

## **Reduzierung von Treibhausgasemissionen durch Maßnahmen zur In Situ – Stabilisierung**

### **Ein Förderprojekt im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative**

#### **Zusammenfassung**

Die Abfallentsorgung Kreis Kassel betreibt im Landkreis Kassel die Deponie Kirschenplantage (DK 2), auf der bis 2005 organikhaltige Siedlungsabfälle abgelagert wurden. Um die Stilllegungs- und Nachsorgephase zu verkürzen, wird seit 2014 auf zwei Teilbereichen der Deponie eine in situ – Stabilisierung durchgeführt, um die Umsetzprozesse im Deponiekörper zu beschleunigen und klimaschädliche Treibhausgasemissionen zu verringern. Im Zeitraum 2014 bis 2021 konnten unter Einsatz der hier beschriebenen Maßnahmen Deponiegas mit insgesamt 23.445 to CO<sub>2</sub>-Äquivalenten erfasst und behandelt werden.

#### **1 Einleitung**

Im Rahmen der Initiative „Klimaschutzprojekte in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) werden investive Maßnahmen gefördert, die unmittelbar zu einer nachhaltigen Reduzierung von Treibhausgasemissionen führen [1].

Ein Teilbereich des Förderprogramms betrifft Investitionen in Klimaschutztechnologien zur aeroben *in situ* - Stabilisierung von Deponien. Die *in situ* - Stabilisation wird angewandt, um die Milieubedingungen im Deponiekörper so zu verändern, dass die anaeroben Prozesse in aerobe überführt werden und kein klimaschädigendes (methanhaltiges) Deponiegas mehr anfällt. Darüber hinaus wird durch die in situ - Stabilisierung die Deponie-Nachsorgephase verkürzt.

Das Förderprogramm war für die *Abfallentsorgung Kreis Kassel* Anlass, zwei Teilbereiche der Deponie Kirschenplantage einer *in situ* - Stabilisierung zu unterziehen. Hiervon sind Ablagerungsbereiche betroffen, in denen vor dem Jahr 2005 noch organikhaltige Siedlungsabfälle (Hausmüll) abgelagert wurden.

## 2 Verfahrensbeschreibung zur *in situ* – Stabilisierung der Deponie Kirschenplantage

Für die Deponie Kirschenplantage ist vorgesehen, die anstehende Stilllegungsphase verfüllter Bereiche möglichst kurz zu gestalten. Zu diesem Zweck sollen Maßnahmen zur *in situ* - Stabilisierung des Deponiekörpers für die Bereiche durchgeführt werden, in denen bis zum Jahr 2005 Abfälle mit hohen organischen Anteilen (Hausmüll) abgelagert wurden. Hierfür kommen Verfahren der Deponiebelüftung (aerobe In Situ Stabilisierung) und der Infiltration in Frage [2]. Ziel der *in situ* Stabilisierung ist die beschleunigte Reduzierung biologisch abbaubarer organischer Anteile zur Verbesserung des Langzeitverhaltens der Deponie (Reduzierung der Schwachgasproduktion, der Sickerwasserbelastungen und der Restsetzungen) um so die Nachsorgephase für die Deponie verkürzen und somit die Emission klimaschädlicher Gase zu verringern

Auf der Deponie Kirschenplantage werden beide Verfahren angewendet, wobei für die aerobe *in Situ* - Stabilisierung sogenannte tiefenverfilterte Gasbrunnen nach dem DEPO+ Verfahren® eingesetzt werden.

### 2.1 Aerobe *in situ* Stabilisierung

Tiefenverfilterte Gasbrunnen wurden für die aerobe *in situ* - Stabilisierung ehemaliger Siedlungsabfalldeponien und Altablagerungen entwickelt und bereits erfolgreich an zahlreichen Standorten umgesetzt.

