

Klimaneutrale Wärmenutzung - CO₂-neutrale und dezentrale Wärmeversorgung aus Restwärme bei der thermischen Schwachgasnutzung von anfallendem Deponiegas mittels eines mobilen Wärmespeichers

Jürgen Forsting

Ingenieurbüro / CDM Smith Consult GmbH, Bochum

Horst Rupp

Stadt Saarlouis / Stadtverwaltung Saarlouis

Inhaltsangabe

Siedlungsabfalldeponien tragen zu einem nicht unerheblichen Teil durch das Freisetzen von Treibhausgasen wie Methan zum globalen Klimawandel bei. Seit 2013 werden durch den Projektträger Jülich (*ptj*) im Auftrag des Bundesumweltministeriums für die Stabilisierung des Gaspfades von Siedlungsabfalldeponien im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative Fördermaßnahmen vorgenommen. Anhand einer solchen geförderten Maßnahme des schwachmethanhaltigen Deponiegases fällt bei der thermischen Behandlung Überschusswärme an. Diese dezentral gewonnene Wärme kann jedoch 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 PCM-Wärmespeichern auf.

Stichworte

Klimaneutrale Nutzung schwachmethanhaltiger Deponiegase; Ziel der Kreisstadt Saarlouis: CO₂-Neutralität bis 2050; Energieeinsparung und Energieeffizienz, Ausbau erneuerbarer Energien, Mobilität

1 Einleitung

Die vorhandene, biologisch abbaubare Organik in Siedlungsabfalldeponien werden über einen sehr langen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten umgesetzt. Beim aktiven Absaugen des anfallenden Deponiegases, u. a. mit klassischen Gasfassungssystemen (Kaminziehröhre, 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 nicht

unerheblicher 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.

2 Ausgangssituation - Wärmequelle Zentraldeponie Lisdorf

Durch die Fördermaßnahme „*Investive Klimaschutzmaßnahmen – Klimaschutz bei stillgelegten Siedlungsabfalldeponien*“ im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative hat der *EVS ABW GmbH / EVS Gesellschaft für Abfallwirtschaft GmbH* aus Saarbrücken am Standort der Deponie Lisdorf verschiedene Optimierungsmaßnahmen, u. a. am Gaserfassung und durch die Errichtung einer Schwachgasbehandlungsanlage, realisieren können. Durch diese *in situ* Stabilisierung erfolgt ein zielgerichtetes Über-saugen des Deponiekörpers mit Eintrag von Luftsauerstoff - Aerobisierung.

Im Vorfeld der technischen Umsetzung wurden ausführliche Untersuchungen (geförderte Potenzialanalyse/Konzeptstudie - Aktenzeichen 03KS5961) durch das Ingenieurbüro *CDM Smith Consult GmbH* auf der Deponie Lisdorf durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass noch erhebliche Treibhausgas (THG) – Emissionspotenziale bestehen; insbesondere treten noch Restemissionen über die Deponieoberfläche über längere Zeiträume auf. Dies zeigen auch die in regelmäßigen Abständen durchgeführten Gesamtkohlenstoffmessungen. Aus diesem Grund wird ab Mitte 2017 das schwachmethanhaltige Deponiegas einer thermischen Behandlung (geförderte Maßnahme - Aktenzeichen 03K03571) zugeführt. Bei dieser thermischen Behandlung des abgesaugten Deponiegases wird zwangsläufig Energie in Form von Wärme frei, welche über einen Wärmeaustauscher zum Teil für externe Wärmesenken zur Verfügung gestellt werden kann. Diese Überschusswärme steht zwar zur Verfügung, kann jedoch nicht direkt am Standort der Deponie Lisdorf genutzt werden.

Durch ein verbessertes „Deponiegasmanagement“ und einer Tiefenbesaugung gibt es nun die Möglichkeit der aktiven und kontrollierten Besaugung und somit einer optimalen Deponiegaserfassung und bietet durch die Ausgestaltung eine verbesserte

Durchflusskapazität für Stabilisierungsmaßnahmen. 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.

