

NKI Projekt – Gastechnische Stabilisierung einer langfristig abgedichteten Deponie am Beispiel Deponie Lisdorf mit nachgeschalteter Wärmeauskopplung und dezentraler Wärmenutzung durch mobile Wärmespeicher

1 Zusammenfassung

In Siedlungsabfalldeponien entsteht methanhaltiges Deponiegas (starkes Treibhausgas) bei der Umsetzung biogener Organik. Dieses anfallende Deponiegas muss nach Deponieverordnung erfasst und behandelt werden.

Durch das aktive Fassen und Behandeln (u. a. thermische Verfahren) des Deponiegases wird der Deponiekörper gastechnisch stabilisiert, so dass es in naher Zukunft zu keiner weiteren Methanproduktion kommen wird. Auch werden unkontrollierte Methanaustritte, welche in die Atmosphäre entweichen und als Treibhaus fungieren, durch das aktive Fassen und qualifizierte Behandeln unterbunden.

Zur Minimierung/Unterbindung von Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen), zur Stabilisierung des Deponiekörpers über den Gaspfad und der damit verbundenen Verkürzung der Stilllegungs- und Nachsorgephase ist es angebracht, Optimierungsmaßnahmen am Gaserfassungssystem vorzunehmen. Idealerweise lässt sich eine solche gastechnische *in situ* - Stabilisierung mit mittlerweile gängigen Technologien zur Schwachgasbehandlung und einer möglichen Wärmenutzung kombinieren. Unter Einhaltung bestimmter Kriterien lassen sich solche nachhaltigen Stabilisierungsmaßnahmen auch durch Programme im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative fördern. Bei einer solchen geförderten Maßnahme des schwachmethanhaltigen Deponiegases kann bei der thermischen Behandlung Überschusswärme anfallen. Diese dezentral gewonnene Wärme kann somit an einem anderen Standort genutzt werden. Durch die Nutzung dieser Überschusswärme werden weitere fossile Energieträger eingespart und zusätzlich zur Treibhausgaseinsparung der Stabilisierungsmaßnahme die THG-Emissionen vermindert. Der vorliegende Beitrag zeigt eine technische Möglichkeit der dezentralen und mobilen Wärmenutzung anhand von *Phase-Change-Material* (PCM)-Wärmespeichern auf.

2 Ausgangssituation

Die vorhandene, biologisch abbaubare Organik in Siedlungsabfalldeponien wird über einen sehr langen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten umgesetzt. Beim aktiven Absaugen des anfallenden Deponiegases, u. a. mit klassischen Gasfassungssystemen (Kaminziehrohre, oberflächennah verfilterte Gasbrunnen, Gasrigolen etc.), wird zum jetzigen Zeitpunkt ein relativ geringer Anteil des gebildeten Deponiegases, zwischen 20 – 40 % (BMUB, 2013), erfasst. Andere Quellen (HEYER ET AL, 2018) gehen von einem Gaserfassungsgrad zwischen 40 bis 50 % aus. Somit wird ein erheblicher Anteil des gebildeten Deponiegases nicht erfasst. Das dann noch vorhandene Restgaspotenzial (nicht umgesetzte verbleibende Restorganik) wird sukzessiv bis zum gänzlichen Abklingen der Methanproduktion überwiegend über die Deponieoberfläche freigesetzt (THG-Emissionen).

Um dem entgegenzuwirken und die noch vorhandene nicht erfasste Restorganik umzusetzen, bietet es sich an, bestehende Gasfassungssysteme zu optimieren bzw. wieder aktiv zu besaugen. Dies führt zudem zur Verkürzung der Nachsorgephase (Stabilisierung) sowie der Emissionsminimierung, wenn die bestehenden Gasfassungssysteme standortspezifisch zielgerichtet geprüft und bei Bedarf auch durch Modifikation bzw. durch Erneuerung optimiert werden.

Grundsätzlich ist es geplant, für die Deponie Lisdorf die anstehende Stilllegungsphase möglichst kurz zu gestalten. Dazu sollen nach Möglichkeit Maßnahmen zur *in situ* - Stabilisierung des Deponiekörpers ergriffen werden. Mit diesen Maßnahmen sollen die voraussichtlich langanhaltenden Emissionen klimarelevanter Gase der Deponie in die Atmosphäre weitestgehend gefasst und darüber hinaus die Nachsorgedauer der Deponie reduziert werden.

Durch eine erste Fördermaßnahme der „Investive(n) Klimaschutzmaßnahmen – Klimaschutz bei stillgelegten Siedlungsabfalldeponien“ im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative hat der EVS ABW GmbH / EVS Gesellschaft für Abfallwirtschaft GmbH aus Saarbrücken schon 2013 am Standort der Deponie Lisdorf verschiedene Optimierungsmaßnahmen realisieren können. Es wurde u. a. am Gaserfassungssystem Optimierungsmaßnahmen durchgeführt und eine Schwachgasbehandlungsanlage installiert. Durch diese gastechnische *in situ* - Stabilisierung erfolgt ein zielgerichtetes Übersaugen des Deponiekörpers mit Eintrag von Luftsauerstoff und eine schrittweise Aerobisierung – NKI Förderung Etappe 1.

Das Amt für ökologische Stadtentwicklung der Stadt Saarlouis hat in einem zweiten Schritt im Jahr 2017, in enger Zusammenarbeit mit der CDM Smith Consult GmbH, weitere Fördergelder für ein Leuchtturmprojekt/Antrag beim Projektträger Jülich (ptj) bewilligt bekommen. Vorab wurde eine Projektskizze erstellt. Aus dieser Skizze geht hervor, dass die nach der thermischen Behandlung vorhandene Wärmemenge für einen weiteren Einsatz mittels eines mobilen Wärmespeichers für die klimaneutrale Bereitstellung von Wärme an

dezentralen Orten der Stadt Saarlouis praktisch umsetzbar ist – NKI Förderung
Etappe 2.

3 Beschreibung des Standortes – Wärmequelle Deponie Lisdorf NKI – Förderung 1. Etappe

Die Übergangsdeponie in Saarlouis – Lisdorf im Saarland hat eine Größe von ca. 7 ha. Die Verfüllung erfolgte in den Jahren 1975 bis 1992 mit Haus- und Gewerbemüll, Bauschutt und Erdmassen. Im Jahr 1993 wurden noch Sperrmüll und Schlämme eingebaut. Insgesamt wurden bis 1993 ca. 1,2 Mio. Tonnen Abfälle eingelagert, wobei der Hausmüllanteil hierbei mit knapp 60 % angenommen werden konnte (hier erst über die eingelagerten Mengen bestimmt). Das gesamte Betriebsgelände umfasst ein Areal von knapp 13 ha. Im Eingangsbereich befindet sich ein Werkstoffhof für die Abgabe von Grünabfällen und die Umladestation.

