

# Nutzung der e-flox Schwachgasverbrennung zur in-situ Stabilisierung der Deponie

Dr. Roland Berger

## 1 Gasproduktion und Gasfassung nach der Stilllegung

Der überwiegende Teil der eingelagerten organischen Müllbestandteile liegt nach dem Ende der Mülleinlagerung in eine Abfalldéponie so vor, wie er eingebaut wurde. Diese organischen Bestandteile können anaerob oder aerob abgebaut werden. Beim anaeroben Abbau entsteht Déponiegas das verwertet werden kann, beim aeroben Abbau entsteht  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$ . Da der „Bioreaktor“ Déponie sehr groß und inhomogen ist gibt meist aerobe und anaerobe Bereiche.

Erste wenn ein Großteil dieser Organik abgebaut und in seine anorganischen Bestandteile überführt ist, ist der Déponiekörper mechanisch und chemisch soweit stabil, dass zum einen keine Setzungen mehr statt finden und zum anderen nur noch vernachlässigbare diffuse Gasemissionen auftreten. Nur wenn dieser Zustand erreicht ist, kann guten Gewissens das Ende der Nachsorge für eine Abfalldéponie ins Auge gefasst werden.

Wie schnell und wie vollständig dieser gewünschte Zustand erreicht wird, hängt ganz wesentlich von der Strategie des Déponiebetriebs bzw. der Art der Déponiegaserfassung ab. Dies wird qualitativ in Bild 1 dargestellt. Dabei werden vier Strategien verglichen, die nicht nur wie im Bild dargestellt unterschiedliche Erfassungsgrade und Methan-Konzentrationen im Déponiegas bewirken, sondern auch ganz wesentlichen Einfluss auf die Dauer der Déponie-Stabilisierung haben. Diese Dauer sinkt in der dargestellten Reihenfolge 1-4, wobei absolute Zeitangaben ob der sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen nicht möglich sind.

1. Motorische Nutzung oder HT-Fackel: Sehr oft wird versucht, den Methangehalt im Déponiegas möglichst hoch zu halten, um die vorhandene herkömmliche Déponiegasverwertung möglichst lange weiterbetreiben zu können. Hierfür muss die Absaugmenge reduziert werden, um die gesamte Déponie anaerob zu halten. Dies führt dazu, dass „schlechte Brunnen“ abgestellt werden, die Gasverwertung nur noch temporär stattfindet (Intervallbetrieb), der Gasfassungsgang sinkt und oftmals als Konsequenz hohe Emissionen in Kauf genommen werden. Déponien die so betrieben werden, müssen intensiv, z.B. über FID Begehungen, überwacht werden, um inakzeptable Emissionen zu vermeiden.
2. Schwachgas-Fackel: Wird dagegen weiterhin so viel Déponiegas abgesaugt, dass keine Emissionen auftreten, kommt es im Umkehrschluss zu aeroben Prozessen, da nun auch Luft in den Déponiekörper eingesaugt wird. Der Methangehalt sinkt deshalb ab. Den geringsten Aufwand stellt hier die Schwachgasfackel mit einem autothermen Betriebspunkt von ca. 15 Vol%  $\text{CH}_4$  im Déponiegas dar. Allerdings erfolgt hier die Aerobisierung nur sehr langsam, und abhängig von der Qualität der Gasbrunnen auch nur partiell.

3. Belüftung durch effektive Absaugung (z.B. inspiro®): Will man gezielt aerobisieren und damit den Abbau der organischen Bestandteile in der Deponie beschleunigen, muss stärker gesaugt werden. Durch die intelligente Regelung aller Brunnen und Belüftungsstellen sowie deutlich erhöhte Absaugmengen, wird der gesamte Deponiekörper unter Unterdruck gesetzt und schrittweise aerobisiert. Mit diesem Verfahren kann mit der vorhandenen Deponie-Infrastruktur kosteneffizient ein Maximum an Aerobisierung erreicht werden.
4. Druck-Belüftung (z.B. Aeroflott®): Um eine noch schnellere und zielgenauere Aerobisierung zu erreichen, wird bei der aktiven Belüftung gezielt Luft in den Deponiekörper eingepresst. Dafür werden bestehende Gasbrunnen genutzt, die durch zusätzliche Brunnen ergänzt werden. Der Aufbau von Belüftungsanlagen und -leitungen erforderlich. Auch muss die Gasverwertung wegen der großen Volumenströme entsprechend ausgelegt werden. Diese Maßnahmen erfordern hohe Investitionen.