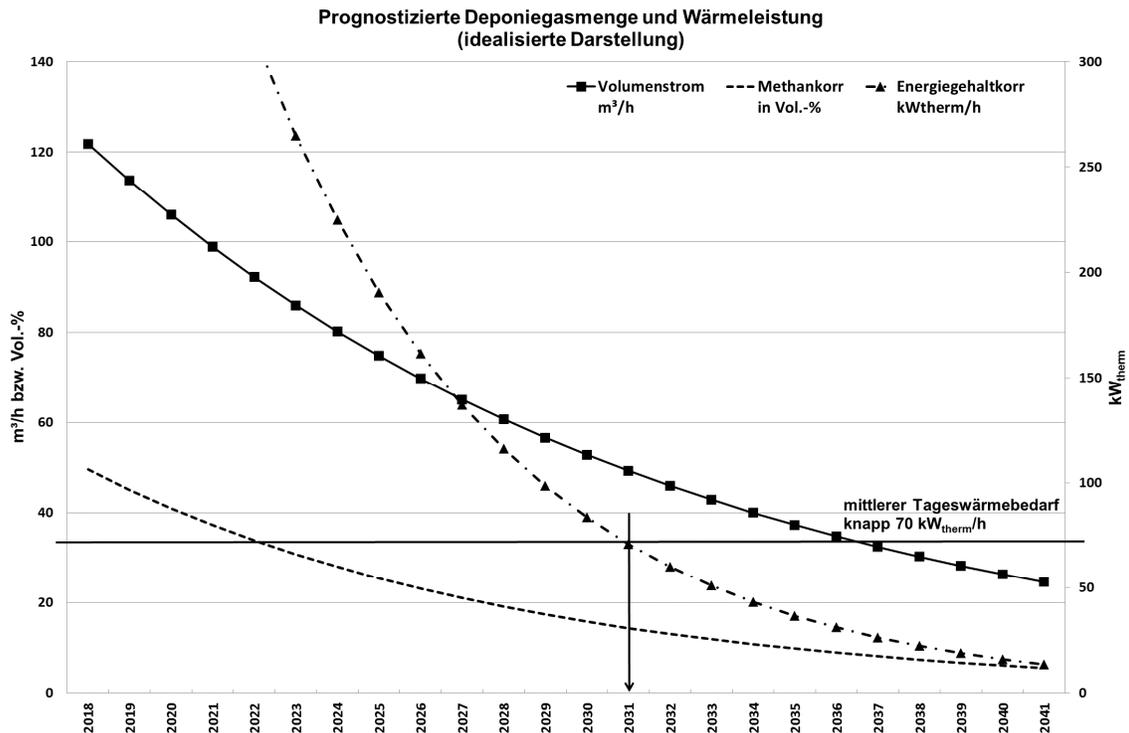


Abbildung 1 idealisierte Gasprognose und Wärmebedarf

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 (Bsp. unter Kapitel 3.1) mit einem mittleren Tageswärmebedarf von knapp 70 kW_{therm}. 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.

Das Amt für ökologische Stadtentwicklung der *Stadt Saarlouis* hat nun in einem zweiten Schritt, in enger Zusammenarbeit mit *CDM Smith Consult GmbH*, weitere För-

dergelder für ein Leuchtturmprojekt/Antrag beim *Projektträger Jülich (ptj)* bewilligt bekommen.

Vorab wurde eine Projektskizze erstellt, um 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 umsetzen zu können.

2.1 Umsetzung an der Wärmequelle – Wärmeauskopplung an der Schwachgasbehandlungsanlage

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.}



Abbildung 2 *idealisierte Gasprognose und Wärmebedarf*

Die für diese Entwurfsplanung 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.

2.2 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).

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.

Auch ist die Temperatur beim Be- und Entladen über lange Zeit konstant. Die hier vorgestellte Variante für den Transport thermischer Energie erfolgt über so genannte *Phase Change Slurries* (PCS) bzw. *Phase Change Materials* (PCM) (STERNER, STADLER, 2014).

