlluft sind stark abhängig von der zugeführten Deponiegasmenge und deren Methangehalt, es kann jedoch grob gerechnet werden mit dem Verhältnis 1:3:10, d.h. im konkreten Fall mit 50 m<sup>3</sup>/h Deponiegas, 150 m<sup>3</sup>/h Primärluft sowie 500 m<sup>3</sup>/h Kühlluft, was in Summe einen Abluftvolumenstrom (am Kamin) von rund 700 m<sup>3</sup>/h ergibt.

Die Kosten für die Integration einer Hackschnitzeltrocknung an der Anlage in Titisee-Neustadt würden derzeit rund 50.000 Euro betragen. Darüber hinaus können je nach Wärmenutzungskonzept noch unterschiedliche Kosten für die Errichtung der entsprechenden Infrastruktur bzw. für Wärmeleitungen entstehen.

## **5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen**

Bei der Durchführung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind mehrere Aspekte zu berücksichtigen. Als erstes müssen die Anschaffungskosten berücksichtigt werden. Darüber hinaus sind die laufenden Kosten, wie z.B. Kosten für den Anlagenbetrieb und deren Überwachung sowie Wartungs- und Ersatzteilkosten zu bewerten. Es sollten aber auch der Abschreibungszeitraum und vor allen Dingen weitere notwendige, anlagentechnische Anschaffungen zur Sicherstellung einer ordnungsgemäßen Deponieentgasung für geringe Gaskonzentrationen im Blick behalten werden. Zuletzt kann unter Umständen noch eine Wärmenutzung, sofern vorhanden, positiv gegen gerechnet werden.

Die Kosten für eine Anlage in der beschriebenen Größe liegen bei rund 100.000 Euro (netto). Darin enthalten sind die Verbrennungseinrichtung, die Steuerungstechnik, die Gasanalyse sowie ein Verdichter für das Deponiegas. Die Kosten für die Verbrennungseinrichtung ohne Gasanalyse und Verdichter, die in eine vorhandene Steuerungstechnik integriert werden kann, liegen bei rund 60.000 Euro (netto). Die genannten Kosten sind lediglich Anhaltspunkte und können je nach konkretem Projekt variieren. Zusätzlich ist die Miete und regelmäßige Befüllung eines Propangastanks erforderlich. Die Mietkosten liegen bei rund 200 Euro/a und die Kosten für einen Anfahrprozess auf 1.000 °C belaufen sich auf rund 3 €. Die E-Flox Anlage garantiert jedoch eine autotherme Verbrennung bis zu 6,5 Vol-% Methan und bei geringeren Methangehalten kann die Verbrennung durch eine Propangasstützfeuerung aufrechterhalten werden, wohingegen die Grenzen der anderen Anlagen bei rund 10-15 % lagen. Diese Differenz erhöht zum einen wesentlich die Nutzungsdauer einer E-Flox Anlage und somit auch deren Abschreibungszeitraum und zum anderen kann, zumindest nach derzeitigem Stand der Technik, auf die Errichtung eines zweiten aktiven Schwachgasentsorgungssystems im einstelligen Methangehaltsbereich verzichtet werden. Die Anschaffungskosten für ein derartiges zweites System werden auf rund 40.000 bis 50.000 Euro geschätzt.

Die durchschnittlichen Kosten für Verschleiß- und Ersatzteile liegen laut Herstellerangaben unter 1.000 Euro pro Jahr zzgl. Personalkosten. Für das teuerste Einzelersatzteil, den Verbrennungsreaktor (ca. ¼ der Gesamtkosten) wurde durch den Hersteller eine Standzeit von ca. 10 Jahren angegeben.

Was ebenfalls in die Wirtschaftlichkeitsberechnungen eingerechnet werden muss sind die anfallenden Überwachungskosten. Die E-Flox Anlage kann durch ihren definierten Brennraum wie eine herkömmliche HT-Fackel bewertet werden, d.h. es sind für diese Anlagen lediglich regelmäßige Rohgasanalysen notwendig, sowie die Einhaltung der Schwellen von 1.000°C Mindesttemperatur bei einer Mindestverweilzeit von 0,3 Sekunden. Abgasuntersuchungen sind nicht erforderlich, es muss nur alle drei Jahre die Temperaturmessstelle neu überprüft werden.