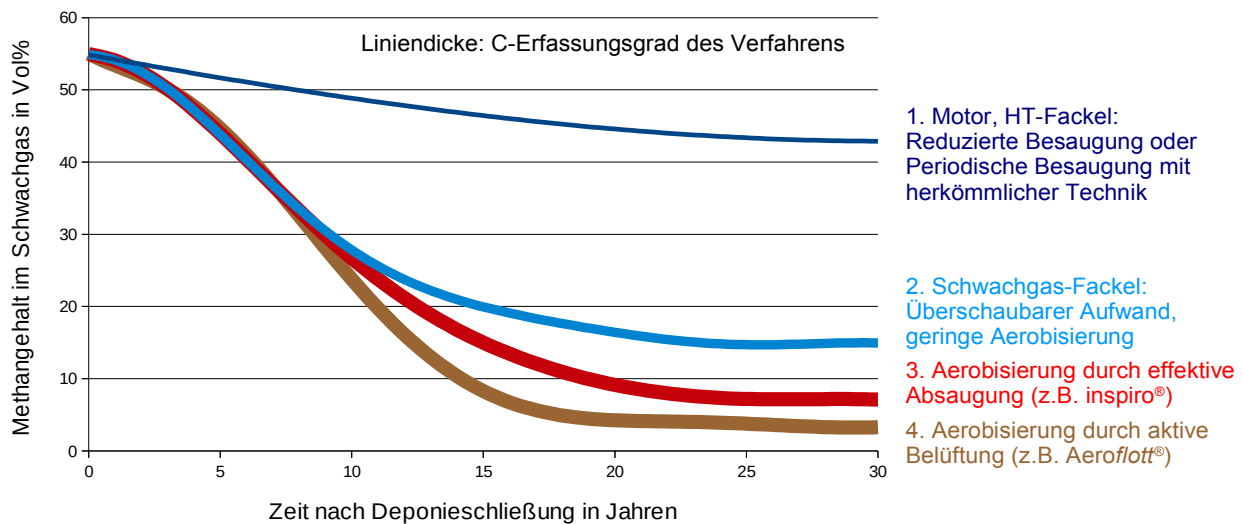


Bild 1: Einfluss verschiedener Deponiegas-Erfassungsstrategien auf Erfassungsgrad und Methanengehalt im Deponiegas

Bei den beiden letztgenannten Verfahren ist der Grad der Deponiegasfassung nahezu 100% und die Stabilisierung der Deponie wird signifikant beschleunigt. Der Aufwand in Hinsicht auf die Investitions- und Betriebskosten steigt in der angegebenen Reihenfolge, vergütet wird dies durch die erwartete Verkürzung der Betreuungsdauer.

Die beschriebenen Strategien haben Konsequenzen für die Deponiegasfassung wie auch für die Deponiegas-Verwertung. Der folgende Abschnitt konzentriert sich auf die Anforderungen an die Deponiegas-Verwertung, wenn eine Aerobisierung bzw. Stabilisierung erreicht werden soll (Strategie 3 und 4)

## 2 Anforderungen an die Deponiegas-Verwertung

Um eine Deponie zu stabilisieren, muss das nachgeschaltete Oxidationssystem dazu in der Lage sein, Deponiegas mit deutlich unter 10 Vol% Methan sicher zu oxidieren. Hieraus ergeben sich bei

genauer Betrachtung folgende Herausforderungen:

## **2.1 Vollständige Oxidation des Deponiegases**

Richtet man die Deponie-Entgasung auf das Ziel der in-situ Stabilisierung durch Aerobisierung aus, so sinken zwar die Methangehalte, die Methanfracht steigt aber aufgrund höherer Gasfördermengen in der Regel wieder deutlich an. Deshalb ist es notwendig, das Methan vollständig zu oxidieren, um den Nutzen der Aerobisierung für die Umwelt nicht zu konterkarieren. Biofilter oder gar passive Methan-Oxidationsschichten sind wegen der beschränkten Methan-Abbauraten hierfür kaum geeignet, sie sollten erst bei weitgehend fortgeschrittener Stabilisierung zum Einsatz kommen. Katalytische Systeme fallen wegen des H<sub>2</sub>S Gehalts im Deponiegas aus, da dieses als Katalysatorgift wirkt. Deshalb muss, um Umsetzungsgrade von deutlich über 99,9% zu erreichen, das Deponiegas thermisch oxidiert werden. Als Kriterium für den vollständigen Umsatz gelten meist die Anforderungen der TA-Luft mit Gesamtkohlenwasserstoff Emissionen von unter 20 mg/m<sup>3</sup> @ 3 Vol % O<sub>2</sub>.

## **2.2 Sicherstellung eines stabilen Feuerungsbetriebs**

Bei sinkenden Methangehalten wird die Stabilisierung einer Flamme zunehmend schwieriger. Auch beim Einsatz von Schwachgas-Fackelsystemen mit Metallgeweben wird bei hohen CO<sub>2</sub>-Gehalten im Deponiegas und bei Methangehalten unter 12-15 Vol.% die Flammenstabilisierung unmöglich. Es ist dann erforderlich mit einer Stützfeuerung zu arbeiten oder vom Flammenbetrieb wegzugehen. Bei der Flammlosen Oxidation (FLOX<sup>®</sup>) wird z.B. konsequent ohne Flamme gearbeitet, die Überwachung des Oxidationsbetriebs erfolgt nicht mehr mit einem Flammewächter, sondern über eine eigensichere Temperaturüberwachung.

## **2.3 Temperaturhaltung des Oxidationssystems**

Für eine sichere Oxidation der im Deponiegas enthaltenen Komponenten ist eine Temperatur von > 850°C erforderlich. Die Anforderungen der TA-Luft und der darauf basierenden Genehmigungsbescheide zwingen sogar meist zu Temperaturen von über 1000°C.

Die bei der Oxidation freiwerdende Wärme muss, unter Abzug der Brennraum-Verluste, die notwendige Energie aufbringen, um den Temperaturhub zwischen eintretenden Gasen (Deponiegasen und Verbrennungsluft) und der Feuerraumtemperatur zu erbringen. Je nach Gaszusammensetzung und Anforderungen an die Feuerraumtemperatur gelingt dies bei Methangehalten im Deponiegas unter 12-15% nicht mehr. Dann muss Verbrennungsluft oder besser noch Luft und Deponiegas vorgewärmt werden. Hierfür wird dem aus der Feuerung austretende Abgas über regenerative oder rekuperative Wärmetauscher Wärme entzogen und an die eintretenden Gasströme übertragen.

Um die damit möglichen Betriebsbedingungen zu verdeutlichen wurde eine Massen- und Energiebilanz unter folgenden beispielhaften Randbedingungen erstellt:

- Deponiegasvolumenstrom: 100 m<sup>3</sup>/h i.N.
- Betriebstemperatur Feuerung: 1020°C (1000°C aus der TA-Luft + Sicherheitsabstand)
- Restsauerstoffgehalt im Abgas: 3 Vol% (d.h. es wird jeweils nur die notwendige Luftmenge zugegeben)
- Für die Berechnung wurden verschiedene Deponie-Zustände zugrunde gelegt, ein noch weitgehend anaerober Betrieb mit nur 5% N<sub>2</sub> und aerober Deponie-Zustände mit deutlich erhöhten N<sub>2</sub>-Gehalten und mit erhöhtem Sauerstoff-Gehalt im Deponiegas (3 Vol%).

Unter diesen Bedingungen wird mit Hilfe eines Software-Werkzeugs (HSC 7.1) auf Basis aller thermodynamischer Stoffwerte der jeweilige autotherme Methangehalt berechnet, der für die Betriebstemperatur von 1020°C notwendig ist. Der Rest des Deponiegases besteht dann aus CO<sub>2</sub>.

Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in den Bildern 2-4 dargestellt. Für die Bilder 2 und 3 wird jeweils der Wärmeverlust der Brennkammer variiert. Die dargestellten Unterschiede bei den Wärmeverlusten können wie folgt eingeordnet werden:

- 20 kW: Typische Verluste einer oben offenen Schwachgasfackel
- 10 kW: Wärmeverlust einer mit Feuerfest- und Feuerleicht-Beton ausgemauerten Brennkammer (300 mm Isolationsstärke)
- 5 kW: Wärmeverlust einer mit Keramikfaser isolierten Brennkammer (300 mm Isolationsstärke)

Wo es Sinn macht wurden zur Orientierung und besseren Einordnung noch die typischen Betriebsfenster verschiedener Anlagentypen mit dargestellt:

- Schwachgasfackel: Bis auf wenige Prototypen mit Luftvorwärmung arbeitet dieser von ver-

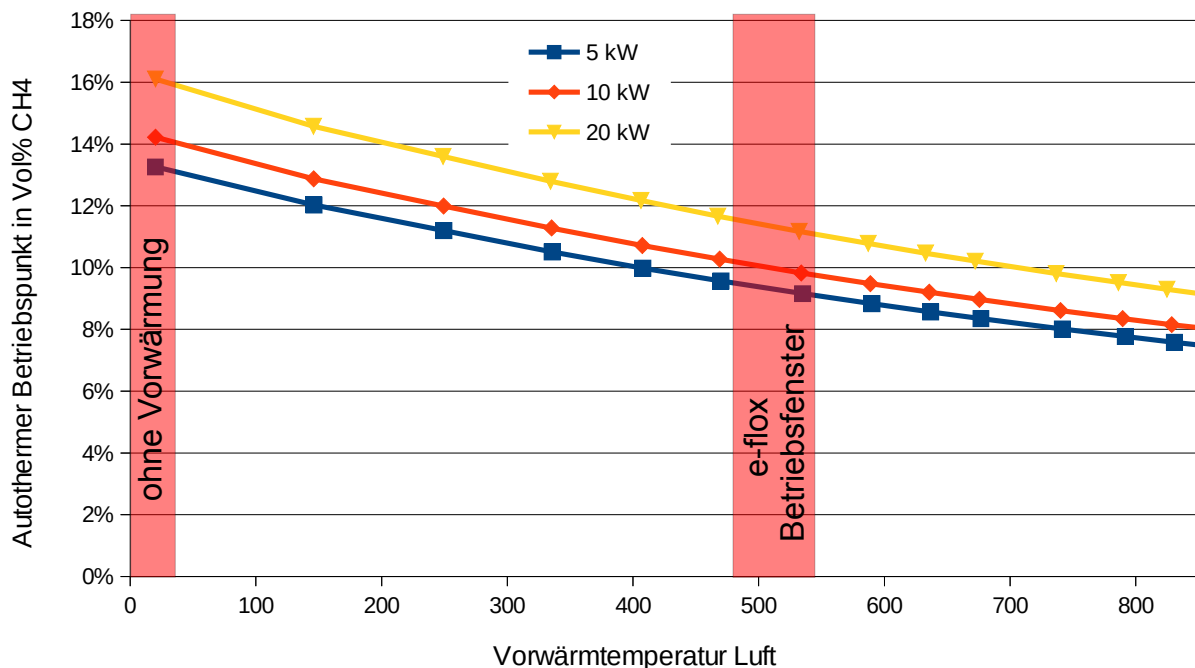


Bild 2: Autothermer Betriebspunkt bei reiner Luftvorwärmung und unterschiedlichen Brennkammeverlusten bei anaerobem Deponiezustand (N<sub>2</sub> im Deponiegas nur 5 Vol%)

schiedenen Herstellern angebotene Anlagentyp ohne Vorwärmung.

- e-flox Schachgasverbrennung Typ C: Schwachgasverbrennung mit keramischen Rekuperatorbrennern zur Luft- und Schwachgasvorwärmung auf 500-550°C.
- RTO / e-flox Typ CS: Regenerative thermische Oxidation (z.B. Vocsi-Box) und e-flox Verbrennung mit kombinierten keramisch-metallischen Rekuperatoren (CS-Brennern).