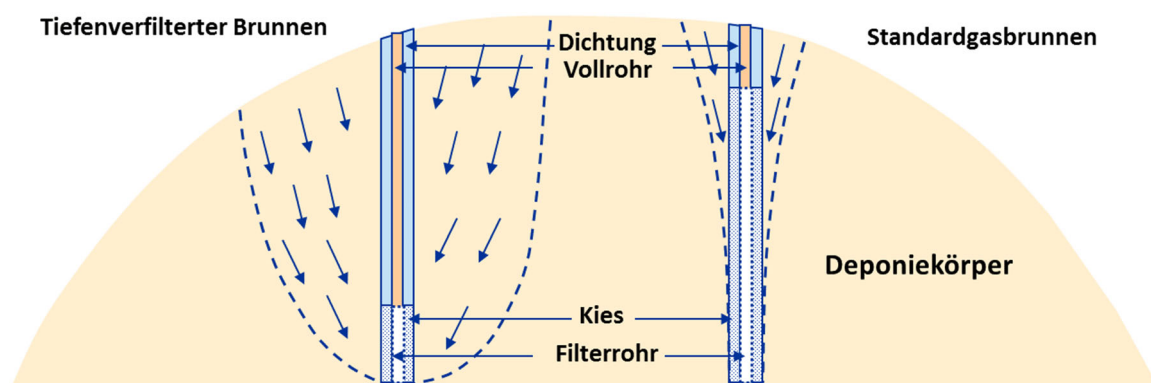


Abb.1: Durchströmungsverhalten und Reichweite – Vergleich tiefenverfilterter Gasbrunnen und Standardgasbrunnen [Quelle: CDM Smith GmbH]

Bei diesem Verfahren wird mittels einer gezielten Saugbelüftung ein gleichmäßiger Unterdruck in den Deponiekörper gebracht, so dass der über die Deponieoberfläche eingetragene Luftsauerstoff umgesetzt werden kann. Der Deponiekörper wird so schrittweise einer aeroben *in situ* - Stabilisierung unterzogen, wobei das abgesaugte Deponiegas entweder über die bestehende Anlagentechnik (thermischer Verbrennung) oder eine separate Schwachgasbehandlungsanlage entsorgt wird.

Über die tiefenverfüllten Gasbrunnen wird ein (erhöhter) Unterdruck an den Deponiekörper angelegt. Hierdurch dringt über die Deponieoberfläche Luftsauerstoff ein und es erfolgt von außen nach innen eine schrittweise Umsetzung der vorhandenen biologisch abbaubaren Organik (Aerobisierung). Tiefere Bereiche mit einem erhöhten, noch nicht umgesetzten biologischen Anteil werden zusätzlich anaerob aktiviert, so dass zu Beginn einer aeroben *in situ* – Stabilisierung beim Einsatz tiefenverteilter Gasbrunnen daher häufig im Vergleich zu klassischen Gasfassungssystemen erhöhte Methankonzentrationen angetroffen werden.

Die sich mit zunehmender Besaugung fortschreitende Sauerstofffront bewirkt, dass sich die Restorganik dann aerob umsetzen kann und auch die diffusen Methanemissionen (= Treibhausgasemissionen) gänzlich zum Erliegen kommen.

### **3 Projektdurchführung**

Auf der Deponie Kirschenplantage werden derzeit in 2 verschiedenen Deponiebereichen Maßnahmen zur *in situ* - Stabilisierung durchgeführt:

- Erweiterungsbereich, Fläche ca. 6 ha, Einlagerungsvolumen ca. 850.000 m<sup>3</sup>
- Altdeponie, Fläche ca. 9 ha, Einlagerungsvolumen ca. 1 Mio m<sup>3</sup>

Für beide Bereiche wurden im Zuge von Gasabsaugversuchen und tiefenzonalen Erkundungen der Gasbrunnen in den Jahren 2010 und 2015 jeweils eine Deponiegas-Potenzialanalyse erstellt. Hierbei stellte sich heraus, dass einerseits ein Restgaspotential vorhanden ist, andererseits jedoch die über 20 Jahre alten Gasbrunnen nicht in der Lage sind, dieses Deponiegasrestpotential zu fassen.

Anhand der Potentialstudien wurde dann festgelegt, welche Maßnahmen erforderlich sind, das Restgaspotential zu erfassen und den entsprechenden Deponiebereich zu stabilisieren.

