

Die neue Richtlinie VDI 3899 Blatt 1

Dr.-Ing. **Roland Berger**, e-flox GmbH, Renningen

Erschienen in KRdL – Schriftenreihe Bd. 50, VDI-Verlag, 2015, ISBN 978-3-931384-81-4

Kurzfassung

Bereits wenige Jahre nach Stilllegung einer Hausmülldeponie ändern sich die Deponiegasmengen und die Deponiegaszusammensetzung und stellen den Betreiber vor neue Herausforderungen. Will er die bestehende Technik (BHKW oder Hochtemperaturfackel) weiter nutzen, kann er nur noch Teile des Deponiegases erfassen. Dies ist unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten jedoch nur eine begrenzte Zeit akzeptabel.

Will der Betreiber alles entstehende Gas erfassen und behandeln, muss er je nach Ansatz in neue Gasfassungssysteme und/oder Gasbehandlungstechniken investieren. Die nun im Gründruck vorgelegte VDI 3899 Blatt 1 soll ihn hierbei unterstützen. Sie gibt aber nicht nur einen Überblick über neue Techniken für die sogenannten Schwachgase, sondern erfasst alle üblichen Behandlungsverfahren, also auch die Verfahren in der aktiven Gasphase (hohe Methangehalte im Deponiegas).

In diesem Beitrag werden die wesentlichen Aspekte bezüglich Gasfassung, Gasanalyse und Gasverwertung zusammengefasst. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Gasbehandlungsverfahren. Es wird aufgezeigt, dass am Markt mittlerweile für alle möglichen Deponiegaszusammensetzungen geeignete Behandlungsverfahren verfügbar und einsetzbar sind. Die Richtlinie dient dem Betreiber bzw. dem Berater als Richtschnur für die Auswahl der für den Einzelfall geeigneten Technik.

Abstract/Summary

Internal combustion engines, micro turbines and high temperature flares are well known technologies for the treatment and utilization of landfill gases. However, only a few years after closure of a landfill (end of disposal) the amounts of landfill gas decrease and the composition changes. This is a challenge for the operator of the landfill, especially when the use of the known technologies is not possible anymore, due to economic, ecological or technical reasons.

Consequently new investments in the gas collection and/or gas treatment system are necessary, if the operator wants to treat all the landfill gases produced in the landfill body. It is the aim of the VDI 3899-1 guideline to support these challenges. The guideline covers all

types of known technologies, the ones for the active phase of the landfill (CH₄ 35-60%) and the ones for the LCF gas phase (CH₄ < 35%).

The most important aspects of gas collection, gas analysis and gas conversion will be summarized in the subsequent chapters. The main focus is paid to the gas treatment systems. It will be shown, that meanwhile for all gas compositions suitable gas treatment systems are available. The guideline supports the operators and the consultant in selecting the most suitable technology for each specific application.

1. Struktur der Richtlinie

Nach den einleitenden Abschnitten 1-3 (Anwendungsbereich, Begriffe, Abkürzungen) wird in Abschnitt 4 auf die rechtlichen Grundlagen der Deponiegasfassung und Verwertung eingegangen. Danach richtet sich die Struktur der VDI 3899-1 nach dem Weg des Deponiegases von der Entstehung zur Emission in die Atmosphäre. Dieser Weg ist in Bild 1 schematisch dargestellt. Das Schema dient auch in der Richtlinie als roter Faden für die einzelnen Abschnitte.



Bild 1: Schematische Darstellung der Gliederung der Richtlinie

Im Abschnitt 5 wird die Gasfassung und die Überwachung der Gasfassung (Gasanalyse) erläutert, im Abschnitt 6 die eigentliche Gasbehandlung. Der Abschnitt 7 geht dann auf die möglichen Emissionen von Luftverunreinigenden Stoffen und deren Minderung ein. Abschnitt 8 soll Hinweise zur Messung dieser Emissionen geben.

Dieser Beitrag konzentriert sich auf die Abschnitte 5 und 6.

2. Gasfassung

Das Deponiegas wird über horizontale und vertikale Gasfassungseinrichtungen, auch Gas-Brunnen genannt, aus dem Deponiekörper abgesaugt. Von jedem Brunnen ist eine Gasleitung zu einer Gas-Sammelstation gelegt, an der die einzelnen Gasfassungselemente eingeregelt werden können, d.h. die abgesaugte Menge wird so eingestellt, dass das erfasste Gas problemlos gefördert und behandelt werden kann. Insbesondere ist der Sauerstoffgehalt ausschlaggebend dafür, dass das Gas nicht zündfähig ist (O₂ < 6 Vol%). Des Weiteren muss der Methangehalt zum eingesetzten Gasbehandlungsverfahren passen.