Es zeigt sich, dass bei einer reiner Luftvorwärmung (Bild 2) das Ziel eines autothermen Betriebspunkts von unter 10 Vol% CH<sub>4</sub> nur bei sehr hohen Vorwärmgraden erreicht werden kann, dies liegt auch daran, dass der Luftbedarf bei geringeren Methankonzentrationen sinkt, der Effekt der Luftvorwärmung also immer geringer wird. Um einen deutlichen Effekt erzielen zu können, ist es deshalb erforderlich Luft- und Deponiegas vorzuwärmen.

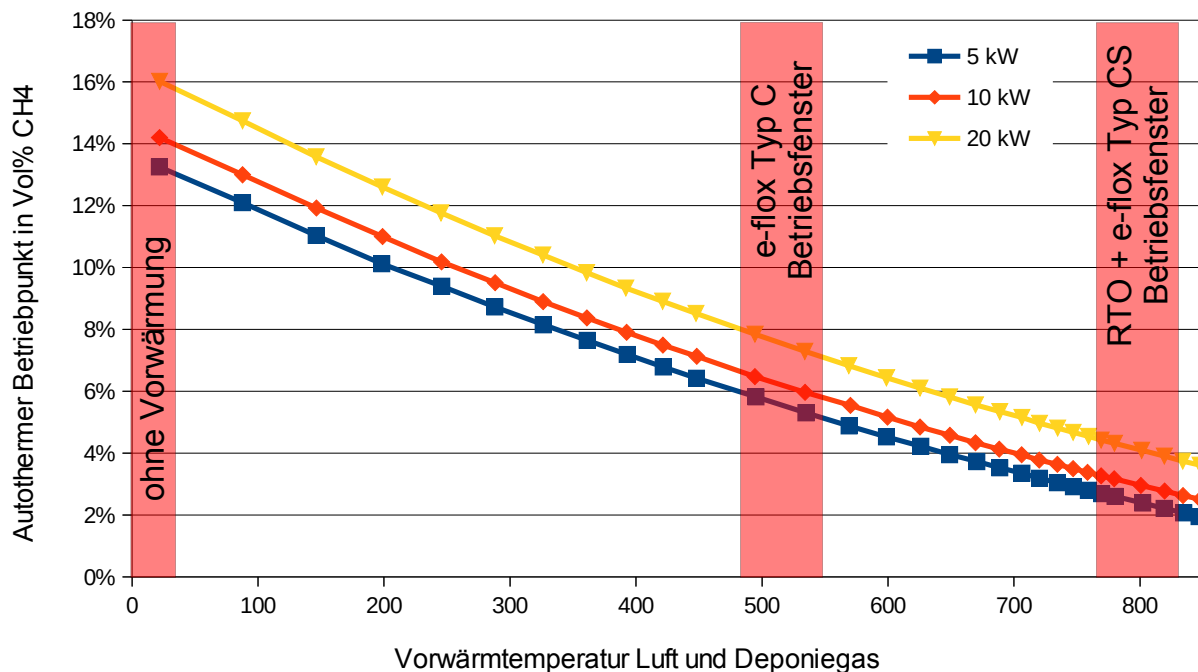


Bild 3: Autothermer Betriebspunkt bei Luft- und Deponiegavorwärmung und unterschiedlichen Brennkammerverlusten, sonst identische Bedingungen wie in Bild 2

Einen wesentlichen Einfluss hat wie oben vermerkt auch der Zustand der Deponie. Bild 4 zeigt für ein System mit 10 kW Wärmeverlust den Einfluss der Deponiegaszusammensetzung (anaerob bzw. aerob dominiert) auf den autothermen Betriebspunkt. Es zeigt sich, dass bei fortschreitender Aerobisierung das Erreichen niedriger autothermer Betriebspunkte leichter fällt. Dabei ist noch nicht berücksichtigt, dass wegen der geringeren Wärmekapazität des Stickstoffs auch höhere Vorwärmtemperaturen möglich sind.

Das e-flox System kann nach Bedarf ausgemauert oder mit Faserisolierung angeboten werden. Bild 3 und Bild 4 zeigen, dass so ein autothermer Betriebspunkt von rund 6 % erreicht werden kann. Bei RTO's oder e-flox Systemen mit kombinierten keramisch-metallischen Brennern sind dann sogar autotherme Betriebspunkte von < 3 Vol% CH<sub>4</sub> möglich.