Im Jahr 2007 wurde entsprechend einem Rekultivierungsbescheid die Deponieoberfläche abschließend saniert. Dazu wurde die Oberfläche der Deponie vollständig abgedichtet und die Gasfassung weitgehend ausgebaut. Die gesamte Deponieoberfläche wurde im Zuge der Rekultivierung mit einer Kunststoffdichtungsbahn abgedichtet und einer bewuchsfähigen Erdatdeckung versehen.

Parallel zu diesen Maßnahmen erfolgte der Aufbau der Gaserfassungselemente. Die Gasfassungsanlage besteht aus insgesamt 20 Gasbrunnen, die über 4 Gassammelstationen und einen Kondensatabscheider (Kondensatgebäude) zu einem zentralen Punkt im Deponieeingangsbereich verlegt sind.



Abb. 1: Luftbild der Deponie Lisdorf aus dem Jahr 2015

An diesem Standort wurde bis zur Installation der Schwachgasbehandlungsanlage das Deponiegas nicht aktiv gefasst und behandelt. Eine Gasverdichterstation zur Absaugung und Bereitstellung zur energetischen

Nutzung bzw. thermischen Behandlung des anfallenden Deponiegases war bis Ende 2017 nicht vorhanden.

Die in regelmäßigen Abständen durchgeführten Gasemissionsmessungen an der Oberfläche zeigten trotz Oberflächenabdichtung noch in Teilbereichen geringe Mengen an ausströmenden Deponiegas an.

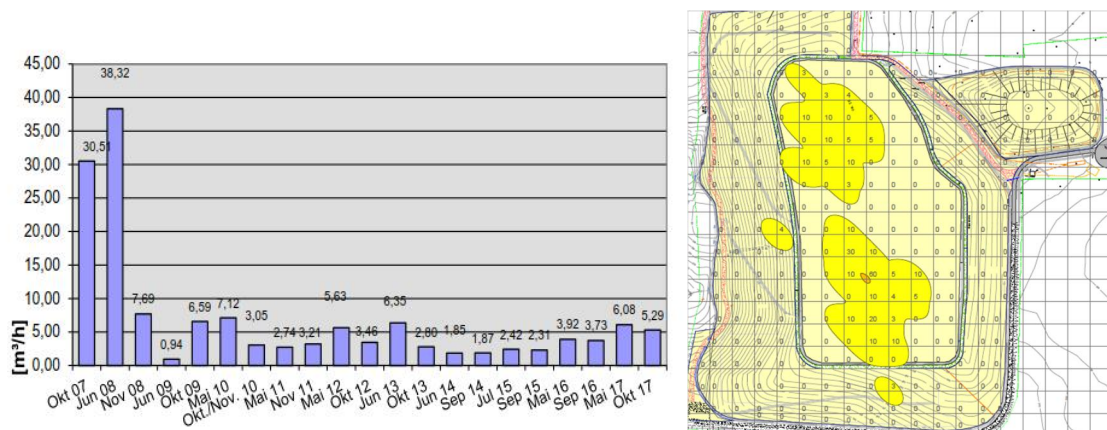


Abb. 2: Theoretisch über die Deponieoberfläche ausströmende Gasmenge V° (ING.-BÜRO BRAUN, 2017)

Somit war angezeigt, dass eine kontinuierliche gastechnische *in situ* - Stabilisierung des Deponiekörpers unumgänglich ist. Unter anderem wurde aus diesem Grund im Zuge der fortführenden Stabilisierungsmaßnahme eine Verdichterstation mit nachgeschalteter Verwertung (Wärmeauskopplung) des abgesaugten Deponiegases errichtet.

3.1 Zielsetzung der gastechnischen *in situ* – Stabilisierungsmaßnahme

Die Bedeutung des Gaspfades in der anaeroben Phase einer Siedlungsabfalldeponie ist immens hoch. Der Austrag organischen Kohlenstoffes C_{org} (Indikator für die Stabilisierung einer biologisch aktiven Siedlungsabfalldeponie) über den Gaspfad ist rund 1.000-mal größer als über den Wasserpfad in der Phase nach der Stilllegung.

Über anaerobe Abbauprozesse wird nahezu das dreifache an C_{org} im Gegensatz zu aeroben Umsetzungsprozessen ausgetragen.

Beim Anlegen eines gezielten nahezu flächendeckenden Unterdruckes an das Gesamtsystem durch aktive Besaugung, insbesondere beim Einsatz tiefenverfilterter Gasbrunnen, werden in einem ersten Schritt endprodukt hemmende Stoffe abgetragen. Diese Stoffe bewirken bei nichtaktiver Gasfassung, dass der anaerobe Abbauprozess und somit die Methanbildung, zum Stillstand kommen kann. Durch den angelegten Unterdruck über die Deponieoberfläche, und damit verbunden den Eintrag an Luftsauerstoff, erfolgt in Randbereichen eine schrittweise Umsetzung der vorhandenen biologischen abbaubaren Organik durch aerobe Umsetzung, genannt Aerobisierung. Bei oberflächengedichteten Deponien kann dies durch

das Öffnen benachbarter Luftetragslanzen bzw. modifizierten Gasbrunnen erfolgen (passiver Eintrag). Der Luftsauerstoff wird mit zunehmender Tiefe gänzlich umgesetzt (veratmet). Weitere tiefere Bereiche mit einem erhöhten, noch nicht umgesetzten biologischen Anteil werden durch die Gleichgewichtsverlagerung anaerob aktiviert. Die mit zunehmender Besaugung fortschreitende Sauerstofffront bewirkt des Weiteren, dass sich die restliche Organik aerob umsetzen kann und die auftretenden Emissionen endgültig abebben.

Ein wesentlicher Gradmesser zur optimalen Umsetzung der biologischen Organik ist neben der maximalen Umsetzung des eingetragenen Luftsauerstoffes (es werden i. d. R. weniger als 0,2 Vol.-% O₂ in der Abluft gemessen) die Bestimmung des organischen Gesamtkohlenstoffes C_{org}. Dieser wird über die Methan (CH₄)- und Kohlendioxid (CO₂)- Messung errechnet.

Zur Feststellung der Wirksamkeit einer Aerobisierungsmaßnahme sollten in verschiedenen Messstellen das Methan,- Kohlendioxid,- und Sauerstoffkonzentrationen erfasst werden. Hierbei ist das Ziel, bei max. Saugleistung die Sauerstoffkonzentrationen möglichst gering zu halten, während eine maximale Konzentration an Kohlendioxid (> 20 %) zu erreichen ist. Nur so lassen sich eine optimale Umsetzung des eingetragenen Luftsauerstoffes und eine maximale aerobe Abbaugeschwindigkeit der biogenen Organik erreichen.