Bei einem Flächenbrenner fallen nach Auskunft des RP regelmäßige Abgasuntersuchungen an, da hier kein definierter Brennraum vorhanden ist, in dem die o.g. Schwellen sicher nachgewiesen werden können. Daher müssen bei Flächenbrennern zu Beginn und dann wiederkehrend alle drei Jahre Abgasuntersuchungen (z.B. Dioxine und Furane) durchgeführt werden. Erste Anfragen bei Labors haben dabei Kosten von rund 5.000 Euro pro Untersuchung ergeben. Auf 10 Jahre betrachtet, wären dann Beträge im Bereich von rund 40.000 Euro aufzuwenden. Durch Ausschreibung, Verbindung mit anderen Messungen auf der Deponie bzw. durch längerfristige Verträge könnten diese sicherlich noch deutlich gesenkt werden, trotzdem fallen erhebliche Kosten an.



Besteht die Möglichkeit einer Abwärmenutzung sind die Einsparungen für Heizenergie bzw. die Erträge durch Trocknungsverfahren ebenfalls positiv mit einzurechnen.

Da die Anlage in Titisee-Neustadt die erste Anlage ihrer Art im Deponiegasbereich darstellt, kann bei weiteren Anlagen zusätzlich mit Kosteneinsparungen durch Optimierungen in der Anlagenherstellung sowie im Aufbau vor Ort gerechnet werden. Die beiden Auftragnehmer rechnen an dieser Stelle mit einem möglichen Einsparpotenzial von rund 10 %, wobei diese Einsparungen ggf. durch projektspezifische Variationen (bauliche Unterbringung, Nutzung vorhandener Komponenten) deutlich verstärkt bzw. kompensiert werden können.

Führt man alle diese Einzelaspekte zusammen, so ist es aus Sicht der ALB zukünftig die Errichtung einer solchen Anlage, auch im Vergleich bislang auf dem Markt erhältlichen Systemen, wirtschaftlich darstellbar.

## **6. Durchgeführte Messungen an der Anlage**

Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Anlage und zur geforderten Vergleichsmessung der Abgastemperaturmessstelle hat die ALB den TÜV Süd beauftragt. Die ALB hat dabei vier verschiedene Deponiegaskonzentrationen im Zustrom zur E-Flox Anlage hergestellt. Diese wurden dann in der Anlage verbrannt und von Seiten des TÜV Süd wurden der Temperaturverlauf am Ausgang der Brennkammer sowie einige Abgasparameter im Kamin bestimmt. Darüber hinaus wurde durch den TÜV Süd noch eine Analyse des Deponierohgases gemäß „Leitfaden zur Überwachung des Betriebes von Siedlungsabfalldeponien“ des UVM Baden-Württemberg durchgeführt.

Um die verschiedenen Deponiegaskonzentrationen herzustellen, wurde das vorhandene Deponiegas im Anlagenzustrom mit technischem Stickstoff verdünnt, um so künstlich geringe Methankonzentrationen simulieren zu können, ohne ein explosionsfähiges Gasgemisch zu erzeugen.

Folgende Gaskonzentrationen wurden im Zustrom zur Anlage eingestellt:

- Messung 1: 41,6 Vol-% Methan 2,5 Vol-% Sauerstoff 44,9 m<sup>3</sup>/h Durchfluss
- Messung 2: 12,2 Vol-% Methan 1,8 Vol-% Sauerstoff 44,4 m<sup>3</sup>/h Durchfluss
- Messung 3: 7,9 Vol-% Methan\*<sup>2</sup> 1,0 Vol-% Sauerstoff 44,6 m<sup>3</sup>/h Durchfluss
- Messung 4\*: 1,7 Vol-% Methan\*<sup>2</sup> 0,1 Vol-% Sauerstoff 44,1 m<sup>3</sup>/h Durchfluss

\* Bei Messung 4 wurde zur Stützfeuerung Propangas zudosiert. Die zugeführte Propangasmenge lag im Bereich von ca. 0,5 m<sup>3</sup> Propan pro Stunde.