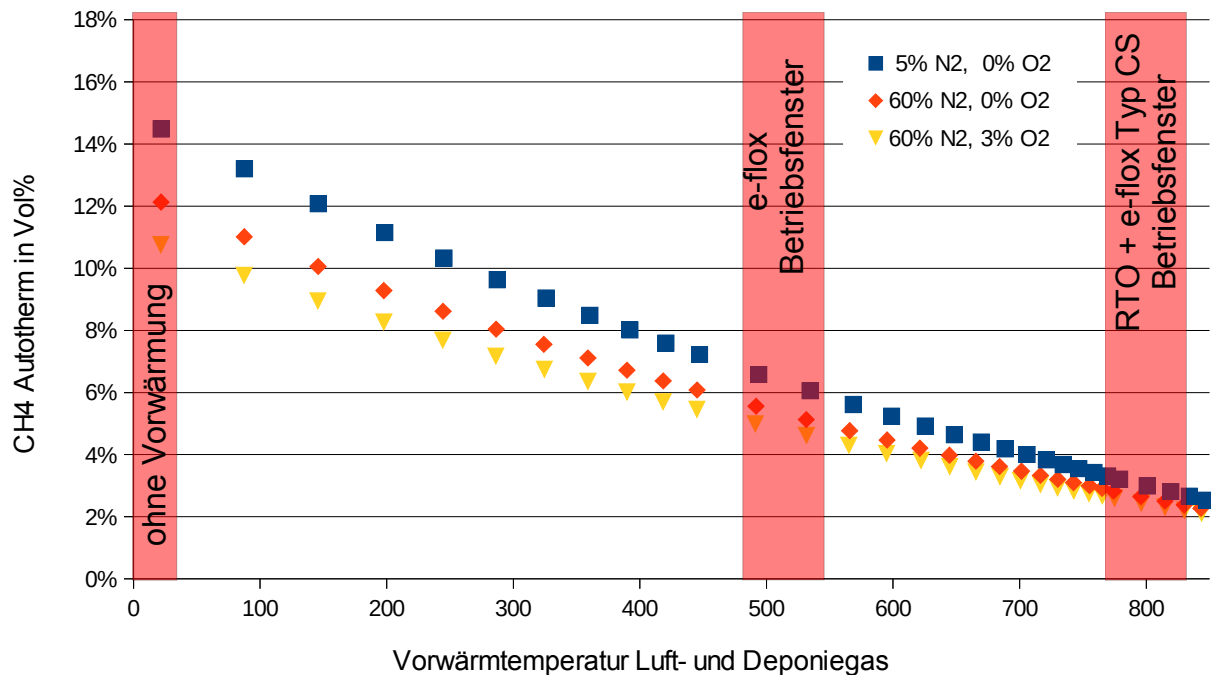


Bild 4: Autothermer Betriebspunkt in Abhängigkeit von der Gaszusammensetzung bei 10 kW Wärmeverlust der Brennkammer

## 2.4 Widerstandsfähigkeit gegen korrosive und abrasive Abgasbestandteile

Bei der Beurteilung der Beständigkeit des Verwertungssystems müssen vor allem  $H_2S$  und Siloxane betrachtet werden. Siloxane sind bei den typischen Konzentrationen auf einer Deponie vergleichsweise unproblematisch. Sie wandeln sich im Brennraum in  $SiO_2$  um, das sich in der Brennkammer und bei Verwendung eines Abgaswärmetauscher auf dem Wärmetauscher ablagert. Wichtig ist hierbei, dass der Wärmetauscher bei der Anlagenwartung gut zu reinigen ist.