Die Gaszusammensetzung ändert sich insbesondere, wenn Luft in den Deponiekörper eindringt. Diese Luft kann zum einen direkt auf die Gasfassung durchschlagen (Sauerstoff-Durchbruch), zum anderen kann die Luft zu aeroben Abbauprozessen führen und so den CO₂ Gehalt im Gas steigen und den Methangehalt sinken lassen.

3. Gasanalyse – Sicherheitsgerichtete Überwachung der Gaszusammensetzung

Bevor das Gas einer Gasnutzung zugeführt wird, muss die Zusammensetzung analysiert werden. Dies ist interessant, um die Nutzbarkeit des Gases zu beurteilen, es ist aber insbesondere unter Sicherheits-Gesichtspunkten wichtig, um eine unkontrollierte Zündung des Gases in der Gasverwertung, den Gasleitungen oder gar im Deponiekörper auszuschließen. Deshalb wird grundsätzlich der Sauerstoff- und Methan-Gehalt gemessen. Die zusätzliche Messung des CO₂-Gehalts gibt Aufschluss darüber, in wieweit die biologischen Prozesse im Deponiekörper aerob oder anaerob ablaufen.

In Abschnitt 5.4 der Richtlinie wird im Detail darauf eingegangen, wie die sicherheitsgerichtete Überwachung erfolgen kann. Grundsätzlich ist dabei Redundanz das oberste Gebot, es müssen also immer zwei Messungen die Unbedenklichkeit des Gases nachweisen. In der Praxis kommen folgende beide Varianten am häufigsten zum Einsatz:

1. O₂/CH₄-Überwachung: O₂ muss < 6 Vol% (UEG) und CH₄ > 25 Vol% (OEG) liegen. Diese Überwachung ist typisch für Deponien die noch Gas in guter Qualität liefern.
2. Redundante (doppelte) O₂-Überwachung: Diese Überwachung ist für Deponien in der Schwachgasphase üblich, da hier der CH₄ Gehalt immer unter 25 Vol% sinkt. Hier ist also ein zusätzliches O₂-Gerät notwendig.

Dabei ist zu beachten, dass die realen Ex-Grenzen wie folgt liegen:

- OEG CH₄ in Luft: 16,4 Vol%
- UEG O₂ in CH₄: 12,4 Vol%

Die angewendeten Schaltschwellen enthalten also einen großen „Sicherheitsabstand“.

4. Verdichtung und Konditionierung

Um das Gas verdichten und verwerten zu können, muss es in der Regel konditioniert werden. So ist vor einer Verdichtung zumindest eine Kondensatabscheidung erforderlich. Ist eine starke Verdichtung notwendig (z.B. Gasturbinen), so muss das Gas getrocknet werden. Vor allem bei der Nutzung in Kraftmaschinen (Verbrennungsmotor oder Gasturbinen) kann auch die Abscheidung von Silizium-organischen Verbindungen (Siloxane) sinnvoll sein, da diese in der Verbrennung zu SiO₂ umgewandelt werden und als Feststoffe zu erhöhtem Verschleiß führen. Bei erhöhten H₂S-Gehalten im Deponiegas kann auch die Abscheidung

von H₂S sinnvoll sein, um z.B. die Ölwechselintervalle von Verbrennungsmotoren zu erhöhen. Details hierzu werden in einem der folgenden Beiträge erläutert.

5. Übersicht über mögliche Verfahren zur Behandlung und Verwertung des Gases

Bild 2 gibt einen Überblick über die in der Richtlinie betrachteten Verfahren. Dabei wird in drei Gruppen unterschieden:

Biologische Verfahren: Ist nur noch mit geringen Methanmengen zu rechnen, so kommen biologische Verfahren zum Einsatz, bei denen methanophile Mikroben Methan zu H₂O und CO₂ oxidieren. Die geschieht entweder bei weiterhin aktiver Gasfassung mit Biofiltern, über die der Gasstrom aktiv geleitet wird, oder bei Deponien die keine aktive Gasfassung mehr haben über sogenannte Methanoxidationsschichten in der Deponieabdeckung, die dann passiv durchströmt werden. Die Qualität der CH₄-Umsetzung ist stark vom Zustand des Filters abhängig. Dieser muss den Mikroben ausreichend Lebensraum in geeigneter Qualität bieten. Außerdem muss er eine homogene Gasverteilung sicherstellen. Einzelne „Mäuselöcher“ können z.B. dazu führen, dass das Gas unbehandelt abströmt.