Das Material zur Latentwärmespeicherung sollte folgende Eignungskriterien erfüllen (STERNER, STADLER, 2014):

- Physikalische Eigenschaften:
 - Hohe Phasenübergangsenthalpie und spezifische Wärmekapazitäten;
 - Geeignete Schmelztemperatur;
 - Gute Leitfähigkeit;
 - Reproduzierbarer Phasenübergang;
- Technische Kriterien:
 - Physikalische und chemische Stabilität;
 - Geringer Dampfdruck;
 - Kaum Volumenänderung bei Be- und Entladung;

- Geringe Korrosivität gegenüber Werkstoffen;
- Ökonomische Kriterien:
 - Niedriger Preis;
 - Verfügbarkeit der Materialien;
 - Umweltverträglichkeit.

Es bietet sich somit idealerweise an, sog. Salzhydrate einzusetzen. Ein solches Salzhydrat kann z. B. auch Natriumacetat – Trihydrat $[\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3 \text{H}_2\text{O}]$ sein. Der Phasenwechsel dieses Materials erfolgt bei knapp 59°C , die Dichte beträgt $\sim 1,3 \text{ kg/dm}^3$ und weist eine Schmelzenthalpie von 226 kJ/kg auf (STERNER, STADLER, 2014) und (HEINZEN, 2017).

Auch findet dieser Stoff Verwendung als Lebensmittelzusatz E262, als Straßensalz und in Taschenwärmern und hat keine Gefahrstoffkennzeichnung.

Der vorgesehene Einsatz erfolgt in einem geschlossenen Container. Die einzelnen Module sind in Makroverkapselung untergebracht und haben eine Langzeitstabilität von mehr als > 10.000 Ladezyklen (keine Unterkühlung).



Abbildung 3 Natriumacetat – Trihydrat und Mikroverkapselung (HEINZEN, 2017)

Bei der Konstruktion und dem Bau des Containers ist darauf zu achten, dass das Speichermaterial im Phasenübergang nur geringe Volumenveränderungen erfährt. Beim Bau des Latentwärmespeichers sollte zudem auf kostengünstige Standardkomponenten zurückgegriffen werden. Der Transportbehälter ist ein marktüblicher $20'$ Standardcontainer vorzusehen.

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 wird.

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.

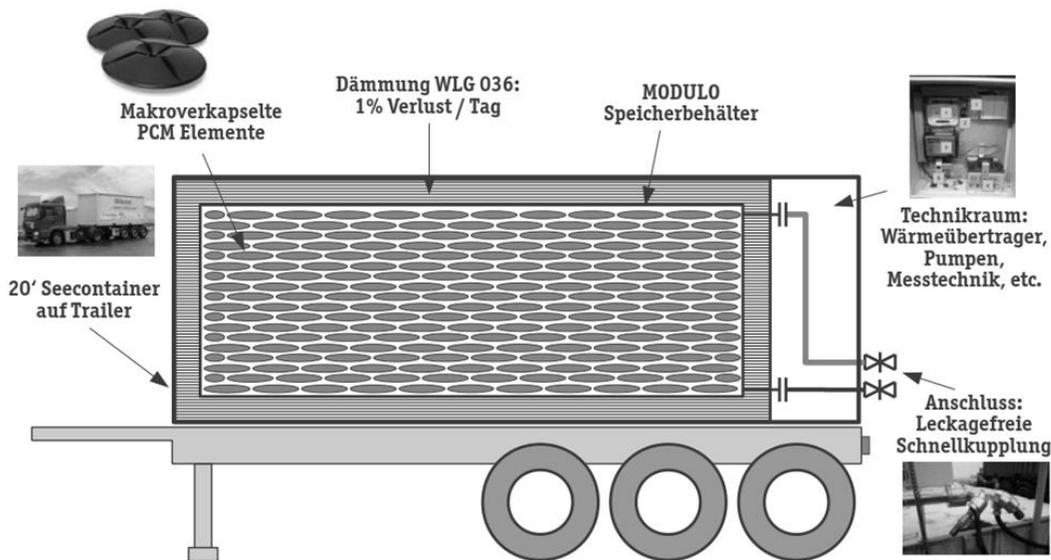


Abbildung 4 Aufbau des MODULO MOBILE (HEINZEN, 2017)

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 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.

In der Einfahrphase (zu Beginn des Einsatzes des mobilen Latentwärmespeichers) wird es notwendig werden, weitere standort- und bedarfsspezifische Optimierungsmaßnahmen am System vorzunehmen.