Auf Grundlage vielfach erfolgreich durchgeführter Stabilisierungsmaßnahmen (aktive gezielte Besaugung sowie beim Einsatz modifizierter, z. B. tiefenfilterter Gasbrunnen) auf zahlreichen anderen Deponiestandorten konnte u. a. gezeigt werden, dass in der Folge (kurz- als auch mittelfristig) folgende Effekte eintreten:

- Kurzfristig: eingestautes Deponiegas wird aktiv gefasst, so dass biologische Abbauprozesse anlaufen; beim Einsatz tiefenfilterter Gasbrunnen erfolgt zudem eine Verbesserung des Gasfassungsgrades durch Reichweitenerhöhung einzelner Gasbrunnen aufgrund des in größerer Tiefe eingebrachten Unterdrucks und der höheren Kurzschlussfestigkeit des Gasbrunnens;
- Kurzfristig: bei der Optimierung der Gaserfassung (u. a. durch den Einsatz tiefenfilterter Gasbrunnen) verringert sich der Fremdluftanteil und damit erhöht sich der Austrag an organischer Fracht im abgesaugten Deponiegas (abgesaugte organische Fracht: Fluss in Verbindung mit Methan- und Kohlendioxidgehalten);
- Mittelfristig: (Re-)Aktivierung biologischer Abbauprozesse, sowohl anaerober als auch aerober Art bei aktiver Besaugung:
 - o Verbesserung des Langzeitverhaltens und somit Verkürzung der Stilllegungs- und Nachsorgephase, indem die Aktivierung biologisch verfügbarer Organik (insbesondere im Bereich der aeroben Umsetzung) vorangetrieben wird;
 - o Sukzessive Temperaturerhöhung in den mesophilen Bereich zwischen 35 °C bis 45 °C;

- o Minimierung bzw. Unterbindung der Freisetzung von THG-Emissionen aus der Deponie durch maximale stoffliche Entfrachtung über den Gaspfad (maximaler Austrag an organischem Kohlenstoff C_{org});
- o Je nach Abbaugrad der organischen Substanz teilweise oder vollständige Bereitstellung des Deponiegases für eine mögliche wirtschaftliche Nutzung auch in der sogenannten Schwachgasphase über einen kurzen Zeitraum. Diese Phase kann auch nur für einzelne Deponieabschnitte angestrebt werden;
- o Im weiteren Verlauf erfolgt für das Gesamtsystem der Übergang zur Aerobisierung (aerobe *in situ* – Stabilisierung).

In einem ersten Schritt wurde eine Konzeptstudie mit integrierter Potenzialanalyse für die Deponie Lisdorf erstellt. Diese Gesamtanalyse erlaubt es, standortspezifisch das Restgaspotenzial zu bestimmen. Basierend darauf erfolgten die optimale Anlagenauslegung bzw. der verbesserte Gaserfassungsbetrieb.

Im nachfolgenden Unterkapitel sind ausgewählte Ergebnisse dieser Studie aufgeführt. Für die Potenzialstudie wurde das bestehende Gasfassungssystem auf dessen Funktionalität hin untersucht. Auch wurde eine Bestandsaufnahme durchgeführt und anhand von Vor-Ort-Untersuchungen auch kurzzeitige Besaugungen der untersuchten Gasbrunnen vorgenommen.

3.2 Untersuchende Maßnahmen

Neben der Bestimmung der deponietypischen Gaszusammensetzung (Methan-, Kohlendioxid- und Sauerstoff) über die Tiefe eines Vertikalgasbrunnens wurden auch die Temperaturen sowie das Neubildungspotenzial (bezogen auf den Einzelvolumenstrom der Gasbrunnen) erfasst.

Auszug aus dem Untersuchungsprogramm und mit Ergebnisauswertungen:

- Kamerabefahrung der Vertikalgasbrunnen;
- Tiefenzonierte Untersuchung mit Bestimmung der Gaszusammensetzung (Kohlenmonoxidkonzentration CO in ppm; Schwefelwasserstoffkonzentration H_2S in ppm; Kohlendioxidkonzentration CO_2 in Vol.-%; Methankonzentration CH_4 in Vol.-%; Sauerstoffkonzentration O_2 in Vol.-%; Temperatur im Gasbrunnen); Erstellung Profil einzelner Gasbrunnen;
- Kurzzeitiger Gasabsaugversuche als Zeitmessungen;
- Extern durchgeführte FID Messungen an der Oberfläche;

Bei der Ermittlung der Konzentrations- und Temperaturprofile über die Gasbrunnentiefe sollen gasproduktive Horizonte innerhalb der Deponie bestimmt und darüber das Gasproduktionspotenzial abgeleitet werden. Zur Vermeidung der Bestimmung von Standgas befindet sich der Gasbrunnen während der Messungen unter ständiger Besaugung. Zur Bestimmung der Gasqualität in verschiedenen Ebenen in den Gasbrunnen wird die Zusammensetzung und die Temperatur des dem Pegel zuströmenden Deponiegases in verschiedenen Tiefen (i. d. R. jeden Meter) bestimmt.

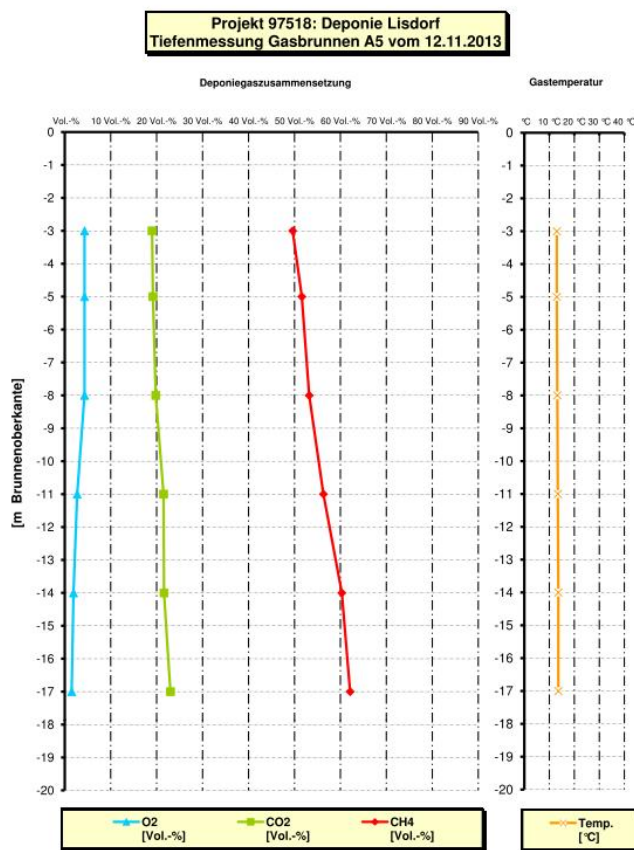


Abb. 3: Exemplarische Darstellung der Ergebnisse der Tiefenmessung am Gasbrunnen A5 (leichte Zunahme der Methankonzentration mit zunehmender Tiefe bei konstanter Kohlendioxid- und Sauerstoffkonzentration sowie Temperatur)