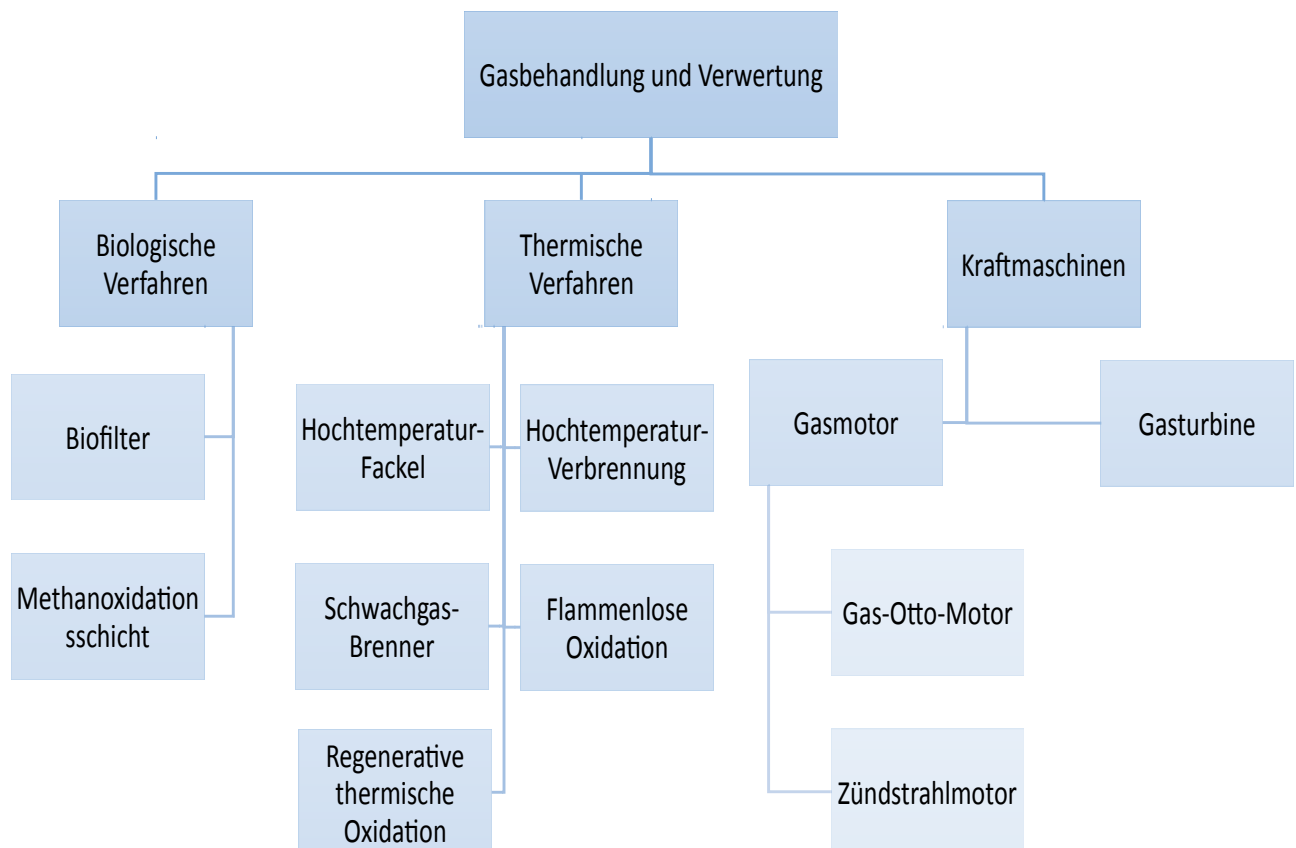


Bild 2: Übersicht über die zur Verfügung stehenden Behandlungsverfahren für Deponiegas

Thermische Verfahren: Hier wird die Oxidation des Methans durch Verbrennungsprozesse sichergestellt. Der Vorteil der thermischen Oxidation ist der hohe Umsetzungsgrad und die einfache Überwachbarkeit. Auf diese Verfahren wird noch separat eingegangen.