#### **3.1 Bauliche Maßnahmen**

##### **3.1.1 Erweiterungsbereich (Ablagerungssektoren 1 und 2)**

Zur Umsetzung des Projektes wurden 2014 insgesamt 6 Gasbrunnen als tiefenverfüllte Gasbrunnen nach dem DEPO+ Verfahren® [4] in den Bereichen der Ablagerungssektoren 1 und 2, die mit einer temporären Oberflächenabdichtung ausgestattet sind, neu erstellt und an das Entgasungssystem angeschlossen. Hierfür wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Herstellung der Bohrungen für die Gasbrunnen innerhalb des Deponiekörpers mit einem Durchmesser von DN 600 und Teufen bis maximal 27 m.

- Erstellung von 6 Gasbrunnen; Lieferung und Einbau von Voll- u. Filterrohren PE100 für die Gasbrunnen; Herstellung, Lieferung und Einbau von Gasbrunnenköpfen PE100el da 225 sowie den dazugehörigen Armaturen.
- Herstellung von Rohrleitungsgräben in der Rekultivierungsschicht oberhalb der Dichtungsebene für die Verlegung der Absaugrohre, Verlegen und Anschließen der Gasleitungen
- Errichtung einer neuen Gasunterstation mit Sammelbalken, Schiebern, Anschlussleitungen und Messstellen;

Das gesamte Vorhaben wurde durch den Projektträger Jülich im Auftrag des BMU in einer Höhe von 127.530 € gefördert.

### 3.1.2 Altdeponie

2017 wurden 8 bestehende Gasbrunnen der Altdeponie saniert und auf Tiefenverfiltrung umgestellt. Darüber hinaus wurden für diese Gasbrunnen neue Gasleitungen in der Rekultivierungsschicht verlegt, die Gasunterstation 3 saniert (Meß- und Regeleinrichtungen) und eine Schwachgasbehandlungsanlage (s Ziffer 3.2) errichtet.

Im Einzelnen wurden hierfür folgende Arbeiten durchgeführt:

- Freilegen der Gasbrunnen und Demontage der Gasbrunnenköpfe
- Lieferung und Montage der neuen Gasbrunnenköpfe
- Lieferung, Verlegung und Anschluss der Absaugleitungen von den Gasbrunnen bis zur Unterstation 3
- Umbau der Gasunterstation 3
- Herstellen von Anschlüssen der Schwachgasbehandlungsanlage an das Ringleitungssystem
- Lieferung und Montage der Schwachgasbehandlungsanlage

Das Vorhaben "*in situ* - Stabilisierung Altdeponie" wurde durch den Projektträger Jülich im Auftrag des BMU in einer Höhe von 244.642 € gefördert

## 3.2 Behandlung des abgesaugten Deponiegases

Insbesondere zu Beginn der aktiven Besaugung (Beginn der aeroben *in situ* - Stabilisierung mit tiefenverfilterten Gasbrunnen) werden noch erhöhte Methankonzentrationen erfasst. Aus diesem Grund wurde für den Anfangsbetrieb die bestehende Anlagentechnik (Mikrogasturbine bzw. Hochtemperaturfackel) mit genutzt (Zuspeisung der aus der Stabilisierung erfassten Gasmengen in die reguläre Absaugung).

Insbesondere der Einsatz der Mikrogasturbine eignet sich hier, um auch Deponiegas mit schwankendem Methangehalt und niedriger Konzentration (> 26 Vol-% CH<sub>4</sub>) ohne zusätzliche Regelung zu verbrennen [5].

Um das im Rahmen der *in situ* - Stabilisierung anfallende, motorisch nicht nutzbare Schwachgas umweltfreundlich zu beseitigen, wurde im Dezember 2017 eine Schwachgasbehandlungsanlage errichtet,



Abb. 2: Schwachgasverbrennungsanlage Deponie Kirschenplantage

Mit dem Prinzip der flammenlosen Oxidation (Flox-Verfahren) wird eine ordnungsgemäße Entsorgung von Deponiegas mit einem Methangehalt  $> 3$  Vol.-% sichergestellt.