Tiefenzonierte Messungen ermöglichen aufgrund der Analyse der Gasmischungen innerhalb des Gasbrunnens und durch die vergleichsweise hohen Saugflüsse während der Beprobung eine erste „qualitative“ Aussage zur Gasbildung im Deponiekörper. Der messtechnisch erfasste Sauerstoffgehalt ergibt im wesentlichen Aussagen zur Funktionstüchtigkeit des Gasfassungssystems (hier Dichtigkeit des Gasfassungssystems und Aufspüren von Kurzschlüssen im Deponiekörper).

Die untersuchten Gasbrunnen zeichnen sich dadurch aus, dass die Messergebnisse einen nahezu konstanten Werteverlauf über die Tiefe der messbaren Filterstrecke aufzeigen. Die ermittelten Messwerte für Sauerstoff, Kohlendioxid und Methan verlaufen dabei über die Tiefe weitgehend parallel und auch die dazugehörigen Temperaturverläufe bleiben jeweils auf einem einheitlichen Niveau. Bei vergleichbaren Messungen an anderen Deponien lassen sich aktivere und weniger aktive Bereiche über die Tiefe der Gasbrunnen infolge unterschiedlicher Organikgehalte ermitteln. Die Daten der Temperaturmessungen unterstreichen dieses Ergebnis. Mit einer durchschnittlichen Temperatur von knapp 15 °C liegt das Temperaturoptimum für biologische Abbauprozesse viel zu tief.

3.3 Ergebnisse des Restgaspotenzials

Die Ergebnisse der Voruntersuchungen zeigen, dass die Milieubedingungen durch eine Anreicherung von stark methanhaltigem Deponiegas gekennzeichnet sind. Da die vorhandene Gasfassung bisher aufgrund fehlender Infrastruktur während der Untersuchungen nicht aktiv betrieben werden konnte, hat sich das Deponiegas im Deponiekörper angesammelt. Aufgrund der Kapselung des Deponiekörpers durch die vorhandenen Dichtungssysteme hat sich in Teilbereichen der Deponie bereits ein Überdruck im System eingestellt. Festgestellte Emissionen über die Oberfläche können hierdurch verursacht werden. Durch eingestautes Deponiegas hat sich auch der aktive Umsetzungsprozess der Organik über anaerobe Abbauprozesse in Deponiegas stark verlangsamt. Der optimale, mesophile Temperaturbereich von 35 °C bis 45 °C für die anaerobe Umsetzung konnte in keinem Gasbrunnen ermittelt werden. Die gemessenen Temperaturen liegen deutlich tiefer.

Es wurde auf der Basis dieser Ergebnisse und eines nachgeschalteten Gasabsaugversuches ein Szenario für eine Optimierung des Gasfassungssystems entwickelt. Für dieses Szenario wurde ebenso wie für die klassische Vorgehensweise anhand von Vergleichsbetrachtungen die Entwicklung des Austrages von organischem Kohlenstoff ermittelt und vergleichend gegenübergestellt.

Folgende unmittelbaren Ergebnisse und Verbesserungen sind bei der vorgezeichneten Entwicklung einer klassischer Gasfassung nach dem Stand der Technik und bei einer *in situ* - Stabilisierung der Deponie zu erwarten.

Tab.1: Ist - Zustand und Zielsetzung einer *in situ* - Stabilisierung

Kennzeichnende Größe	Gesetzlich vorgezeichnete Entwicklung Klassische Gasfassung	<i>in situ</i> – Stabilisierung	Änderung in Prozent
Emissionen über die Oberfläche	Restgasemissionen	Keine Emissionen (nach Aktivierung)	unmittelbare Verbesserung
Anfänglicher Austrag CO ₂ (eq)	1.521,5 kg/h	112,3 kg/h	> 90 % Verbesserung
Dauer der natürlichen und der <i>in situ</i> - Stabilisierung	50 Jahre	10 - 12 Jahre	> 80 % Verbesserung

Die Zahlen der vorstehenden Tabelle wurden auf Grundlage von Voruntersuchungen abgeschätzt.

Durch die Optimierung der Gasfassung wird die Stilllegungs- und Nachsorgephase drastisch verkürzt und die klimarelevanten THG-Emissionen unmittelbar und nachhaltig vermindert.

Durch ein verbessertes „Deponiegasmanagement“ und die Optimierung von Gasfassungseinrichtungen (u. a. bei temporärer Tiefenbesaugung mittels eines speziellen Liners) gibt es nun die Möglichkeit der aktiven und kontrollierten

Besaugung. Des Weiteren wird durch die optimale Deponiegaserfassung und durch die Ausgestaltung eine verbesserte Durchflusskapazität für Stabilisierungsmaßnahmen erreicht. So ist es möglich, insbesondere Randbereiche oder bereits weiter abgebaute Deponiebereiche stärker zu übersaugen und die aerobe *in situ* - Stabilisierung voranzutreiben.

Das auf der Deponie Lisdorf gefasste zunehmend schwachmethanhaltige Deponiegas wird über einen sehr langen Zeitraum thermisch behandelt.

