



Standardmethode für den Nachweis von Emissionsverminderungen bei Deponiegasprojekten

Anhang G zur Mitteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“

Inhalt

1	Einleitung	2
2	Schweizer Kontext	3
2.1	Gesetzliche Grundlagen im Bereich Deponien/Deponiegase	3
2.2	Technologien	5
2.2.1	Abfackelung oder Nutzung von Deponiegas	6
2.2.2	Schwachgasfassung und -behandlung	6
2.2.3	Aktive Aerobisierung	7
2.2.4	Passive Aerobisierung	7
3	Methodische Grundlagen	8
3.1	Verwendete Quellen und Grundlagen	8
3.2	Definitionen	9
3.3	Anwendungsbereiche und Vorgaben der Standardmethode	11
4	Nachweis von Emissionsverminderungen im Fall von Schwachgasbehandlung	13
4.1	Systemgrenze	13
4.2	Parameter und Berechnungsmethoden	14
4.2.1	Ex-ante Abschätzung der Emissionsreduktionen	15
4.2.2	Ex-post Messung der Emissionsreduktionen	18
4.3	Zusätzlichkeit	18
4.4	Monitoring	19
4.4.1	Werte und Faktoren die nicht kontinuierlich gemessen werden	19
4.4.2	Zu messende Werte	21
5	Nachweis von Emissionsreduktionen im Fall von aktiver Aerobisierung mit oder ohne nachgeschalteter Schwachgasbehandlung	23
5.1	Systemgrenze	23
5.2	Parameter und Berechnungsmethoden	24
5.2.1	Ex-ante Abschätzung der Emissionsreduktionen	27
5.2.2	Ex-post Messung der Emissionsreduktionen	28
5.3	Zusätzlichkeit	31
5.4	Monitoring	32
5.4.1	Werte und Faktoren die nicht kontinuierlich gemessen werden	32
5.4.2	Zu messende Werte	34

1 Einleitung

In Ergänzung zur Vollzugsmitteilung "Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland"¹ werden mit technologiespezifischen Anhängen den Gesuchstellern Empfehlungen abgegeben, wie der Nachweis der erzielten Emissionsverminderungen erbracht werden kann. Im Vordergrund stehen dabei Nachweisbarkeit und Quantifizierbarkeit der zusätzlich zu einer Referenzentwicklung erzielten Emissionsverminderungen. Der vorliegende technische Anhang, der unter Beizug eines externen Beratungsbüros ausgearbeitet wurde, behandelt den Nachweis von Emissionsverminderungen bei Deponiegasprojekten².

Wenn ein Deponiegasprojekt die Anforderungen gemäss Abschnitt 3.3 dieses Dokumentes erfüllt, können die anrechenbaren Emissionsverminderungen mit der im Folgenden beschriebenen Standardmethode berechnet werden. Für den Gesuchsteller ist dabei sichergestellt, dass die Methode von der Geschäftsstelle Kompensation von BAFU/BFE akzeptiert wird.

Für die Verständlichkeit der Methode, insbesondere auch im Hinblick auf Abweichungen von internationalen CDM-Methoden, wird in Kapitel 2 ein kurzer Überblick über Besonderheiten im Schweizer Kontext gegeben sowohl bezüglich gesetzlicher Grundlagen als auch hinsichtlich des Einsatzes möglicher Technologien.

Kapitel 3 enthält allgemeine Angaben wie Definitionen und verwendete Grundlagen sowie Erläuterungen zum Anwendungsbereich der Methode. In Kapitel 4 wird die Methode für den Nachweis von Emissionsverminderungen im Fall einer Schwachgasbehandlung beschrieben und im Kapitel 5 das Vorgehen, wenn eine aktive Aerobisierung mit oder ohne Schwachgasbehandlung vorgesehen ist.

¹ Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland, ein Modul der Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde zur CO₂-Verordnung, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern: www.bafu.admin.ch/UV-1315-D.

² Die in dieser Standardmethode aufgeführten Aussagen für Deponiegasprojekte (Einzelprojekte) gelten analog auch für einzelne Vorhaben von Deponiegas-Programmen.

2 Schweizer Kontext

Seit dem 1.1.2000 müssen in der Schweiz sämtliche nicht verwerteten, brennbaren Abfälle in geeigneten Feuerungsanlagen verbrannt werden (Ablagerungsverbot). Dies führte dazu, dass brennbare Abfälle mit hohem organischem Anteil (zum Beispiel Kehricht mit organischem Anteil) seither nicht mehr in Deponien abgelagert wurden. Die derzeitigen Methanemissionen aus Deponien stammen daher aus älteren Ablagerungsperioden. Je nach Alter der Deponie sind dabei weite Teile des abbaubaren Kohlenstoffs bereits abgebaut worden, vornehmlich unter anaeroben Bedingungen unter Bildung von Methan. Durch die Abbauprozesse, aber auch durch Sanierungs- bzw. Nachsorgemassnahmen, nehmen Methanemissionen aus Deponien in der Schweiz kontinuierlich ab³.

Die Nachsorge und die allfällige Sanierung von Deponien sind mit einer Reihe von gesetzlichen Grundlagen geregelt. Für die Verhinderung von Methanemissionen kommen verschiedene Technologien zum Einsatz, die auf den Schweizer Kontext abgestimmt sind. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen und die anwendbaren Technologien werden in den nächsten Kapiteln kurz beschrieben.