\*<sup>2</sup> Nach Durchführung der Messungen wurde festgestellt, dass der Methansensor im Laufe der Messungen einen leichten Drift im Nullpunktsbereich erfahren hatte. Der Drift bewegte sich im Bereich um ca. 1 Vol-% Methan, d.h. es ist davon auszugehen, dass die Methangehalte bei den Messungen 3 und 4 real noch etwas unterhalb der oben angegebenen Werte lagen.

Bei diesen Betriebszuständen wurde die Temperatur am Austritt an der Brennkammer gemessen, sowie folgende Parameter im Abgas:

- Gesamtkohlenstoff und Kohlenmonoxid als organische Parameter
- Stickoxide als NO<sub>2</sub> angegeben



	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4
<b>Deponiegasparameter (im Zustrom zur Anlage)</b>				
Methan [Vol-%]	41,6	12,2	7,9	1,7
Sauerstoff [Vol-%]	2,5	1,8	1,0	0,1
Durchfluss [m³/h]	44,9	44,4	44,6	44,1
<b>Abgasparameter (nach Verbrennung des Deponiegases)</b>				
Abgastemp. E-Flox [°C]	1.097	1.060	1.055	1.088
Abgastemp. TÜV [°C]	1.052	1.039	1.003	1.007
Messdauer Temp. [min]	10	5	5	5
Gesamt-C [mg/m³]	2,1	1,7	1,1	0,9
CO [mg/m³]	n.n.	n.n.	2,4	n.n.
Stickoxide [mg/m³]	188	85	17	66
Messdauer Abgas [min]	30	30	30	30

**Tabelle 1: Temperatur und Abgaswerte verschiedener Betriebszustände**

Wie in Tabelle 1 abzulesen ist, konnte die Schwachgasverbrennungsanlage in allen Betriebszuständen, die geforderte Abgastemperatur von 1.000 °C einhalten. Die Messung „E-Flox“ erfolgt direkt in der Brennkammer, die Vergleichsmessung des TÜV erfolgte direkt oberhalb der Brennkammer am Stutzen des Abgaskamins. Daraus folgend hat sich ergeben, dass die Temperaturmessungen durch die vorhandene E-Flox Messung rund 30-80 °C über den Messungen des TÜV lagen. Die Temperaturvergleichsmessung hat ergeben, dass die Anlage bei einer Mindesttemperatur von 1.055 °C zu betreiben ist, um sicher die geforderten 1.000 °C einzuhalten. Daher wurde die Anlage im Nachgang zu den TÜV Messungen entsprechend kalibriert.

Die Berechnung der Verweilzeit ergab, dass die Mindestverweilzeit 0,76 Sekunden beträgt (bei maximalem Anlagendurchsatz von 100 m³/h und 41,6 Vol% CH<sub>4</sub>). Die Verweilzeit bei allen anderen Betriebszuständen liegt entsprechend darüber.

Ebenso kann der Tabelle 1 entnommen werden, dass die Verbrennung des Deponiegases sehr sauber erfolgt. Die Werte für C-Gesamt liegen bei allen Messungen bei 2,1 mg/m³ oder z.T. deutlich darunter. Bei CO wurde einmalig ein Wert von 2,4 mg/m³ gemessen alle anderen Werte lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Bei den Stickoxiden, gemessen als NO<sub>2</sub>, lag der höchste gemessene Wert bei 188 mg/m³, die weiteren Werte lagen zwischen 17 und 85 mg/m³. Aufgrund der geforderten Verbrennungstemperatur von > 1.000 °C entstehen zwangsläufig Stickoxide. Dies wird auch bei den Abgasmessungen deutlich. Die dort gemessenen Werte für NO<sub>2</sub> können im Hinblick auf den Verbrennungsprozess jedoch noch als niedrig bezeichnet werden.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Schwachgasverbrennungsanlage alle geforderten Grenzwerte sicher einhält und über einen sehr guten Verbrennungsprozess bezüglich der organischen Parameter verfügt.