#### 4 Monitoring

Für eine Bewertung der Messergebnisse im Hinblick auf den Aerobisierungsgrad des Deponiekörpers wird das Methan-Kohlenstoffdioxid-Verhältnis herangezogen.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass bei einer aktiven Deponiegasproduktion (stabile Methanphase der Deponie) das Verhältnis der Hauptkomponenten von Deponiegas bei ca. 2/3 Methan zu 1/3 Kohlenstoffdioxid liegt, d. h. ein typisches Deponiegas enthält 66 Vol.-% CH<sub>4</sub> und ca. 33 Vol.-% CO<sub>2</sub>. Damit liegt der ideale Verhältniswert (66/33) bei 2:1. Werte deutlich oberhalb dieser Referenz sind zusammen mit niedrigen Temperaturen ein Indiz für Staugas, Werte unterhalb von 2:1 deuten zusammen mit erhöhtem Sauerstoff und erhöhten Temperaturen auf Aerobisierungsprozesse hin:

Kategorie	CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub> - Verhältnis
intakter anaerober Abbau	2 : 1 bis 2,5 : 1
erste aerobe Umsetzungsprozesse	zwischen 1 : 1 und 2 : 1
aerobe Umsetzungsprozesse	< 1 : 1

Tab. 1: Bewertung des Methan- / Kohlenstoffdioxid - Verhältnisses

In regelmäßigen Abständen wird durch das Fachpersonal der Deponie mit einem mobilen Gasphotometer die Methan-, Kohlenstoffdioxid- und Sauerstoffkonzentration direkt in der jeweiligen Gasunterstation ermittelt. Zudem werden die einzelnen Unterdrücke und Volumenströme gemessen.

Die Umrechnung der abgesaugten Treibhausgasmenge Methan in CO<sub>2</sub>-Äquivalente erfolgt auf Basis des in [6] veröffentlichten Treibhausgaspotentials (GWP).

#### 4.1 Erweiterungsbereich (Ablagerungssektoren 1 und 2)

Die Absaugung und die Deponiebelüftung im Erweiterungsbereich der Deponie Kirschenplantage wurden am 17.12.2014 gestartet.

Jahr	CH <sub>4</sub> [Vol.-%]	CO <sub>2</sub> [Vol.-%]	CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub> Verhältnis	Absaugmenge gesamt [m <sup>3</sup> ]	CO <sub>2</sub> (eq) [to]
2014	38,3	26,3	1,45	9.093,3	62,2
2015	35,2	31,0	1,17	191.447,5	1.237,7
2016	35,7	23,9	1,49	276.391,5	1.762,2
2017	38,4	26,1	1,47	445.319,5	3.054,0
2018	38,7	26,4	1,47	362.757,3	2.505,6
2019	24,5	23,0	1,07	903.480,7	3.949,2
2020	20,6	21,9	0,94	803.468,4	2.953,7
2021	19,3	21,6	0,90	774.612,3	2.676,5
<b>GESAMT</b>				<b>3.757.477,1</b>	<b>18.138,9</b>

Tab. 2: Ergebnisse der *in situ* - Stabilisierung des Erweiterungsbereiches für den Zeitraum 17.12.2014 bis 31.12.2021 (Jahresmittelwerte, Jahressummen)

Bis zum 31.12.2021 konnten insgesamt 3.757.477 m<sup>3</sup> Deponiegas über die neuen Gasbrunnen erfasst und thermisch behandelt werden. Dies entspricht bezogen auf den Methangehalt einem Treibhausgaspotential von **18.139 to** CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

Obwohl die Absaugrate kontinuierlich gesteigert wurde, sind in den ersten 4 Jahren noch vergleichsweise hohe Methankonzentrationen angetroffen worden, die eine Nutzung des Gases in der Mikrogasturbine erlaubten.

Anhand des CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> – Verhältnisses kann man erkennen, dass im Deponieerweiterungsbereich (Sektor 1 und 2) erste aerobe Umsetzungsprozesse stattfinden.