Kraftmaschinen: Üblich sind hier Gas-Otto-Motoren und Gastrubinen. Beide Systeme sind inzwischen in der Lage Gase bis zu ca. 25 Vol% CH₄ zu nutzen, wobei ältere Verbrennungsmotoren in der Regel nur bis minimal 40 % CH₄ verkraften.

6. Thermische Verfahren zur Deponiegasverwertung

Thermische Verfahren gewinnen aktuell wieder an Bedeutung, da die durch das „Verwertungsgebot“ auf den meisten Deponien betriebenen Deponiegasmotoren nicht mehr wirtschaftlich zu betreiben sind, bzw. die geforderten Gasqualitäten nicht mehr bei akzeptablen Gaserfassungsraten zu erreichen sind. Aus diesem Grund werden diese Verfahren hier detailliert beschrieben.

Während die herkömmliche Hochtemperaturfackel vor allem als Minimal-Lösung für die Deponiegasverwertung eingesetzt wurde, sind die nun zum Einsatz kommenden Verfahren speziell für die Verwertung von Gasen mit niedrigen CH₄-Gehalten gedacht. Hier sollen die Verfahren Schwachgasbrenner, Flammlose Oxidation und Regenerative thermisch Oxidation (RTO) näher erläutert werden. Diese drei Verfahren wurden speziell für Schwachgase entwickelt und werden aktuell überwiegend bei Neu-Investitionen eingesetzt.

Bevor auf die technischen Details eingegangen wird, soll Bild 3 eine Übersicht geben, was mit den Verfahren möglich ist.

Es wurde mit Hilfe einer Massen- und Energiebilanz unter Berücksichtigung aller thermodynamischer Stoffwerte berechnet, welche Methankonzentration im Deponiegas notwendig ist, um die in der TA-Luft geforderte Verbrennungstemperatur von >1000°C zu erreichen. Variiert wurden dabei die Vorwärmtemperaturen der Einsatzstoffe (Luft und Deponiegas) sowie der Wärmeverlust des Aggregats. Dieser liegt für gut isolierte Brennkammern im Bereich 5-10 kW, für oben offene Brennkammern (Fackeln) bei > 20 kW. Es zeigt sich, dass unabhängig von Fragen der Flammenstabilität ohne Vorwärmung von Luft und Deponiegas 12-14% CH₄ im Deponiegas notwendig sind. Nutzt man nun die Abwärme der Feuerung zur Vorwärmung der Einsatzstoffe, so kann z.B. mit einem einfachen Rekuperatorbrenner 5-6% CH₄ erreicht werden. Optimiert man weiter hinsichtlich optimaler Wärmerückgewinnung (z.B. RTO oder Spaltstrom-Rekuperator), so reichen auch CH₄-Konzentrationen von 2-3 Vol% aus.