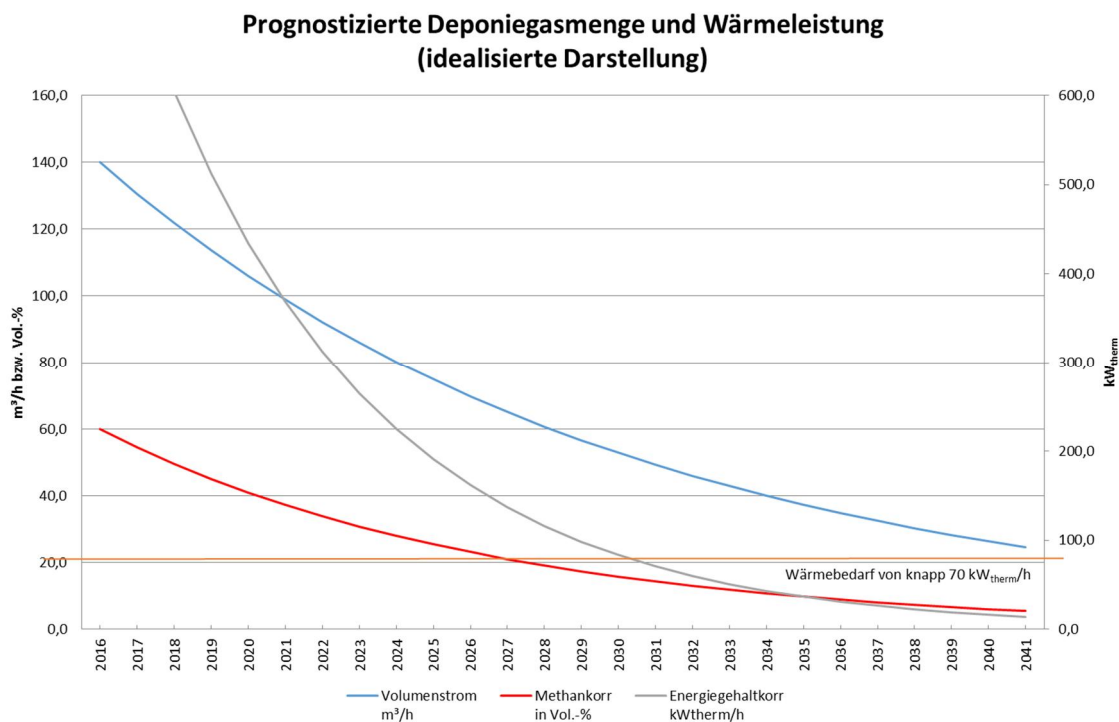


Abb. 4: Idealisiert dargestellte Gasprognose und mögliche Wärmeleistung

In der vorangestellten Abbildung wird der ideale Energieinhalt des abgesaugten Deponiegases dargestellt. Bei einer kontrollierten Besaugung und gleichzeitiger thermischer Behandlung mit Wärmeauskopplung kann an einer Wärmesenke mit einem mittleren Tageswärmebedarf von knapp 70 kW_{therm}/h dieser Wärmeinhalt bis über das Jahr 2030 hinaus genutzt werden.

Die marktüblichen Schwachgasbehandlungsanlagen werden mit Wärmetauschersystemen ausgestattet, um die überschüssige Wärmemenge anderen Prozessen zuzuführen. In einem eigenständigen Förderprogramm wurde im Jahr 2016 im Auftrag des EVS ABW GmbH eine Anlagentechnik mit nachgeschalteter Wärmeauskopplung aufgestellt, welche erfolgreich betrieben wird.

3.4 Installierte Anlagentechnik

Um die vorangegangenen Ziele zu erreichen, wurde Ende 2017 eine Schwachgasbehandlungsanlage installiert. Bei der installierten Anlage handelt es sich um eine Aktiventgasungsanlage, d. h. es wird mittels Förderaggregaten

ein Unterdruck im Leitungssystem aufgebaut, der das Deponiegas in das installierte Fassungssystem saugt. Bei dieser Anlage handelt es sich um eine Gasförderstation zur Schwachgasbehandlung in Containerbauweise, mit einer Fördermenge von bis zu 250 m³/h und einer thermischen Leistung von 50 bis maximal 500 kW_{therm}.



Abb. 5: Schwachgasbehandlungsanlage mit Wärmeauskopplung

Die für eine weitere Nutzung der Überschusswärme relevante Wärmeauskopplung ist im Abgasstrom der Schwachgasbehandlungsanlage installiert. Der nach der eigentlichen Wärmeübertragung (direkte Auskopplung der Wärme im Bereich der thermischen Behandlung des schwachmethanhaltigen Deponiegases) nachgeschaltete Wasserkreislauf besteht im Wesentlichen aus einem Plattenwärmetauscher zur Systemtrennung mit Frostschutzmittel für den Wärmekreislauf. Direkt hier kann die Überschusswärme abgezogen werden.

3.5 Erste Ergebnisse des Monitoringprogramms zur Bestimmung des Wirkungsgrades

Beginnend mit der optimierten Erfassung des Deponiegases wurde ein ausführliches Monitoring des Gasregimes durchgeführt. In regelmäßigen Abständen werden in den einzelnen Unterstationen die Gaszusammensetzungen bestimmt. Zusätzlich erfolgten auch mehrere Temperaturmessungen in den einzelnen Gasbrunnen im Feld.

Zu Beginn der Absaugung Ende Oktober 2017 wurde das anfallende Deponiegas mit knapp 50 m³/h abgesaugt. Es wurde bewusst zu Beginn der Maßnahme mit einem, bezogen auf die Gasneubildungsrate, geringen Gesamtvolumenstrom begonnen. Hintergrund: neben dem schrittweisen Eintrag von Außenluft sollen auch anaerobe Prozesse reaktiviert werden.

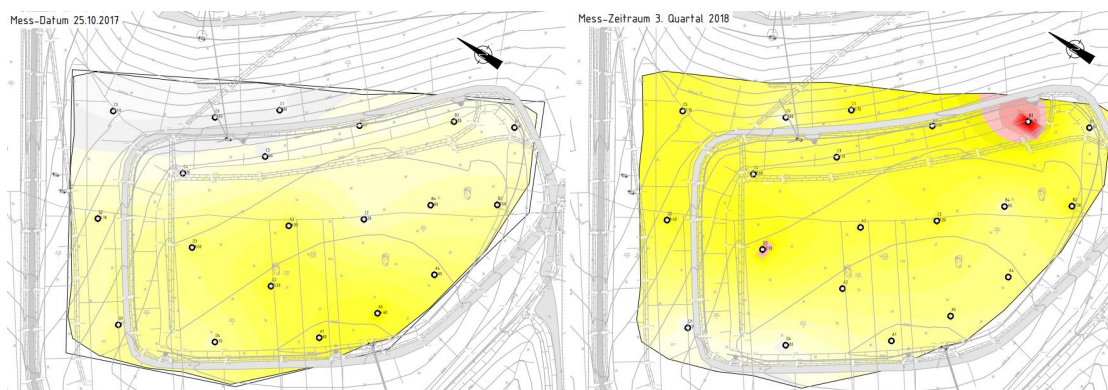


Abb. 6: Energetischer Austrag (Methanfracht) – links vor Beginn, rechts im 3. Quartal 2018

In einer ersten Messkampagne (Ende Oktober 2017, Abbildung 6, linke Darstellung) wurde auf die gesamte Deponie bezogen knapp 235 kW_{therm} an Energie pro Stunde erfasst. Im nördlichen Teil der Deponie wurden anfänglich die geringsten Austräge an Methanfracht festgestellt (weißer Bereich).