Die Anlage ist derzeit steuerungstechnisch für den Bereich 30 Vol.-% Methan und einen Durchfluss von rund 50 m³/h ausgelegt. Dadurch, dass die Anlage in kürzester Zeit die obigen Betriebszustände abarbeiten musste, war sie sicherlich vor allem für die niedrigen





Methangehalte noch nicht optimal eingestellt. Durch bessere Regelung von Verbrennungs- und Kühlluft, für den entsprechenden Einstellungsbereich kann das Verbrennungsverhalten noch weiter optimiert werden.

## **7. Erste Betriebserfahrungen und Einzelaspekte**

Die Anlage ist inzwischen über 3.000 Stunden in Betrieb und lief bislang ohne nennenswerte Störungen. Das größte Problem ist sicherlich die neue Einregulierung der einzelnen Gasbrunnen auf der Deponie selbst und dann die steuerungstechnische Anpassung der Anlage auf das abgesaugte Deponiegas. Bislang lief die vorhandene HT-Fackel zwischen 2 und 4 Tagen pro Woche und in der restlichen Zeit wurde die Deponie nicht aktiv entgast. Wenn die Fackel in Betrieb genommen wurde, hatte das anfallende Deponiegas meist Methangehalte um die 40-Vol-%. Die Fackel konnte mit einem minimalen Durchfluss von ca. 65 m<sup>3</sup>/h gefahren werden und daher wurde die Deponie faktisch übersaugt weshalb der Methangehalt nach wenigen Tagen auf unter 25 Vol-% fiel und die Anlage automatisch ausschaltete.

Während der ersten Betriebsphase wurde nun versucht die Anlage im Dauerbetrieb fahren zu können. Dabei stellte sich heraus, dass hierfür eher ein Durchfluss im Bereich von 30-35 m<sup>3</sup>/h ideal wäre und sich das Deponiegas im Dauerbetrieb derzeit in einem Bereich von 25 Vol-% bewegt. Auch in diesem Leistungsbereich lässt sich die Anlage problemlos betreiben und erreicht die geforderten 1.000 °C Mindestverbrennungstemperatur. Vor allem während der langen Trockenphase im Herbst sanken die Methangehalte aber auch schon unter 18 Vol-%. Aufgrund dieser veränderten Rahmenbedingungen mussten z.T. einige Gasbrunnen auf der Deponie deutlich nachjustiert werden und auch die Software der Anlage angepasst werden (z.B. zur Steuerung der Verbrennungsluft usw.).

Alles in Allem betrachtet erfüllt die Schwachgasverbrennungsanlage bislang die in sie gestellten Anforderungen vollständig.

Der Betreuungsaufwand für die Anlage war während der Errichtungsphase natürlich deutlich erhöht. Seit die Anlage im Regelbetrieb läuft, ist der Aufwand geringer als zuvor bei der HT-Fackel. Die beiden Hauptgründe hierfür sind zum einen der deutlich verbesserte Dauerbetrieb der Anlage und zum anderen die Möglichkeit der online Überwachung, welche viele vor Ort Kontrollen entbehrlich macht.

Nachfolgend sind einige Einzelaspekte aufgeführt, die der ALB bislang während der ersten Betriebsphase aufgefallen sind und die für erwähnenswert gehalten werden.