2.1 Gesetzliche Grundlagen im Bereich Deponien/Deponiegase

Eine Reihe gesetzlicher Grundlagen regelt das Ablagern von Abfällen und das Betreiben von Deponien und die Sanierung von Ablagerungsstandorten. Die wichtigsten gesetzlichen Grundlagen sind:

- Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, **USG**, SR 814.01), insb. Artikel 30e (Ablagerungen nur auf bewilligten Deponien) und Artikel 32c ff. (Sanierung belasteter Standorte)
- Verordnung vom 26. August 1998 über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, **AltIV**, SR 814.680): Die AltIV regelt die Beurteilung der Überwachungs- und Sanierungsbedürftigkeit eines belasteten Standorts, die Beurteilung der Ziele und Dringlichkeit einer Sanierung und die Festlegung der Untersuchungs-, Überwachungs- und Sanierungsmassnahmen. Gemäss AltIV wird u.a. anhand von dort genannten Schadstoffwerten beurteilt, ob ein belasteter Standort sanierungs- oder überwachungsbedürftig ist. Die zuständige Behörde legt die notwendigen Massnahmen fest.
Es gibt in der AltIV einen Grenzwert für den Methangehalt in der Porenluft. Wenn dieser Wert überschritten ist, ist der belastete Standort sanierungsbedürftig, wenn die vom Standort ausgehenden Emissionen an Orte gelangen, wo sich Personen regelmässig während längerer Zeit aufhalten können.
- Technische Verordnung vom 10. Dezember 1990 über Abfälle (**TVA**, SR 814.600): Die TVA enthält Anforderungen an den Standort, die Errichtung, den Betrieb, den Abschluss und die Überwachung von Deponien und legt fest, welche Abfälle auf welchen Deponietypen abgelagert werden dürfen. Relevant für Deponiegasprojekte sind die sog. Reaktordeponien. Diese enthalten organische Abfälle, bei deren Abbau Methan und Kohlendioxid entstehen. Die in der TVA enthaltenen Bestimmungen über Deponien bilden die Grundlage für die Anordnung konkreter Massnahmen zur Deponiegaserfassung und -behandlung im Rahmen der Bewilligung einer Deponie. Diese Bewilligungen werden durch die kantonalen Behörden erteilt.

Anforderungen an die Entgasung von Deponien

a) Ablagerungen vor Inkrafttreten der TVA (Altanlagen)

- Vor dem Inkrafttreten der TVA war eine Entgasung von Deponien nicht vorgeschrieben.
- Entgasungen waren allenfalls aus sicherheitstechnischen Gründen vorgesehen.
- Deponien können allenfalls als sanierungs- oder überwachungsbedürftig klassiert worden sein. Damit können Massnahmen für die Entgasung verbunden sein.

³ National Inventory of GHG Emissions, Office of Environment 2013, Chapter 8.

Relevanz für Kompensationsprojekte: Kompensationsprojekte sind bei Altablagerungen möglich, sofern diese Massnahmen nicht als Sanierungsmassnahmen infolge einer Sanierungsbedürftigkeit behördlich verfügt wurden.

b) Reaktordeponien gemäss TVA

Für Deponien, die vor dem Inkrafttreten der TVA in Betrieb waren und die weiter betrieben werden sollten, war eine 3jährige Übergangsfrist gegeben, um die Anforderungen der TVA an die Entgasung zu erfüllen (Art. 53 TVA).

Damit gelten für alle heute noch in Betrieb stehenden Deponien die im Folgenden aufgeführten Regelungen.

- Die **Errichtung und der Betrieb** von Deponien bedürfen einer Bewilligung des jeweiligen Standortkantons (Art. 30e. Abs. 2 USG). Die Errichtungsbewilligung wird erteilt, wenn u.a. die Anforderungen nach Anhang 2 an die Entgasung erfüllt sind (Art. 25 Abs. 1 TVA). Vor der Erteilung der Betriebsbewilligung kontrolliert die Behörde u.a. die vorgeschriebenen Anlagen zur Entgasung (Art. 27 Abs 1. TVA).
- Die **Anforderungen an die Entgasung** von Deponien ist in Anhang 2 Ziffer 24 Absatz 1 TVA geregelt. Demnach müssen Reaktordeponien über Anlagen verfügen, mit denen die Gase aus der Deponie so erfasst, abgeleitet, verwertet oder sonst wie behandelt werden können, dass die Emissionsgrenzwerte eingehalten werden. Bei etappenweiser Errichtung einer Deponie müssen die Entgasungsanlagen einzeln reguliert und kontrolliert werden können. Die Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985 (LRV, SR 814.318.142.1) enthält keine Emissionsgrenzwerte für Methan. Im Bericht zum Entwurf der TVA (EDI, 1988) heisst es zu den Entgasungsbestimmungen: „...Die beim Abbau des organischen Materials gebildeten Gase (hauptsächlich Kohlendioxid und Methan) stellen ernstzunehmende Sicherheitsrisiken auf Reaktordeponien dar. Zusammen mit Deponiegas austretende, sehr geruchsintensive Stoffe können zur Geruchsbelästigung führen.“ Es sind somit auch sicherheitstechnischen Aspekte zu berücksichtigen (Explosionsschutz, MAK-Werte etc.).
- Die konkreten Anforderungen an die Entgasung wurden und werden von den Kantonen in den betreffenden Deponie-Bewilligungen festgelegt.
- Die Betriebsbewilligung legt u.a. die während des Betriebs und nach Abschluss der Deponie vom Deponiebetreiber vorzunehmenden **Kontrollen und Unterhaltsmassnahmen** fest und bestimmt nötigenfalls weitere Auflagen oder Bedingungen zum Schutz der Umwelt. Während der Betriebszeit müssen die Anlagen zur Entgasung von Inhaber der Deponie gemäss Artikel 34 Buchstabe h TVA regelmässig kontrolliert und gewartet werden. Ausserdem muss er die Entgasungsanlagen regelmässig von einem Sachverständigen kontrollieren und schriftlich bestätigen lassen und die Deponiegase mindestens zweimal jährlich kontrollieren (Art. 36 TVA).
- Die **Kontrolle und Überwachung** von Reaktordeponien durch die zuständige Behörde erfolgt gemäss Artikel 28 TVA. Demnach muss die Behörde mindestens zweimal jährlich den Betrieb und die vorgeschriebenen Anlagen kontrollieren und nach Abschluss dafür sorgen, dass u.a. die Deponiegase so lange kontrolliert werden, bis schädliche oder lästige Einwirkungen auf die Umwelt unwahrscheinlich erscheinen, mindestens jedoch während 15 Jahren.