Mit zunehmenden optimierten Anlagenbetrieb werden zum jetzigen Zeitpunkt (Ende des 3. Quartals 2018) nunmehr knapp 72 m³/h mit einem Gesamtenergiegehalt von knapp 370 kW_{therm} behandelt. Die Methan- und Kohlendioxidkonzentration in der Summe liegt bei konstant CH₄ ~ 43 Vol.-% bzw. CO₂ von ~ 16 Vol.-%. In der Abbildung 6 ist ersichtlich, dass sowohl der nördliche als auch der östliche Bereich die höchsten Energieausträge aufzeigen (zunehmende dunkle Gelbfärbung).

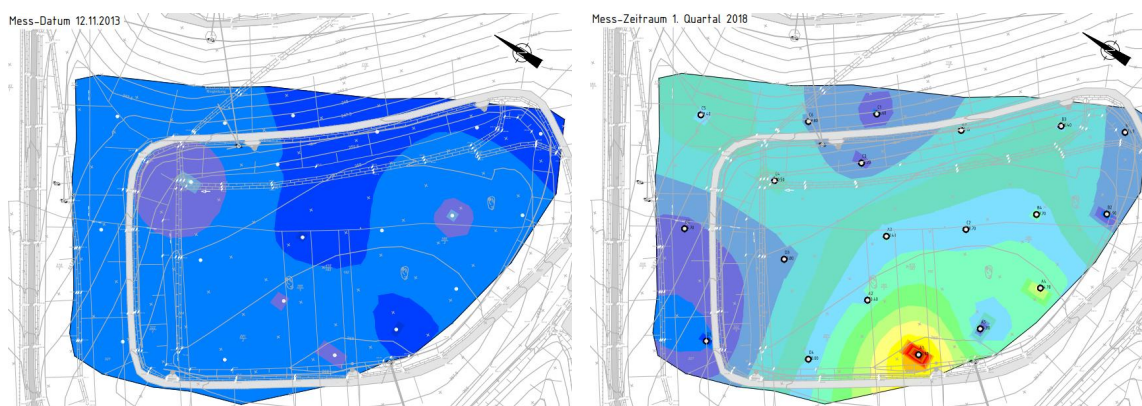


Abb. 7: Temperaturprofil im Deponiekörper (~ 13 m unterhalb GOK) – links vor Beginn der kontrollierten Entgasung am 25.10.2017, rechts im 3. Quartal 2018)

Ein vergleichbares Bild zeigen der Temperaturprofile im Deponiekörper. Mit zunehmender kontrollierter Besaugung werden nahezu im gesamten Deponiekörper Temperaturanstiege von knapp 3 °C bis 4 °C, ausgehend von im Mittel 17 °C, festgestellt. Die größte Temperaturentwicklung wurde im westlichen Teil (rote Färbung in Abbildung 7, rechte Darstellung) registriert. Hier werden in einer Tiefe von knapp 13 m sogar bis zu 33 °C gemessen. Dieser Temperaturentwicklung zeigt, dass zum erliegen gekommene biologische

Abbauprozesse, auch bei gedichteten Deponien, durch gezielten Absaugbetrieb wieder reaktiviert werden können.

4 Nachhaltige Nutzung der Überschusswärme - NKI – Förderung 2. Etappe

Im Zuge der damaligen Genehmigungsphase zur Errichtung der Schwachgasbehandlungsanlage wurde die Stadt Saarlouis auf dieses Projekt aufmerksam. In unmittelbarer Nähe der Deponie befinden sich unterschiedliche Wärmesenken, welche die bei der thermischen Behandlung des klimaschädlichen Deponiegases entstehende Überschusswärme sinnvoll nutzen könnten. Von der Prozesswärme könnte somit die nahegelegene Stadt Saarlouis profitieren. Die Stadt Saarlouis unterhält unterschiedliche Institutionen (u. a. drei benachbarte Grundschulen), an denen Wärme (Senken) benötigt wird. Infolge der zwar geringen, jedoch vorhandenen Entfernungen zwischen Wärmeproduktion und Wärmenutzung ist es angedacht, mobile Wärmespeichersysteme einzusetzen.

Die Überschusswärme kann an der Schwachgasbehandlungsanlage aufgenommen und an eine Wärmesenke transportiert werden. Durch den Wechsel des Aggregatzustandes wird die freigesetzte Wärme der Wärmesenke zugeführt.



Abb. 8: Wärmetransport – von der Quelle zur Wärmesenke

Das Amt für ökologische Stadtentwicklung der Stadt Saarlouis hat in einem zweiten Schritt, in enger Zusammenarbeit mit CDM Smith Consult GmbH, weitere Fördergelder für ein Leuchtturmprojekt/Antrag beim Projektträger Jülich (ptj) bewilligt bekommen.

Es wurde eine Projektskizze erstellt, um die nach der thermischen Behandlung vorhandene Wärmemenge nutzen zu können. Dies erfolgt durch einen weiteren Einsatz mittels eines mobilen Wärmespeichers (PCM Wärmespeicher). Dadurch wird für die klimaneutral die Überschusswärme bereitgestellt und an dezentralen Orten der Stadt Saarlouis geliefert.

4.1 Wärmesenke an der Grundschule Vogelsang

Am Beispiel der Grundschule Vogelsang wird die Abgabe der Wärme an der Wärmesenke dargestellt. Die notwendige Heizzentrale befindet sich hierbei im Untergeschoss des Gebäudes. Folgende Wärmemengen werden im Jahresmittel durchschnittlich benötigt:

Grundschule Vogelsang

- Jahresenergieeinsatz: 630 MWh_{therm}/a
- Primärenergieträger: Fernwärme
- Entfernung von der Deponie: 6,9 km

Wie aus der Abbildung 4 (Kapitel 3.3) ersichtlich, kann der mittlere Tageswärmebedarf an dieser Wärmesenke von knapp 70 kW_{therm} pro Stunde unter idealen Bedingungen noch voraussichtlich bis zum Jahr 2030 von der Schwachgasbehandlungsanlage in Lisdorf zur Verfügung gestellt werden.

4.2 Aufbau der Andockstation

Über eine Andockstation wird die produzierte Wärmemenge an externe Systeme abgegeben. Diese Anschlusssäulen werden in das fest installierte Rohrleitungsnetz eingebunden. An dieser Stelle erfolgt die Übergabe der Wärme, von Wärmequelle zu Wärmespeicher sowie umgekehrt von Wärmespeicher zu Wärmesenke (Wärmeverbraucher).