### **7.1 Aufheizbetrieb**

Im Gegensatz zu einer herkömmlichen HT-Fackel, kann die E-Flox Anlage nicht sofort mit Deponiegas betrieben werden, sondern muss zuerst mit Propangas vorgeheizt werden. Die Aufheizdauer im vollständig erkalteten Zustand beträgt bei dieser Anlagengröße in etwa 3 Stunden und kostet ca. 3 Euro pro Aufheizevorgang. Die Aufheizdauer ist deshalb so lang, weil die Anlage mit ca. 40 cm Isolierbeton ausgekleidet ist. Dementsprechend langsam kühlt die Anlage aber auch aus. Bis zur vollständigen Auskühlung der Anlage vergehen meist 1-2 Tage. Wird die Anlage wenige Minuten oder Stunden nach dem Ausschalten wieder neu gestartet, so dauert der Aufheizevorgang deutlich kürzer und ist meist in weniger als 15 Minuten erfolgt.

Aufgrund dessen sollte bei der Installation einer solchen Anlage stets darauf geachtet werden, dass diese Anlage möglichst im Dauerbetrieb läuft und nur wenige Stillstandszeiten aufweist. Dies sollte aber ohnehin Ziel einer Deponieentgasungsanlage sein, da nur durch





den kontinuierlichen Betrieb eine gute Entgasungssituation auf einer Deponie zu erreichen ist.

## **7.2 Umrüstaufwand bei veränderten Volumenströmen**

Unterschreitet der Deponiegasvolumenstrom dauerhaft 30 m<sup>3</sup>/h, so verringert sich auch die Mündungs- bzw. Austrittsgeschwindigkeit des Deponiegases bei den beiden Schwachgasbrennern. Außerdem wird ggf. zu viel Abgas über die Schwachgasbrenner abgesaugt (mehr als durch die Verbrennung der geringen Schwachgasmengen entsteht). Deshalb empfiehlt die Herstellerfirma E-Flox in diesem Fall die Stilllegung (Abschaltung) und bei längeren Zeiträumen den Ausbau eines der beiden Schwachgasbrenner (zur Materialschonung). Danach kann die Anlage wie geplant weiterbetrieben werden. Wird dieser Ausbau im Rahmen eines Regelservices vorgenommen, so belaufen sich die Kosten für den Betreiber auf unter 500 Euro.

## **7.3 Umrüstaufwand bei veränderten Methangehalten**

Abhängig von langfristigen Schwachgasvolumenstrom und Methangehalt im Schwachgas ändert sich das dynamische Verhalten der Feuerung stark, da die Verweilzeiten in der Feuerung deutlich variieren. Aus diesem Grund ist von Zeit zu Zeit eine Anpassung der Temperatur- und Sauerstoffregler an die aktuelle Deponiegaszusammensetzung und –menge erforderlich. Dies erfolgt bei Abschluss eines Wartungsvertrags alle zwei Jahre im Rahmen des Regelservices. In diesem Fall werden keine zusätzlichen Kosten fällig. Die üblichen Schwankungen im Volumenstrom und in der Gaszusammensetzung werden durch die Steuerung automatisch eingeregelt.

## **7.4 Überwachung der Propangasleitungen**

Durch die Aufheizung bzw. Stützfeuerung mit Propan, wird auf der Anlage, neben dem Deponiegas, mit einem zweiten brennbaren Gas umgegangen. Dieser Aspekt ist auch sicherheitstechnisch zu beachten und zu bewerten. So muss zum Beispiel das Explosionsschutzdokument darauf angepasst werden und auch bei der Raumluftüberwachung muss dies berücksichtigt werden. Die in Neustadt verwendete Raumluftüberwachung der Fa. GfG spricht sowohl auf Methan, als auch auf Propan an. Dies müsste auch bei den meisten anderen Messköpfen der Fall sein, muss aber vorab geprüft werden. Weiterhin muss bei der Anordnung der Messköpfe im Raum beachtet werden, dass sowohl austretendes Deponiegas als auch Propan rechtzeitig durch die Messköpfe erfasst wird.