Kritischer ist das im Deponiegas enthaltene  $H_2S$ . Wird das damit belastete Deponiegas in einem metallischen Wärmetauscher vorgewärmt, so kommt es in der dann vorliegenden reduzierenden Atmosphäre zu einem sehr aggressiven Korrosionsprozess, der den Wärmetauscher, abhängig von der Höhe der  $H_2S$ -Konzentration mehr oder weniger schnell zerstört. So sollte z.B. für die von e-flox eingesetzten metallischen Wärmetauscher die  $H_2S$  Konzentration im vorzuwärmenden Gas nicht über  $20 \text{ mg/m}^3$  liegen, um eine für Standzeiten von mindestens 5 Jahren zu erreichen. Da dies in aller Regel bei anaeroben Deponien nicht eingehalten werden kann und auch die Betriebstemperaturen von Deponiegasanlagen oberhalb von  $1000^\circ\text{C}$  liegen, setzt e-flox keramische Wärmetauscher ein, die unter den Bedingungen einer Deponiegasverbrennung problemlos Standzeiten von 20 Jahren erreichen können.

Bild 5 zeigt einen solchen Brenner. Der keramische Wärmetauscher besteht aus  $SiSiC$ , das ist eine Silizium-Carbid Keramik, die mit metallischem Silizium infiltriert ist, um den Werkstoff Thermochock-beständig zu machen. Diese Keramik ist unempfindlich für korrosive Angriffe durch  $H_2S$  und kann bis zu Feuerungstemperaturen von  $1250^\circ\text{C}$  eingesetzt werden.

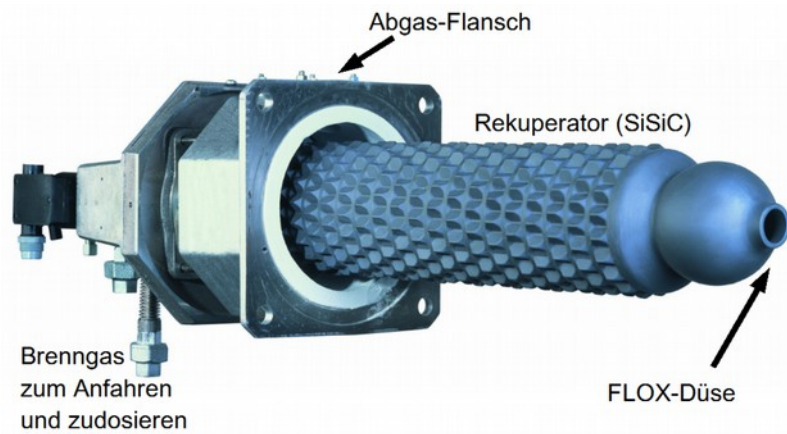


Bild 5: FLOX-Brenner mit keramischem Rekuperator

Mit fortschreitender Aerobisierung ist ein Absinken der  $H_2S$ -Konzentrationen im Deponiegas zu erwarten, da das  $H_2S$  ein Nebenprodukt der anaeroben Prozesse ist. Deshalb besteht bei Bedarf nach einigen Betriebsjahren die Möglichkeit, die keramischen Brenner durch metallische oder kombinierte keramisch-metallische zu ersetzen. Hier stehen thermisch noch effizientere Wärmetauscher zur Verfügung, die Vorwärmtemperaturen bis  $900^\circ C$  und damit autotherme Betriebspunkte von 2-3 Vol% erlauben. Damit ist dann eine annähernd vollständige Überführung der Deponie in den aeroben Zustand möglich.

### 3 E-flox Schwachgasverbrennungsanlage

Im folgenden soll beschrieben werden, wie die oben zusammengefassten Anforderungen an eine Deponiegasverbrennung für die Aerobisierung einer Deponie in dem von e-flox entwickelten Schwachgasverbrennungssystem DGV umgesetzt wurden.

#### 3.1 Aufbau und Betrieb von e-flox Deponiegasverbrennungsanlagen

Die oben beschriebenen keramischen Brenner sind für den Durchsatz von ca.  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  Deponiegas pro Brenner geeignet. Bei diesem Durchsatz ist die Vorwärm-Effizienz optimal, bei größeren Durchsätzen sinken die Vorwärm-Temperaturen. Deshalb muss dann die Anzahl der Brenner er-



Bild 6: 3D-Ansicht einer DGV 100 Anlage

höht werden. Analog wird mit der Anzahl an Luftbrennern vorgegangen.