4.3 Anforderungen an den mobilen Latentwärmespeicher

Nach längerer Recherche stellte sich heraus, dass gerade ein sog. Latentwärmespeicher ideal für den vorliegenden Anwendungsfall einsetzbar ist. Mit einem solchen System lassen sich große Wärmemengen transportierbar machen.

Bei einem Latentwärmespeicher wird zusätzlich zur sensiblen Wärmespeicherung (ohne Phasen-, also Aggregatzustandsänderung) die Wärme über einen Phasenwechsel des Mediums gespeichert. Der Phasenwechsel hier erfolgt von fest nach flüssig und umgekehrt. Der große Vorteil bei solchen Systemen ist, dass bei kleinen Temperaturunterschieden wesentlich mehr thermische Energie im Vergleich zu anderen Speichern erhalten werden kann, d. h. es kann in kleinen Temperaturintervallen große Mengen an Energie speichern.

Nach längerer Recherche am Wirtschaftsmarkt wurde die Fa. EnerSolve als ausgewiesener Experte für den Einsatz von thermischen Speichern für regenerative und rationelle Heizungstechnik gefunden. Weitere Anbieter solcher Materialien befinden sich noch im Versuchs- bzw. Aufbaustadium, so dass lediglich dieses Produkt in der Entwurfsplanung berücksichtigt werden konnte.

Der mittlere Wärmeverlust soll möglichst geringgehalten werden. Idealerweise entspricht bei einer geringen Wärmeabstrahlung über die Containerhülle die

Außenflächentemperatur des Containers der vorliegenden Umgebungstemperatur. Am Heck des Containers wird die Be- und Entladung über zwei Anschlüsse erfolgen und mit einem Wärmemengenzähler die Wärmemenge erfasst. Die beiden Anschlüsse sind leakagefreie Tankkupplungen aus der Flüssigtransportlogistik mit unterschiedlichen Durchmessern, um ein Vertauschen der Schlauchanschlüsse (Vor- und Rücklauf) zu verhindern.

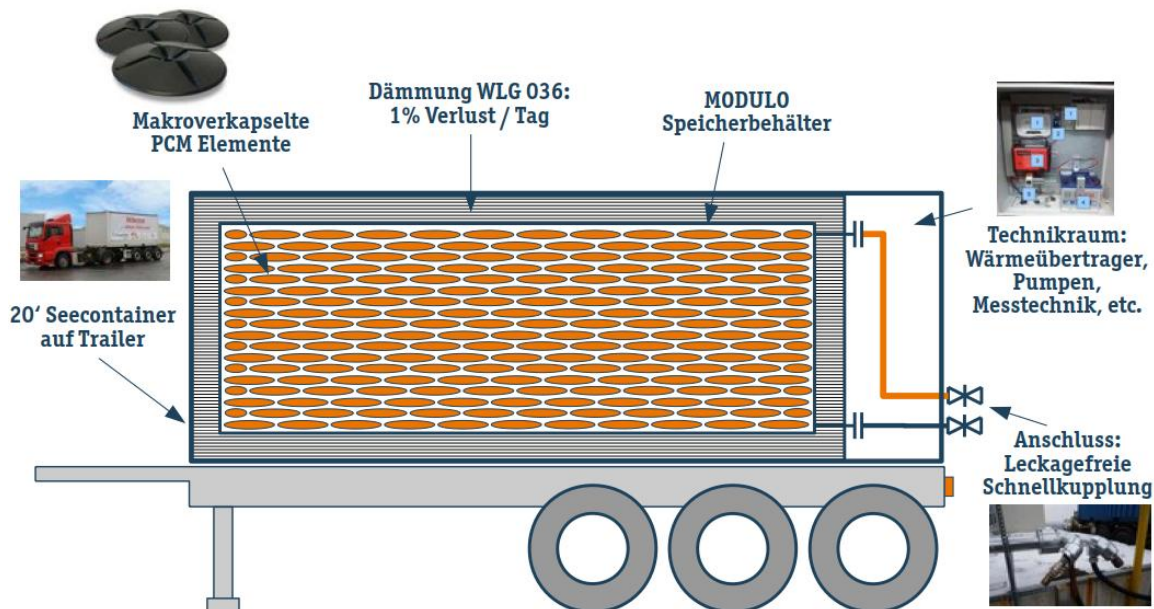


Abb. 9: Aufbau des MODULO MOBILE (HEINZEN, 2017)

Das Material wird in einem mobilen Überseecontainer mit einem Raumvolumen von knapp 33,1 m³ untergebracht.

Ein Hauptaugenmerk der weiteren Entwicklung des optimalen Einsatzes eines solchen Latentwärmespeichers wird auf die anzutreffenden Randbedingungen gelegt, welche einen wesentlichen Einfluss sowohl auf die ökonomischen als auch ökologischen Bedingungen haben. In Abhängigkeit der Be- und Entladetemperaturen (Vor- und Rücklauf), des Bedarfes an Wärmemenge im Bereich der Wärmesenke als auch der Speicherkapazität des Speichers werden u. a. die Standzeiten bestimmt. Eine weitere Zielsetzung dieses Leuchtturmprojektes wird es sein, in wie weit solche Systeme wirtschaftlich betrieben werden können.

4.4 Projektstatus

Das Projekt befindet sich in der technischen Umsetzung. Es werden zurzeit drei mobile Containereinheiten vorkonfektioniert. Eine Auslieferung der Einheiten an die Stadt Saarlouis ist für Anfang 2019 geplant. Des Weiteren wurde die Heizzentrale der Grundschule im Hinblick einer optimalen Energieeinspeisung und -verteilung umfangreich umgebaut. Es wurde ein neues Energiemonitoring implementiert, um eine exakte Analyse der Energieströme zu ermöglichen und

eine optimale Anbindung und Auslastung des Wärmespeichers an das vorhandene Heizungssystem zu gewährleisten. Zurzeit werden drei mobile Wärmespeicher gebaut. Der erste Einsatz ist für Januar 2019 geplant.

In dieser Einfahrphase Anfang 2019 wird sich zeigen, in wie weit noch Optimierungsbedarf bei der Speicherung der Überschusswärme und bei der Abgabe dieser Energie vorliegt.

4.5 Mögliche Betriebs- und Investitionskosten

Die Stadt Saarlouis wird drei mobile Wärmespeichersysteme aufbauen. Die ungefähren Investitionskosten betragen knapp 480.000 € netto.

Bei diesem Projekt ist zu berücksichtigen, dass der Projektträger Jülich das Projekt mit einem Anteil von 80 % bezuschusst.