## **7.5 Lautstärke**

Aufgrund der notwendigen hohen Luftgeschwindigkeiten muss der Verbrennungsluftventilator mit einer relativ hohen Drehzahl arbeiten. Dies hat trotz inzwischen nachgerüstetem Schalldämpfer immer noch eine erhebliche Geräuschentwicklung zur Folge, so dass beim Aufenthalt im Container Lärmschutzmaßnahmen für die Mitarbeiter angezeigt sind (z.B. Gehörschutz). Außerhalb des Containers bewegt sich die Lautstärke im Abstand von 1m bei geschlossener Tür immer noch im Bereich von rund 65 dB(A).

Da die Deponie Titisee-Neustadt weit abgelegen von jeglicher Bebauung liegt, ist die Lautstärkeentwicklung akzeptabel. Nach Herstellerangaben sollen zukünftige Anlagen mit einem verbesserten Ansaugschalldämpfer ausgerüstet werden, so dass die Lärmentwicklung deutlich geringer ausfallen dürfte.



## **7.6 Online Überwachung der Anlage**

Die Anlage kann sowohl über einen handelsüblichen PC mit Internetanschluss als auch über ein mobiles Endgerät (Smartphone o.ä.) online überwacht werden. Ebenso wäre es denkbar, die Anlage über einen online Zugriff zu steuern. Hierauf wurde aus Sicherheitsgründen bei der Anlage Titisee-Neustadt bislang verzichtet. Darüber hinaus kann über diese Verbindung auch die Steuerung bzw. Anpassung der Anlagensoftware erfolgen. Der Zugriff auf die Anlage erfolgt über das Internet mit einer (verschlüsselten) VPN-Verbindung. Da die Anlage in Titisee-Neustadt über keinen Telefonanschluss verfügt und eine Handy Verbindung aufgrund der Lage in einem Talkessel nur unzureichend ist, wird die Verbindung über einen Satellit hergestellt. Dazu ist auf der Anlage eine entsprechende Satellitenschüssel montiert. Mit dieser Technik ist eine bidirektionale Verbindung möglich, d.h. es können damit sowohl Daten empfangen als auch versendet werden.

Die auflaufenden Daten der Anlage werden zweifach gesichert. Eine Sicherung der Daten vor Ort auf einer SD-Karte sowie eine Zwischenspeicherung von Daten, die in regelmäßigen Abständen automatisch per email an einen ausgewählten Verteilerkreis versendet werden. Dazu existieren zwei temporäre Speicher, wovon einer aktuell mit Daten gefüllt wird und der andere (volle) Speicher, die Daten per e-mail so lange versucht zu versenden, bis er ein Antwortprotokoll erhält. Danach tauschen beide Speicher ihre Aufgaben. Die Zeitintervalle für die Protokolle können sehr unterschiedlich sein, je nachdem, wie kurz die einzelnen Messintervalle (z.B. Temperaturaufzeichnung einmal pro Tag, pro Stunde oder pro Sekunde, usw.) gewählt werden.

## **7.7 Propangastank**

Die Kosten für die Errichtung und den Betrieb des Propangastanks kann man überschlägig wie folgt zusammenfassen (alle Angaben sind brutto angegeben):

Der Tank, der in Titisee-Neustadt installiert wurde, hat ein Fassungsvermögen von 4,85 m<sup>3</sup>. Für die Aufstellung eines Gastanks muss entweder eine ebene und befestigte (z.B. Mineralbeton oder eine Schottertragschicht) Fläche (in Titisee-Neustadt ca. 2m x 5m) vorhanden sein oder eingerichtet werden.

Die Kosten für Lieferung und Aufstellung lagen bei rund 250 Euro. Die Kosten für den Anschluss des Gastanks und die Druckprüfung der Leitung lagen bei rund 500 Euro. Darüber hinaus musste der Gastank noch eingezäunt werden, wobei sich die Kosten für einen Stabgitterzaun auf rund 3.000 Euro beliefen.

Die Befüllung des Tanks mit rund 4.000 Liter Propan kostete rund 2.500 Euro.