Relevanz für Kompensationsprojekte: Da es keine schweizweiten umweltschutzorientierten Grenzwerte für Methanemissionen aus Deponien gibt, sind für Kompensationsprojekte bei Reaktordeponien die Auflagen an die Entgasung in der jeweiligen Errichtungs- und Betriebsbewilligung relevant. Somit ist entscheidend, welche Auflagen die zuständigen Behörden hinsichtlich Dauer der Entgasung respektive hinsichtlich zulässiger Methankonzentration an der Deponieoberfläche festgelegt haben. Auf dieser Basis resultiert die Art der einzusetzenden Technologie für die Entgasung. Nur Massnahmen, die über dieses geforderte Mass hinausgehen, kommen als Kompensationsprojekte in Frage. Folglich sind im Einzelfall die betreffenden Bewilligungen und allfällige weitere Verfügungen der Vollzugsbehörde zwingend zu berücksichtigen.

2.2 Technologien

Durch den anaeroben mikrobiellen Abbau organischer Substanzen entsteht in Deponien das sogenannte Deponiegas. Die Entstehung und Zusammensetzung von Deponiegas hängt von verschiedenen Faktoren ab. Einerseits spielt die Einbauart und die Mächtigkeit der Schichtung sowie die Zusammensetzung des organischen Ausgangsmaterials eine Rolle; je nach mikrobiellen Abbaubedingungen (aerob/ anaerob) schwankt die Zusammensetzung des Deponiegases, wobei Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) die Hauptabbauprodukte bilden. Andererseits variiert die Menge und Zusammensetzung des Deponiegases mit der Zeit in verschiedenen Phasen, je nachdem welcher Abbauprozess gerade stattfindet (vgl. Abbildung 1). Da diese Faktoren stark variieren, sind Schätzungen wie viel Deponiegas wann, wo und in welcher Zusammensetzung entsteht, mit Unsicherheiten behaftet. Die einzelnen Phasen variieren demnach erheblich zwischen verschiedenen Deponien und in einzelnen Deponien können auch mehrere Phasen gleichzeitig durchlaufen werden.

Neben der Klimarelevanz weist das Deponiegas auch sicherheitstechnische Risikofaktoren auf. Bei nicht fachgerechter Entgasung kann sich das Deponiegas so aufkonzentrieren, dass eine Brand-, Explosions- oder Erstickungsgefahr entsteht. Zudem kann das Verdrängen von Sauerstoff aus den obersten Abdeckschichten durch Deponiegas zu Vegetationsschäden führen. Die fachgerechte Überwachung und Nachsorge von Altablagerungen bzw. Deponien spielt daher eine wichtige Rolle.