Die Brenner werden in eine isolierte Brennkammer eingebaut. Diese kann entweder mit Feuerfestbeton und Feuerleichtbeton oder mit Fasermaterial isoliert werden. Für kleineren Anlagen, bei denen die Brennkammer-Wärmeverlust einen spezifisch größeren Einfluss auf die Anlagenperformance haben wird in der Regel Fasermaterial verwendet, bei größeren Anlagen liegt der spezifische Wärmeverlust deutlich tiefer, hier wird ausgemauert.

Beispielhaft soll hier nun der Aufbau einer Deponiegasverbrennungsanlage für 100 m<sup>3</sup>/h Deponiegas (DGV100) beschrieben werden. Diese besteht aus insgesamt drei Rekuperator-Brennern, die in eine ausgemauerte Brennkammer eingebaut sind. Bild 6 zeigt den schematischen Aufbau von vorne und in einer seitlichen Ansicht. Bild 7 zeigt die Frontalansicht einer ausgeführten Anlage. 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<sup>®</sup>-Modus, wobei die Heizleistung weiterhin vom Flüssiggas erbracht wird. Über den Rekuperator dieses Brenners wird die Verbrennungsluft vorgewärmt. Die Brennkammer wird im FLOX<sup>®</sup>-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 nur noch Verbrennungsluft zugegeben



Bild 7: Frontalansicht einer DGV 100



Das Abgas wird zum einen über die Brenner abgesaugt, überschüssiges Abgas wird 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.

### **3.2 Möglichkeiten zur Nutzung der Abwärme**

Die Deponiegasverbrennung kann im Gegensatz zu einem Fackelsystem auch problemlos mit Gegendruck betrieben werden. Bis zu 25 mbar sind möglich. Dadurch können problemlos Aggregate zur Nutzung der Abwärme nachgeschaltet werden. Bisher ausgeführt wurden Systeme mit nachgeschaltetem Warmwasserkessel und mit einem nachgeschalteten Hackschnitzeltrockner. Erstere Anlage deckt damit den kompletten Wärmebedarf einer auf dem Deponiegelände errichteten Trockenfermentation. Mit dem Hackschnitzeltrockner werden die Hölzer der auf der Deponie angesiedelten kommunalen Grüngut-Sammelstelle aufgewertet.

### **3.3 Abgasemissionen**

Die erste Deponiegas-Verbrennung des neuen Typs wurde an der Deponie Titisee-Neustadt aufgebaut. Dort befindet sich die Anlage seit rund drei Jahren 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
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<sub>x</sub> (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 unvoll-

ständiger 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/m<sup>3</sup> @ 3% O<sub>2</sub>. Damit lassen sich auch strenge Grenzwerte einhalten. Zum anderen konnte durch die Messungen bewiesen werden, dass tatsächlich bis 6,5 Vol% CH<sub>4</sub> 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. Dies wurde inzwischen auch durch Abnahmemessungen an anderen Anlagen nachgewiesen.

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 <sup>3</sup>	0	5	-	41,6 % CH <sub>4</sub>
Kohlenmonoxid (CO)	mg/m <sup>3</sup>	n.n.	n.n.	-	41,6 % CH <sub>4</sub>
NOx als NO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	177	199	-	41,6% CH <sub>4</sub>
Gesamt-C	mg/m <sup>3</sup>	0	4	-	12,2% CH <sub>4</sub>
Kohlenmonoxid (CO)	mg/m <sup>3</sup>	n.n.	n.n.	-	12,2% CH <sub>4</sub>
NOx als NO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	80	90	-	12,2 % CH <sub>4</sub>
Gesamt-C	mg/m <sup>3</sup>	0	3	-	1,7 % CH <sub>4</sub>
Kohlenmonoxid (CO)	mg/m <sup>3</sup>	n.n.	n.n.	-	1,7 % CH <sub>4</sub>
NOx als NO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	63	69	-	1,7 % CH <sub>4</sub>
Gesamt-C	mg/m <sup>3</sup>	0	3	-	7,9 % CH <sub>4</sub>
Kohlenmonoxid (CO)	mg/m <sup>3</sup>	1	4	-	7,9 % CH <sub>4</sub>
NOx als NO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	16	18	-	7,9 % CH <sub>4</sub>

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