3 Ausgangssituation - Wärmesenke Stadt Saarlouis

Die Stadt Saarlouis in unmittelbarer Nähe der Deponie weist unterschiedliche Wärmesenken auf und könnte die bei der thermischen Behandlung des klimaschädlichen Deponiegases diese Überschusswärme sinnvoll nutzen. Von der Prozesswärme könnte 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.

3.1 Wärmesenke an der Grundschule Vogelsang

Am Beispiel der 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 1 ersichtlich, kann der mittlere Tageswärmebedarf an dieser Wärmesenke von knapp 70 kW_{therm.} pro Stunde unter idealen Bedingungen noch bis zum Jahr 2030 von der Schwachgasbehandlungsanlage in Lisdorf zur Verfügung gestellt werden.

Die Heizzentrale der Grundschule wurde zudem im Hinblick einer optimalen Energieeinspeisung und –verteilung umfangreich umgebaut. Des Weiteren wurde ein neues Energiemonitoring implementiert, um eine exakte Analyse der Energieströme zu ermöglichen und eine optimale Anbind und Auslastung des Wärmespeichers an das vorhandene Heizungssystem zu gewährleisten.

In der Einfahrphase Mitte 2018 wird sich zeigen, in wie weit noch Optimierungsbedarf bei der Speicherung der Überschusswärme als auch bei der Abgabe dieser Energie vorliegt.

4 Optimierung und Monitoring des Einsatzes mob. Wärmespeicher

Zur Bestimmung der optimalen Wärmenutzung und des idealen Einsatzes des mobilen Wärmespeichers ist es notwendig, die Ladezeiten/Zyklen mit Angabe der Speicherkapazitäten, die Anzahl der Transporte (unter anderem auch die Darstellung der Wirtschaftlichkeit) sowie die Auf- und Abnahmen der Wärmemengen zu bestimmen.

Dazu werden unterschiedliche Randbedingungen definiert, um die Be- und Entladezeiten sowie die genaue Anzahl an Transporten zu bestimmen. Unter Berücksichtigung der vorangestellten Bedingungen ergibt sich beim idealen Einsatz der mobilen Wärmespeicher für die zuvor dargestellte Wärmesenke folgender Wärmeumsatz:

Tabelle 1 Wärmeumsatz mobiler Wärmespeicher

Wärmeumsatz/ Woche-kWh/W	Wärmeumsatz/ Tag-kWh/Tag	Wärmeumsatz/ Stunde-kWh/h	Anzahl Tage Nutzung - Tage	Jahreswärme- umsatz kWh/Jahr
11.375	1.625	68	122	198.250

Somit könnten die beiden Wärmespeicher maximal 122 Tage zum Einsatz kommen und insgesamt knapp 198.250 kWh_{therm}/Jahr der Wärmesenke zur Verfügung stellen.

Sicherlich werden im reellen Betrieb ab Mitte/Ende 2018 noch viele Anlagenparameter eingestellt und überwacht, die Be- und Entladezyklen optimiert als auch die Anzahl der Transporte verbessert werden.

5 Theoretisches Einsparpotenzial an CO_{2(eq)} – Variante A

Neben der kostengünstigen Umsetzung des Projektes gilt es, ein hohes Einsparpotenzial an klimaschädlichen Treibhausgasen – bestimmt als CO₂-Äquivalente, CO_{2(eq)} – darzustellen. In einem ersten Schritt wird die Gesamtmenge an CO_{2(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.

Tabelle 2 Bestimmung der CO₂-Äquivalente bezogen auf den Energieträger 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

- Heyer, K.-U., Hupe, K., Stegmann, R. 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
- BMUB (Hrsg.), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 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

- Sterner, M., Stadler, I. 2014 Energiespeicher; Bedarf, Technologien, Integration;
M. Sterner und I. Stadler, Springer Vieweg, ISBN
978-3-642-37379-4
- 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/

Dipl.-Ing. Horst Rupp

Stadtverwaltung Saarlouis

Amt für ökologische Stadtentwicklung

Großer Markt 1

66740 Saarlouis

Telefon: 06831 / 443 – 314

E-Mail: rupp@saarlouis.de