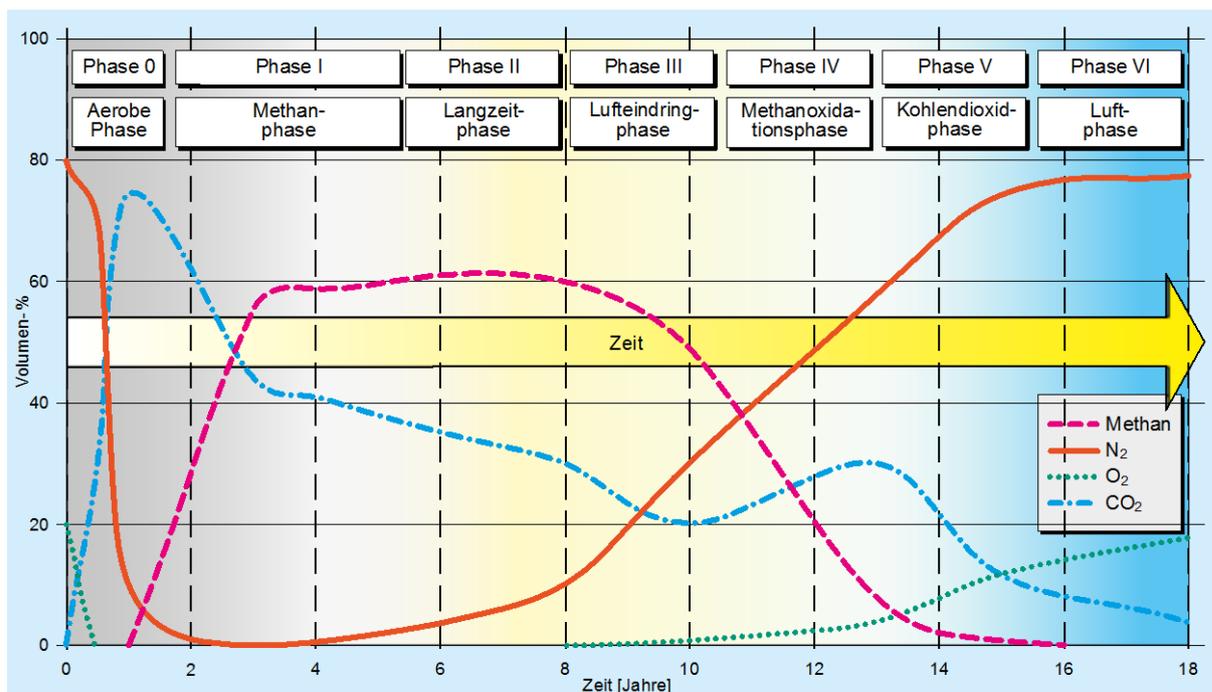


Abbildung 1: Verlauf der Deponiegaszusammensetzung über die Zeit. Die Zeitskala ist hier qualitativ zu verstehen. Die Dauer der Jahre der Phasen kann von Deponie zu Deponie stark variieren. Die Langzeitphase (Phase II) kann unter Umständen über 20 Jahre dauern. Für weitere Hintergründe zum Phasenverlauf siehe Link in Fussnote⁴. Einige der Schweizer Deponien werden von der Langzeitphase schon in die folgenden Phasen übergegangen sein.

Im Zentrum von Klimaschutzprojekten im Zusammenhang mit Deponien steht die Vermeidung von Methanemissionen. Methan hat ein höheres Treibhausgaspotenzial als Kohlendioxid⁵ und entsteht durch den mikrobiellen Abbau organischer Substanzen unter anaeroben Bedingungen.

⁴ www.bafu.admin.ch/sicherung_deponien/08358/08361/index.html?lang=de

⁵ Laut IPCC ist über einen Zeitraum von 100 Jahren das Treibhausgaspotenzial um den Faktor 28 höher (siehe IPCC Bericht 2013, Working Group 1, Kapitel 8, Tabelle 8.7). Massgebend für die Berechnungen im Rahmen von Kompensationsprojekten ist allerdings der in der CO₂-Verordnung vom 30. November 2012 festgelegte Faktor von 25.

Als Technologien zur Vermeidung von Methanemissionen kommen deshalb solche in Frage, die das Methan in das weniger klimaschädliche Kohlendioxid umwandeln.

Im Schweizer Kontext stehen folgende Technologien zur Vermeidung von Methanemissionen im Vordergrund:

- Erfassung, Ableitung und Behandlung des Methans durch Verbrennung (Gasmotor, Gasturbine, Heizkessel oder Fackel) oder flammenlose Oxidation / nicht katalytische Oxidation (vgl. Abschnitt 2.2.1 und 2.2.2) und
- Die Aerobisierung, d.h. Belüftung, einer Deponie (vgl. Abschnitt 2.2.3 und 2.2.4). Der organische Kohlenstoff wird dabei grösstenteils direkt zu Kohlendioxid und nicht zu Methan umgewandelt.

Die beiden Technologien können auch kombiniert werden.

2.2.1 Abfackelung oder Nutzung von Deponiegas

In der anaeroben stabilen Methan- oder Langzeitphase stellt sich im Deponiegas ein Methangehalt von ca. 40-60 Vol.-% ein, während der Rest hauptsächlich Kohlendioxid ist. In dieser Zusammensetzung verbrennt Deponiegas selbstgänglich (d.h. ohne Zusatzbrennstoff).

Grundsätzlich stehen folgende Möglichkeiten zur Verwertung des Deponiegases, insbesondere des darin enthaltenen Methans, zur Verfügung:

- Strom- und Wärmeerzeugung in Verbrennungsmotoren, Gasturbinen, Brennstoffzellen
- Aufbereitung (Methananreicherung) und Einspeisung in ein Erdgasnetz
- Nutzung als Treibstoff

Ist die Nutzung des Deponiegases nicht rentabel oder angebracht, kann es mittels einer Fackel verbrannt werden (Abfackelung). Bei höheren Methangehalten kommen hierzu konventionelle Fackeln zum Einsatz, bei niedrigen Methangehalten bieten sich eine Reihe von Technologien zur sogenannten Schwachgasbehandlung an (siehe nächster Abschnitt).

In der Schweiz besteht mit der technischen Verordnung über Abfälle (TVA) seit dem 1.1.2000 ein Verbot für das Ablagern von brennbaren Abfällen. Aufgrund massiver Reduktion abgelagerter Organika fallen in Schweizer Deponien im Vergleich zu ausländischen Deponien wesentlich kleinere Methanmengen an. Als Folge davon sind heute meist nur noch konventionelle Fackeln oder verschiedene Schwachgasbehandlungen für die Oxidation von Methan im Einsatz.