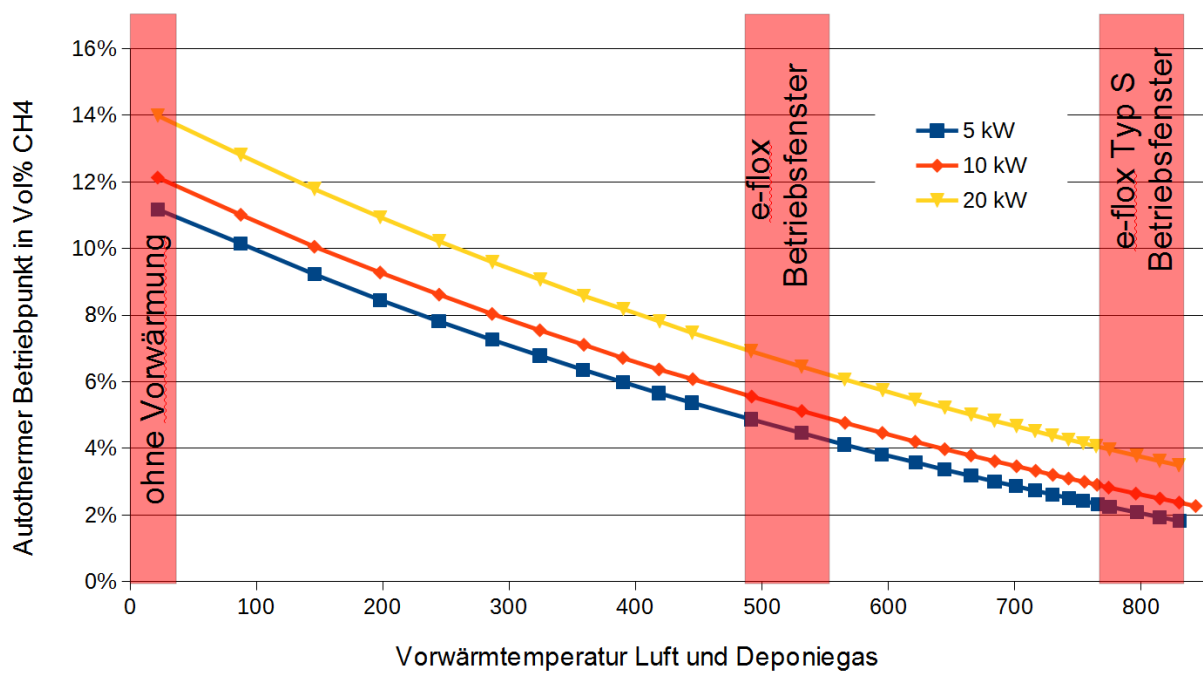


Bild 3: Einordnung der thermischen Schwachgasbehandlungs-Verfahren abhängig vom Grad der Luft- und Deponiegas-Vorwärmung (60% N₂, Rest CO₂, 1010°C Betriebstemp.)

Im Folgenden werden drei Vertreter aus diesen Gruppen beispielhaft beschrieben.



Bild 4: CHC 25, aufgebaut auf einem Container für Gasförderung und Analyse

6.1 Schwachgasbrenner - Gewebebrenner mit Vormischung

Bei der Verbrennung von Deponiegas mittels Gewebebrenner werden Deponiegas und Luft vor der Verbrennung gemischt und anschließend im Brennraum oberhalb des Brennergewebes – einem Metallgewebe zur Vergleichmäßigung der Strömung - gezündet. Die Mischungszone von Brenngas und Luft ist durch das Brennergewebe räumlich von der Verbrennungszone getrennt. Dadurch unterscheidet sich der Gewebebrenner mit Vormischung grundlegend von der Technik der Hochtemperaturfackel. Sowohl die Gasmenge als auch die Luftmenge werden aktiv geregelt, um die Verbrennungstemperatur konstant zu halten. Der Regelbereich liegt bezogen auf die thermische Leistung bei mindestens 1:10. Im Gewebebrenner mit Vormischung kann im optimalsten Fall Deponiegas mit einem Methangehalt ≥ 12 Vol.-% autotherm behandelt werden. Für den Start der Anlage ist kein Startgas erforderlich. Es können im Brennraum Temperaturen von 1.000 – 1.200°C erreicht werden. Der Brennraum ist zur Minimierung von Wärmeverlusten und zum Schutz der metallenen Fackelkörper mit einer hochtemperaturbeständigen keramischen Faser isoliert. Bild 4 zeigt beispielhaft eine Anlage der Firma Lambda Gastechnik für bis zu 250 kW (CHC 25).

6.2 Regenerative thermische Oxidation (RTO)

Bei der Regenerativen Thermischen Oxidation wird ein Reaktorbett aus keramischem Wärmespeicher-Material beim Anfahren der Anlage mit Hilfe von elektrischem Strom oder Startgas, wie z. B. Flüssiggas, auf Temperaturen von über 800 °C aufgeheizt. Anschließend wird der Schwachgasstrom und beigemischte Verbrennungsluft über das Reaktorbett in einen Verbrennungsraum geleitet. Dabei werden die Gase auf die Betttemperatur aufgewärmt und die organischen Verbindungen im Gas nahezu vollständig oxidiert. Das Abgas wird, je nach Reaktortyp, über das gleiche oder weitere Reaktorbetten abgeleitet, wo es seine Wärme wieder in das Reaktorbett einspeichert. Der Schwachgasstrom muss bei höheren Methangehalten verdünnt werden, damit der Reaktor nicht thermisch überlastet wird. Durch Umschalten der Strömungsrichtung wirkt das Reaktorbett einmal als Vorwärmer und dann wieder als Wärmespeicher. Das Reaktorbett wird bei dieser Fahrweise auch als Wärme- Regenerator bezeichnet. Die RTO eignet sich vor allem für große Volumenströme über ca. 500 m³/h und Methangehalte im (verdünnten) Schwachgasstrom kleiner 1 Vol.-% (ca. 2% im Deponiegas). Wird es auch bei kleineren Volumenströmen eingesetzt, steigt der autotherme Methangehalt an, weil die Wärmeverluste an den Reaktorwänden größer werden. Wegen des Totvolumens im Reaktorbett kommt es bei RTO Verfahren zu einem Gasschlupf, der typischerweise in einem Methanschluß von 1-3% resultiert.