Tab. 2: Wirtschaftlichkeitsberechnung zum jetzigen Zeitpunkt unter Berücksichtigung einer Förderquote von 80 %

Wärmegestehungskosten	Wert					Einheit
Anzahl Zyklen*	200	300	400	500	600	Zyklen/a
Wärmearbeit im Jahr	1.020.000,00	1.530.000,00	2.040.000,00	2.550.000,00	3.060.000,00	kWh/a
Erlöse/Einsparung fossiler Brennstoff	61.200,00	91.800,00	122.400,00	153.000,00	183.600,00	€/a
Investitionskosten	9.600,00	9.600,00	9.600,00	9.600,00	9.600,00	€/a
Ladebezogene Betriebskosten	808,00	1.212,00	1.616,00	2.020,00	2.424,00	€/a
Wärmeeinkauf	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	€/a
Transportbezogene Betriebskosten	23.688,00	35.532,00	47.376,00	59.220,00	71.064,00	€/a
Kosten	34.096,00	46.344,00	58.592,00	70.840,00	83.088,00	€/a
Gewinn/Verlust	27.104,00	45.456,00	63.808,00	82.160,00	100.512,00	€/a
WGK Mobiler LWS	3,34	3,03	2,87	2,78	2,72	ct/kWh
Verkaufspreis	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	ct/kWh
Marge	4,66	4,97	5,13	5,22	5,28	ct/kWh

Die nachfolgenden aufgeführten Punkte sind wesentlich für die Wirtschaftlichkeit beim Einsatz eines mobilen Wärmespeichers:

- Ein möglicher Wärmeeinkauf sollte kostengünstig zwischen 0 bis 2 ct/kWh (z. B. Abwärme aus industriellen Anlagen oder Biogasanlagen) – in dem vorliegenden Projekt wird die Überschusswärme ohne Kosten durch den EVS ABW der Stadt Saarlouis zur Verfügung gestellt;
- Eine optimale Kombination wäre der technische Einsatz bei Verbrauchern (Wärmesenken), die ganzjährig einen Wärmebedarf aufweisen und wo die untere Prozesstemperatur (im Rücklauf) unter 50°C liegt;
- Eine erste Wirtschaftlichkeit kann auch schon bei 200 Zyklen pro Jahr erreicht werden; sicherlich ist es jedoch besser mehr Be- und Entladezyklen zu fahren;
- Grundsätzlich kann auch der KWK Bonus für diese Anwendung beantragt werden; im vorliegenden Projekt erfolgt jedoch eine Förderung.

Detaillierte Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit erfolgen noch im Zuge der Optimierung des Einsatzes der drei mobilen Wärmespeicher an zwei ausgewählten Wärmesenken.

5 Theoretisches Einsparpotenzial an CO₂(eq) der Gesamtmaßnahmen

Neben der kostengünstigen Umsetzung des Projektes gilt es, ein hohes Einsparpotenzial an klimaschädlichen Treibhausgasen – bestimmt als CO₂-Äquivalente, CO₂(eq) – darzustellen. In einem ersten Schritt wird die Gesamtmenge an CO₂(eq) bei den jetzigen Energieträgern in den Wärmesenken, bezogen auf Erdgas und Fernwärme, berücksichtigt (Berechnung von Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener Energieträger).

Des Weiteren wird anhand der Be- und Entladezyklen sowie der abgenommenen Wärmemenge an der Wärmesenke die eingesparte Gesamtmenge an CO₂-Äquivalente ermittelt.

Tab. 3: Bestimmung der CO₂(eq) bezogen auf den Primärenergieträger am Standort der Grundschule Vogelwiese – Stadt Saarlouis

Primärenergieträger	Wärmeumsatz/ Stunde-kWh/h	Gesamtmenge CO ₂ (eq) inkl. Vorkette kg/h	Jahreswärme- umsatz kWh/Jahr	Gesamtmenge CO ₂ (eq) inkl. Vorkette to/a
Fernwärme	68	4,3	198.250	38

Aus der vorangestellten Tabelle ergibt sich für die Grundschule Vogelsang unter Berücksichtigung einer Teilabnahme der Wärme ein Einsparpotenzial von knapp 38 to CO₂ Äquivalente pro Jahr. Hierbei wurden auch die beim An- und Abtransport entstehenden CO₂ Äquivalente berücksichtigt.

Zusätzlicher Synergieeffekt durch die Minimierung der Methanemissionen aus dem Deponiekörper:

Durch das aktive Fassen der Methankonzentrationen im Deponiekörper sowie die thermische Umwandlung des Deponiegases zu Kohlendioxid ergibt sich eine zusätzliche Treibhausgasminimierung, da das CO₂ Äquivalent für Methan bei einem Zeithorizont von 100 Jahren bei einem Faktor 25 bis 28 liegt. Das bedeutet, dass ein Kilogramm Methan innerhalb der ersten 100 Jahre nach der Freisetzung 25 bis 28-mal so stark zum Treibhauseffekt beiträgt wie ein Kilogramm CO₂. Da dieses Methan jedoch gar nicht in die Umwelt gelangt, sondern direkt zu Kohlendioxid umgewandelt wird, hat es keinen negativen Einfluss auf die Atmosphäre.

Somit kommen über die eigentliche *in situ* Stabilisierungsmaßnahme der Deponie Lisdorf durch gezielten Luftsauerstoffeintrag über den Gesamtzeitraum der Maßnahmen noch weitere eingesparte 6.000 to CO₂ Äquivalente pro Jahr hinzu.

6 Literatur & Quellen

- Heyer, K.-U., Hupe, K., 2018 Modifizierte Ansätze zur Quantifizierung der Methanemissionen von Siedlungsabfalldeponien – Ergebnisse eines UFOPLAN-Vorhabens, Beitrag zur Deponietechnik 2018, Seite 299 u. f.; ISBN 978-3-9817572-7-9
- Ingenieurbüro Braun, 2017 Deponie Lisdorf, Bericht zur Gasemissionsmessung Oktober 2017, erstellt für den EVS ABW GmbH Saarbrücken
- BMUB (Hrsg.), 2013 Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2013, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2011, Umweltbundesamt 08/2013, Seite 607 und folgend
- Heinzen, R. 2017 Informationen zum MODULO Mobile, Fa. EnerSolve GmbH, Kassel

Anschrift der Verfasser(innen)

Dipl.-Ing. Biotechn. Jürgen Forsting

CDM Smith Consult GmbH

Am Umweltpark 3 – 5

D-44793 Bochum

Telefon: +49 234 68775 415

Email: juergen.forsting@cdmsmith.com

Website: www.cdmsmith.com/de/