2.2.2 Schwachgaserfassung und -behandlung

Bei älteren Deponien nehmen sowohl die Gasmengen als auch die Konzentration des Methans ab (Schwachgas). Übersteigt die Absaugmenge die natürliche Deponiegasproduktion wird Aussenluft in den Deponiekörper gesaugt. Dies führt zu einem Aerobisierungseffekt, welcher die Methankonzentration noch zusätzlich verringert. Schwachgas⁶ stellt unmittelbar keine lokale Umweltgefahr dar. Man lässt es deshalb oft unbehandelt in die Atmosphäre entweichen. Um die damit verbundene Treibhauswirkung zu verhindern, kann Schwachgas entweder mit Hilfe eines Zusatzbrennstoffs verbrannt oder auf eine andere Art oxidiert werden, je nach Brennwert des Gases. Folgende Techniken stehen im Vordergrund:

- Modifizierte bestehende Standardfackel (modifizierter Brennertyp und geänderte Luftzumischung)
- Schwachgasfackel
- FLOX-Brenner (FLOX = flammenlose Oxidation)
- Nicht katalytische Oxidation

⁶ Als Schwachgas wird zum Beispiel ein Gasgemisch mit weniger als 25 Vol.-% Methananteil bezeichnet (d.h. mit einem Brennwert von weniger als 2,5 kWh/m³. Dies entspricht 9 MJ/m³)

2.2.3 Aktive Aerobisierung

Neben der thermischen Behandlung von Methan können Methanemissionen auch durch Belüftungsmethoden (Aerobisierung) verhindert werden. Bei der Aerobisierung wird in der Regel Luft in die anaeroben Zonen der Deponie gebracht, wodurch aerober Abbau des organischen Materials durch Mikroorganismen stattfindet. Dadurch entsteht Kohlendioxid, das ein wesentlich geringeres Treibhausgaspotenzial als Methan aufweist. Es gibt dabei verschiedene Methoden, die Luft (und damit den Sauerstoff) in die anaeroben Deponiezonen zu bringen. Grob können aktive Aerobisierungsverfahren aufgeteilt werden in

- Unterdruckverfahren oder
- Überdruckverfahren

Im Schweizer Kontext ist das Unterdruckverfahren verbreitet.

Durch die Erzeugung eines Unterdruckes im Deponiekörper strömt Aussenluft über die Deponieoberfläche in den Deponiekörper ein, was zum gewünschten Belüftungseffekt führt. Aufgrund des eingetragenen Sauerstoffes beschleunigt sich die biologische Umwandlung der organischen Inhaltsstoffe unter aeroben Bedingungen.

Mittels einer Behandlung des restlichen Schwachgases kann gewährleistet werden, dass Restmengen von Methan im angesaugten Deponiegas vernichtet werden.

2.2.4 Passive Aerobisierung

Bei einer passiven (semi-aeroben) Belüftung wird in der Regel mit vertikalen und horizontalen perforierten Rohren ein Rohrleitungssystem ohne Einrichtungen zur aktiven Belüftung oder Übersaugung installiert. Lufteintritt erfolgt durch die Temperaturdifferenz zwischen der Umgebungsluft und der Deponie. Damit sollen im Deponiekörper semi-aerobe Bedingungen erreicht werden.

Die Wahrscheinlichkeit einer Anwendung dieser Technologie in der Schweiz ist sehr gering.

3 Methodische Grundlagen

3.1 Verwendete Quellen und Grundlagen

Neben der Vollzugsmitteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“⁷ sind das die folgenden Dokumente:

Gesetzliche Grundlagen:

- Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG, SR 814.01).
www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19830267/index.html (24.03.2014)
- Verordnung vom 30. November 2012 über die Reduktion von CO₂-Emissionen (CO₂-Verordnung, SR 641.711), Stand 1.1.2015
www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20120090/index.html (9.1.2015)
- Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985 (LRV, SR 814.318.142.1)
<http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19850321/index.html> (7.07.2014)
- Verordnung vom 26. August 1998 über die Sanierung von belasteten Standorten (Atlas-ten-Verordnung, AltIV, SR 814.680)
www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19983151/index.html (24.03.2014)
- Technische Verordnung vom 10. Dezember 1990 über Abfälle (TVA, SR 814.600)
<http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19900325/201107010000/814.600.pdf> (24.03.2014)

CDM Methoden⁸:

- UNFCCCa: Approved baseline and monitoring methodology “Avoidance of landfill gas emissions by in-situ aeration of landfills”. AM0083 Version 1.0.1.
- UNFCCCb: Large-Scale Consolidated Methodology: “Flaring or use of landfill gas”. ACM0001 Version 14.0.

CDM Methodological tools⁹:

- “Tool to determine the mass flow of a greenhouse gas in a gaseous stream.”
- “Project emissions from flaring.”
- “Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site.”
- “Emissions from solid waste disposal sites.”
- “Tool to calculate project or leakage CO₂ emissions from fossil fuel combustion.
- “Tool to calculate baseline, project and/or leakage emissions from electricity consumption.”

Hintergrundstudien:

- Bräcker, W. 2010, Deponieentgasung bei rückläufigen Deponiegasmengen, Abfallwirtschaftsfakten 19 (2010), Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hildesheim.
- European Commission 2001: Waste Management Options and Climate Change: Final Report.
- IPCC 2006: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 3: Solid Waste Disposal.
- Ritzkowski, M. und Stegmann, R. 2012, Landfill aeration worldwide: Concepts, indications and findings”, Waste Management 32 (2012) 1411–1419.
- Ritzkowski, M. und Stegmann, R. 2007, Controlling greenhouse gas emissions through landfill in situ aeration, International journal of greenhouse gas control 1 (2007) 281 – 288.
- Ritzkowski, M. und Stegmann, R. 2010, Generating CO₂-credits through landfill in situ aeration, Waste Management 30 (2010) 702–706.