## 4.2 Altdeponie

Im Bereich der Altdeponie wurde mit der Absaugung des Deponiegases bzw. der *in Situ* - Stabilisierung am 18.12.2017 begonnen. Da aufgrund der zuvor an den Gasbrunnen durchgeführten Umbaumaßnahmen über mehr als ein halbes Jahr keine Absaugung des Deponiegases stattgefunden hat, wurden anfangs (2017) hohe Methankonzentrationen gemessen.

Jahr	CH <sub>4</sub> [Vol.-%]	CO <sub>2</sub> [Vol.-%]	CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub> Verhältnis	Absaugmenge gesamt [m <sup>3</sup> ]	CO <sub>2</sub> (eq) [to]
2017	36,9	16,50	2,23	27.653	182,1
2018	8,5	13,9	0,61	1.018.091,5	1.547,1
2019	10,2	14,5	0,71	680.345,6	1.237,0
2020	8,3	15,0	0,55	815.426,3	1.203,0
2021	7,4	14,8	0,50	994.732,6	1.318,8
<b>GESAMT</b>				<b>3.508.596</b>	<b>5.305,9</b>

Tab. 3: Ergebnisse der *in situ* - Stabilisierung der Altdeponie für den Zeitraum 18.12.2017 bis 31.12.2021 (Jahresmittelwerte, Jahressummen)

Vom 18.12.2017 bis zum 31.12.2021 konnte im Bereich der Altdeponie durch die Maßnahme der *in situ* - Stabilisierung Deponiegas mit einem Treibhausgaspotential (bezogen auf seinen Methangehalt) von insgesamt **5.306 to** CO<sub>2</sub>-Äquivalenten erfasst und beseitigt werden.

Das CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> –Verhältnis des abgesaugten Deponiegases weist auf entsprechende aerobe Umsetzungsprozesse hin.

## 5 Weitere Vorgehensweise

Für die Deponie Kirschenplantage ist mittelfristig vorgesehen, die Absaugraten sukzessiv zu erhöhen, so dass in Abhängigkeit von Gasqualitäten und jeweiligen Temperaturprofilen im Deponiekörper die *in situ* - Stabilisierung vorangetrieben werden kann.

In regelmäßigen Abständen werden daher unter Berücksichtigung der analysierten Deponiedaten Optimierungsmaßnahmen zu Verbesserungen der aktiven Aerobisierungsmaßnahme vorgenommen. Diese Maßnahmen als auch der Fortschritt der Stabilisierung werden dokumentiert und veröffentlicht.

### Literatur

- [1] **BMU**: Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld – „Kommunalrichtlinie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit vom 22.11.2021, Bundesanzeiger BAnz AT 13.01.2022 B4
- [2] **VDI**: Richtlinie 3899-2: Deponiegas – Systeme zur Deponiegaserfassung und Belüftung, Beuth-Verlag, November 2020
- [3] **DepV**: Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27.4.2009 (BGBl I Nr. 22 vom 29.4.2009, S. 900) zuletzt geändert am 9. Juli 2021 (BGBl. I Nr. 32 vom 03.07.2020 S. 1533 )
- [4] **Forsting, J. et al**: Optimierung von Deponiegasfassungen für in situ Stabilisierungsmaßnahmen beim Einsatz des DEPO+ Verfahrens© (Tiefenverfilterte Gasbrunnen) im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative, 10. Leipziger Deponiefachtagung (2014)
- [5] **Stucki, R.; Näf, B.**: Erfahrung mit dem Einsatz von Mikrogasturbinen. Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 21: Stilllegung und Nachsorge von Deponien 2013 (Hrsg. Rettenberger / Stegmann), Verlag Abfall aktuell 2013
- [6] **Umweltbundesamt**: Climate Change 22/2020. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2018, Juli 2020
- [7] **Hupe, K., Heyer, K.-U., Jurkschat-Koop, A., Benkus, P., Prank, O., Stegmann, R.**: Klimaschutz durch verbesserte Deponiegasfassung und Deponiebelüftung. Müll und Abfall, 52(01), 2020