6.3 Flammenlose Oxidation

Ähnlich wie bei der Hochtemperaturverbrennung erfolgt der Einsatz der flammenlosen Oxidation in einer speziell dafür ausgelegten Hochtemperatur-Brennkammer. Das Prinzip der flammenlosen Oxidation basiert darauf, brennbare Gase und Verbrennungsluft durch starke interne Rezirkulation im Brennraum nicht in einer Flamme sondern im gesamten Volumen einer heißen Brennkammer zu oxidieren. Es ist deshalb nicht notwendig eine Flamme zu stabilisieren, die Brennstoffzusammensetzung ist unkritisch für die Stabilität des Prozesses.

Durch die gleichmäßige Temperaturverteilung in der weitgehend adiabaten Brennkammer kann das Brennkammer-Volumen für eine Verweilzeitberechnung genutzt werden. Am Austritt der Brennkammer kann bei Bedarf eine Temperaturmessung durchgeführt und somit ein eventuell gefordertes Temperatur/Verweilzeitkriterium (z. B. 1000 °C, 0,3 Sek.) überprüft werden.

Durch den Einsatz von metallischen oder keramischen Rekuperatoren können Luft und Deponiegas mit der Energie der austretenden Abgase vorgewärmt werden, ohne der Verbrennungsreaktion selbst Energie zu entziehen. Die Vorwärmung der Verbrennungsluft und des Deponiegases bewirkt, dass weniger Energie benötigt wird als bei einer normalen Verbrennung, um die Zündtemperatur oder die von den Behörden geforderte Verbrennungstemperatur zu erreichen. Für den flammenlosen Betrieb genügt deshalb ein niederkalorisches Gas d.h. ein Schwachgas mit einem tiefen Methangehalt. Die flammenlose Oxidation ist bei Einsatz von korrosionsresistenten keramischen Rekuperatoren mit einem Deponiegas bis etwa >6

% Methangehalt möglich, ohne zusätzliches Stützgas. Metallische Rekuperatoren erlauben sogar autotherme Betriebspunkte unter 3 Vol.-% CH₄. Mit Stützgas können Deponiegase mit minimalem Methangehalt behandelt werden. Für das Anfahren der Brenner zur flammenlosen Oxidation wird ein Startgas wie z. B.

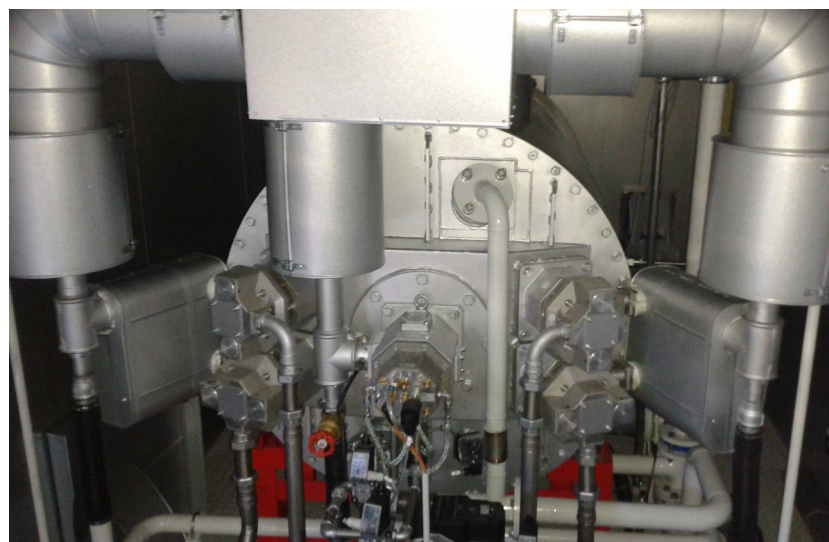


Bild 5: Frontansicht einer e-flox Deponiegasverbrennung nach dem System der Flammenlosen Oxidation

Flüssiggas benötigt. Bild 5 zeigt beispielhaft eine in einem, 30 Fuß Container integrierte Feuerungsanlage.