⁷ Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland, ein Modul der Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde zur CO₂-Verordnung, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern: www.bafu.admin.ch/UV-1315-D

⁸ Die aktuelle Version dieser Methoden sind zu finden unter: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved/>

⁹ Die aktuelle Version dieser Tools sind zu finden unter: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/>

- Roman, P., Tesar, M., Huber-Humer, M., Heiss-Ziegler, C. 2006, Technischer Leitfaden: In-situ Aerobisierung von Altablagerungen.
- Kühle-Weidemeier, M. und Bogon, H. 2008, Wirksamkeit von biologischen Methanoxidations-schichten auf Deponien. Praxistagung Deponien 2008.
- Schroth, M.H., Eugster, W., Gómez, K.E., Gonzalez-Gil, G., Niklaus, P.A., Oester, P. 2012, Above- and below-ground methane fluxes and methanotrophic activity in a landfill-cover soil, Waste Management 32 (2012) 879–889.
- Technische Verordnung Luft (Deutschland):
www.deponie-stief.de/pdf/fachlit_pdf/2003deponiegas_trier_butz_man.pdf (24.03.2014)

3.2 Definitionen

Die folgenden Definitionen beschreiben Schlüsselbegriffe, die in der Standardmethode verwendet werden. Für Begriffe im Zusammenhang mit Projekten und Programmen zur Emissionsverminderung im Inland wird auf die entsprechende Vollzugsmitteilung verwiesen.

Abfackelungseffizienz (AE)	Die Abfackelungseffizienz beschreibt den Anteil an Methan der bei der Abfackelung effektiv verbrannt wird oder generell bei Verfahren zur Gasbehandlung oxidiert wird ¹⁰ . Der Anteil (1-AE) wird nicht verbrannt/oxidiert und entweicht in die Atmosphäre. Zur Bestimmung gilt die Vorgehensweise gemäss UNFCCC: <ul style="list-style-type: none">• Als Default wird ein Wert von 90% für die Verbrennungseffizienz einer geschlossenen Fackel angewandt.• Projekteigner können auch die Herstellerangaben verwenden, falls nachgewiesen werden kann, dass diese eingehalten werden.• Projekteigner können eigene Messungen vornehmen.
Aerober Abbau	Mikrobieller Abbau organischer Substanz unter aeroben Bedingungen, das heisst in Anwesenheit von Sauerstoff. Aerober Abbau (häufig als Kompostierung bezeichnet) führt zur Bildung von Kohlendioxid.
Aerobisierung	Verfahren zur Belüftung von Deponiekörpern mit ansonsten mehrheitlich anaeroben Abbau von organischer Substanz. Die zugeführte Luft führt im Deponiekörper zu teilweise aeroben Bedingungen und aerobem Abbau. Durch den gezielten aeroben Abbau wird organischer Kohlenstoff in der Regel rascher abgebaut als durch anaeroben Abbau. Der aerobe Abbau führt zur schnelleren Mineralisierung des organischen Kohlenstoffs und kann somit zur erwünschten Verkürzung der Nachsorgedauer beitragen.
Aerobisierungsanteil (AA)	Durch die Aerobisierung wird ein Teil des abbaubaren organischen Abfalls nicht zu Methan umgewandelt, sondern zu Kohlendioxid oxidiert. Der Aerobisierungsanteil entspricht demzufolge dem Anteil an Methan, dessen Bildung durch die aktive Aerobisierung verhindert wurde. Der Anteil (1-AA) entsteht trotz aktiver Aerobisierung.
Anaerober Abbau	Mikrobieller Abbau organischer Substanz unter anaeroben Bedingungen, das heisst unter Ausschluss von Sauerstoff. Anaerober Abbau führt zur Bildung von Deponiegas mit relativ hohem Anteil an Methan.
Deponien	Deponien sind Abfallanlagen, in denen Abfälle endgültig und kontrolliert abgelagert werden (Definition gemäss Technische Verordnung über Abfälle (TVA)).

¹⁰ Streng genommen müsste man in der verallgemeinerten Form den Begriff „Behandlungseffizienz“ verwenden. Im vorliegenden Dokument wird jedoch generell von Abfackelungseffizienz gesprochen, auch wenn es sich in gewissen Fällen um flammenlose Oxidation handeln kann.