Mit diesen 4.000 Litern Propangas könnte die Anlage rund 150 Mal aus dem vollständig erkalteten und ca. 400 Mal aus dem warmen Zustand auf 1.000 °C aufgeheizt werden. Geht man davon aus, dass die Anlage im Regelbetrieb sicherlich nicht öfter als einmal die Woche neu gestartet wird, reicht eine Tankfüllung also für drei bis fünf Jahre.

## **7.8 Ablaseeinrichtung**

Trotz der Möglichkeit auch Schwachgas verbrennen zu können, sollte bei Errichtung einer solchen Anlage weiterhin die Option zum Abblasen von Deponiegas erhalten werden. Dies ist vor allem dann sehr wichtig, wenn zum Beispiel durch eine Leckage oder schlechte Gasbrunnen der Sauerstoffgehalt im Deponiegas zu stark angestiegen ist und damit der Sauerstoffgrenzwert im Gas überschritten ist. Ohne diese Ablasevorrichtung wäre dann keine Inbetriebnahme der Anlage möglich.



## **8. Zusammenfassung**

Aufgrund stetig rückläufiger Gasmengen und sinkender Gasqualität auf der ehemaligen Hausmülldeponie Titisee-Neustadt hat die Abfallwirtschaft Breisgau-Hochschwarzwald (ALB) sich dazu entschlossen die bisherige Deponiegasfackel rückbauen zu lassen und durch eine Verbrennungseinrichtung für Deponieschwachgas zu ersetzen. Die laut Ausschreibung zu garantierenden Werte waren ein Leistungsbereich von 20 -100 m<sup>3</sup>/h Deponiegas und ein Methangehalt von von 15 – 35 Vol-%. Gewinner dieser Ausschreibung war, unter Berücksichtigung von Preis, Unterhalts- und Betriebskosten sowie Leistungsfähigkeit der Anlage, die Fa. Depotec, die eine Schwachgasverbrennungsanlage der Fa. E-Flox angeboten hat. Die dort zur Anwendung kommende Technik ist eine flammenlose Oxidation, mit sehr hohen Strömungsgeschwindigkeiten und damit einer sehr guten Durchmischung im Brennraum, mit gleichzeitiger Vorwärmung des Brenngases durch rückgeführtes Abgas. Mit Hilfe dieser Technik gelingt es der Anlage, Deponiegas mit einem Gehalt von 6,5 Vol-% Methan noch autotherm zu verbrennen. Ebenso konnte mit dieser Anlage auch Deponiegas mit einem Methangehalt von 40 Vol-% technisch einwandfrei verbrannt werden. Dieser Leistungsbereich wurde durch Versuche, die durch den TÜV Süd messtechnisch begleitet wurden, nachgewiesen.

Darüber hinaus ist es möglich, die Anlage z.B. mit einem Abhitzekeessel, einer Abgas/Luft-Mischstrecke zur Bereitstellung von Trocknungsluft o.ä. auszurüsten, so dass die anfallende Abwärme z.B. zu Trocknungs- oder Heizzwecken genutzt werden kann.

Durch das sehr große Methan-Fenster, das durch die Anlage abgedeckt werden kann, den sehr niedrigen Methangehalt, bei dem die Verbrennung noch autotherm erfolgt, und die gleichzeitige Möglichkeit einer Abwärmenutzung, stellt die E-Flox Schwachgasverbrennungsanlage eine neuartige Technik und Weiterentwicklung im Bereich der Deponieentgasung dar. Mit dieser Anlagentechnik wird es voraussichtlich möglich sein, nach Ende des Betriebs eines Motor-BHKW oder einer Standard-Fackel, ohne weitere Anlagentechniken die Deponiegase bis zum Ende der aktiven Entgasungsphase zu entsorgen oder gar zu nutzen. Dies schafft eine hohe Investitions- und Betriebssicherheit und ermöglicht eine lange Amortisationsdauer.

Alle Beteiligten möchten sich bei dieser Gelegenheit nochmals ausdrücklich beim Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg für die Förderung dieses Projekts sowie beim Regierungspräsidium Freiburg für die tatkräftige Unterstützung bedanken