Deponiegas	Durch die biologische Umsetzung von in Deponien enthaltenen organischen Substanzen bildet sich Gas, das unter Druck steht und u.a. über die Oberfläche der Deponie austreten kann. Hauptkomponenten von Deponiegas sind Methan und Kohlendioxid.
F-Faktor	<p>Der F-Faktor beschreibt den Anteil an Methan im Methan/Kohlendioxid-Gemisch im Deponiegas.</p> <p>Bei Deponiegas in der sogenannten „anaeroben (stabilen) Methanphase“ wird in der vorliegenden Standardmethode analog zum IPCC angenommen, dass im Deponiegas Methan und Kohlendioxid jeweils zu 50 Vol.-% vorhanden sind. Dies entspricht einem F-Faktor von 0.5. Dieser Wert kann für die ex-ante Schätzung bei reiner Schwachgasbehandlung (Kapitel 4) verwendet werden.</p> <p>Die Bestimmung des F-Faktors bei Aerobisierung mit allfälliger Schwachgasbehandlung (Kapitel 5) ergibt sich aus dem Entscheidungsbaum in Abbildung 6.</p>
Intermittierender Betrieb der Fackel	Wenn die Gaszusammensetzung den kontinuierlichen Betrieb einer konventionellen Fackel nicht mehr gewährleistet, ist die Praxis verbreitet, die Fackel für einige Zeit ausser Betrieb zu nehmen, bis die Gaszusammensetzung den Betrieb der Fackel vorübergehend wieder erlaubt. So kommt es zum intermittierenden Betrieb der Fackel, während dem die Fackel immer wieder ausgeschaltet ist. Dies führt möglicherweise zu unerwünschten Methanemissionen, wenn die Fackel nicht in Betrieb ist. Daher ist eine Umstellung des Systems auf eine ununterbrochene Schwachgasbehandlung mit oder ohne Aerobisierung aus Gründen der Vermeidung von Methanemissionen wünschenswert.
Massnahmen	<p>Unter Massnahmen werden in der Standardmethode der Einsatz von Technologien oder Prozessen verstanden, die zu Emissionsverminderungen führen. Hierzu gehören zum Beispiel die Inbetriebnahme von Fackeln zur Zerstörung von Methan oder einer Belüftungstechnologie zur Mineralisierung des organischen Kohlenstoffs. Nicht als Massnahmen zur Emissionsverminderung gelten Biofilter, da diese Methanemissionen nur minimal verringern. Sie werden zur Vermeidung von Geruchsemissionen eingesetzt.</p> <p>Der Begriff wird besonders im Kapitel zu Anwendungsbereichen und Vorgaben verwendet.</p>
Oxidationsfaktor (OX)	<p>Der Oxidationsfaktor beschreibt den Anteil an Methan im Deponiegas, der in der Grenzschicht vor dem Austritt in die Atmosphäre oxidiert, d.h. zu Kohlendioxid umgewandelt wird. Um diesen Effekt zu berücksichtigen, wird der Oxidationsfaktor eingeführt. Der Anteil (1-OX) des durch die Grenzschicht strömenden Methans wird nicht oxidiert und entweicht in die Atmosphäre.</p> <p>Der Oxidationsvorgang unterscheidet sich von Deponie zu Deponie und variiert auch innerhalb einer Deponie je nach Alter oder Jahreszeit. Die Werte für den Faktor in der Literatur schwanken zwischen 0 für aktiv belüftete und bis 1 für nicht belüftete Deponien. Auch die Oberflächenbeschaffenheit der Deponie hat Einfluss auf den Oxidationsfaktor. Gemäss den Angaben des Reviews „Wirksamkeit von biologischen Methanoxidationsschichten auf Deponien“¹¹ und Expertenaussagen ist ein Faktor von 0.5 für schweizerische Deponien ohne Belüftung angemessen¹². Die Bestimmung des Oxidationsfaktors ist mit Unsicherheiten behaftet und auf-</p>

¹¹ www.oekobauconsult.de/Wirksamkeit_von_biologischen_Methanoxidationsschichten_mit_Index.pdf (17.03.2014)

¹² Viele Deponien haben schon eine längere Nachsorge erfahren, zum Beispiel in Form von Entgasung, und/oder verfügen über Abdeckungen bzw. Oberflächen, die eine Oxidation des Gases begünstigen.

wändig. Deshalb werden bei vorliegender Methode je nach Ausgangslage (mit oder ohne Belüftung) fixe Werte festgelegt. Der anzuwendende Wert des Oxidationsfaktors ergibt sich aus den Entscheidungsbäumen in Abbildung 3 bzw. Abbildung 6.

Der häufig verwendete IPCC Wert von 0.1 gilt für aktive und jüngere Deponien. Im Zusammenhang mit dem Schweizer Treibhausgasinventar wird dieser Wert benutzt, da hier eine Überschätzung von Emissionen als konservativ gilt.

Reaktordeponie

Reaktordeponien können Abfälle wie zum Beispiel Kehrlicht beinhalten (darf seit 2000 nicht mehr in Deponien abgelagert werden), die zu chemischen und vor allem biologischen Prozessen führen. Dabei stehen Emissionen über den Wasser- oder Gaspfad im Vordergrund. Im Zusammenhang mit der Gasbildung sind vor allem der anaerobe und aerobe Abbau von organischem Material wichtig. Genannte Prozesse können noch Jahrzehnte nach der letzten Kehrlichtablagerung ablaufen.

Saugeffizienz (SE)

Die Saugeffizienz beschreibt den Anteil des mit einer Entgasungsanlage erfassten Deponiegases (= Erfassungsgrad des Deponiegases). Der Anteil (1-SE) wird nicht erfasst und entweicht über die Grenzschicht in die Atmosphäre.

Stauchungsfaktor (SF)

Der Stauchungsfaktor repräsentiert die Anzahl Jahre deren Referenzemissionen gemäss FOD Modell¹³ mithilfe der aktiven Aerobisierung in einem Jahr aerob abgebaut werden, er kann auch als Beschleunigungsfaktor der Aerobisierung bezeichnet werden (siehe auch Kapitel 5.2.1).

3.3 Anwendungsbereiche und Vorgaben der Standardmethode

Grundsätzlich müssen Emissionsverminderungsprojekte, die die vorliegende Standardmethode anwenden, den Vorgaben der CO₂-Verordnung entsprechen und die entsprechende Vollzugsmitteilung berücksichtigen.

Die Standardmethode ist nur anwendbar, wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

Allgemeine Anforderungen für alle Projekte/Massnahmen

1. Die Deponie befindet sich auf Schweizer Boden.
2. Die Deponie und die geplanten Massnahmen¹⁴ zur Emissionsverminderungen halten die Ausführungsvorschriften der Umweltschutzgesetzgebung ein, insbesondere die Luftreinhalte Verordnung (LRV) und die Technische Verordnung über Abfälle (TVA).
3. Die Deponie oder Altablagerung verursacht ohne die geplante Massnahme (d.h. in der Referenzentwicklung) Methanemissionen. Dazu muss ein ausreichend hoher Anteil an organischen Abfällen (z.B. Kehrlicht) vorhanden sein.
4. Die geplanten Massnahmen sind nicht bereits gesetzlich oder per Verfügung vorgeschrieben¹⁵.
5. Die geplanten Massnahmen müssen mindestens dem Stand der Technik entsprechen. Das System der Schwachgasbehandlung muss also auf die derzeitige und zukünftige Deponiegaszusammensetzung optimiert sein.
6. Der Beginn der Umsetzung (=Umsetzungsbeginn) des Projektes darf bei der Einreichung des Gesuchs bei der Vollzugsbehörde nicht länger als 3 Monate zurück liegen. Der Beginn der Umsetzung entspricht in der Regel dem Zeitpunkt, zu dem sich der Gesuchsteller gegenüber Dritten massgeblich finanziell verpflichtet hat. Das Durchführen von Absaugversuchen im Zusammenhang mit der Erarbeitung eines Gesuchs für ein Deponiegasprojekt kann nötig sein.

¹³ First Order Decay Model. Siehe CDM Methodological Tool „Emissions from solid waste disposal sites“

¹⁴ Als Massnahmen gelten Technologien und Prozesse, welche zur Verminderung von Treibhausgasemissionen führen. Biofilter gelten nicht als solche Massnahmen, da sie hauptsächlich der Geruchsverminderung dienen.

¹⁵ Wurde zum Beispiel von zuständigen Behörden der Einsatz einer Fackel verfügt, so können entsprechende Emissionsverminderungen nicht geltend gemacht werden, da der Einsatz der Fackel per Verfügung der Referenzentwicklung entspricht.

Üblicherweise dürften dabei diese finanziellen Verpflichtungen noch nicht die massgeblichen finanziellen Verpflichtungen sein, sodass der Zeitpunkt der Umsetzung des Projektes damit nicht mit der Erstellung der Bohrungen für Absaugversuche beginnt.

Zusätzliche Anforderungen oder Einschränkungen

gelten für verschiedene Situationen wie folgt:

Folgende Ausgangs-Situationen können unterschieden werden:

- A Deponie ohne Deponiegasbehandlung
(gemeint sind hier Deponien ohne Massnahmen zur Emissionsverminderung. Diese Deponien können allenfalls Belüftungsschächte aufweisen, aber es findet keine aktive Aerobisierung statt)
- B Deponie mit konventioneller Fackel, die nicht mehr ordnungsgemäss betrieben werden kann (intermittierender Betrieb)
- C Deponie mit konventioneller Fackel, die ordnungsgemäss betrieben wird

Anforderungen und Einschränkungen:

Situation A: Deponie ohne Deponiegasbehandlung

Die Methode ist anwendbar für neu in Betrieb zu nehmende Fackeln, Schwachgasbehandlungen oder eine neu installierte Aerobisierung

Situation B: Deponie mit konventioneller Fackel, die nicht mehr ordnungsgemäss funktioniert (intermittierender betrieb)

Die Methode ist anwendbar wenn die Umstellung auf Schwachgasbehandlung nicht bereits verfügt oder verordnet wurde und technisch sinnvoll ist. Das heisst, der Gesuchsteller muss nachweisen und mit Evidenz belegen (zum Beispiel Methangehalt im Gas, Monitoring des Fackelbetriebes, Expertenmeinung, Angaben des Fackelherstellers), dass die konventionelle Fackel nicht mehr kontinuierlich betrieben werden kann und eine Schwachgasbehandlung oder Aerobisierung mehr Methan zerstört als der intermittierende Betrieb der konventionellen Fackel.

Situation C: Deponie mit konventioneller Fackel, die ordnungsgemäss betrieben wird

Für diesen Fall ist die beschriebene Methode NICHT anwendbar.¹⁶

Sind alle obigen Punkte erfüllt, können Kapitel 4 (Schwachgasbehandlung) bzw. Kapitel 5 (Aerobisierung mit oder ohne nachgeschalteter Schwachgasbehandlung) für den Nachweis der Emissionsverminderungen und das Monitoring angewandt werden.

¹⁶ Falls eine noch voll funktionstüchtige Fackel durch eine Aerobisierung ersetzt werden sollte, muss nachgewiesen werden, dass durch die Aerobisierung mehr Methanemissionen verhindert werden als durch die Verbrennung in der Fackel zerstört würde. Für Bescheinigungen anrechenbar ist in diesem Fall nur die Differenz der durch die Aerobisierung vermiedenen Methanemissionen und der in der Referenz durch die Fackel zerstörten Methanmengen. Wie diese Differenz konkret bestimmt werden kann, wird im vorliegenden Dokument NICHT thematisiert.

4 Nachweis von Emissionsverminderungen im Fall von Schwachgasbehandlung

4.1 Systemgrenze

Innerhalb der Systemgrenze liegen die Deponie, die Schwachgasbehandlung¹⁷, der Stromverbrauch und allfällige fossilen Emissionen der Absauganlage und der Schwachgasbehandlung. Die (ehemaligen) Zulieferwege des deponierten Guts liegen ausserhalb der Systemgrenze. Abbildung 2 zeigt die relevanten Emissionsquellen, Erklärungen zu den relevanten Treibhausgasen befinden sich in Tabelle 1.

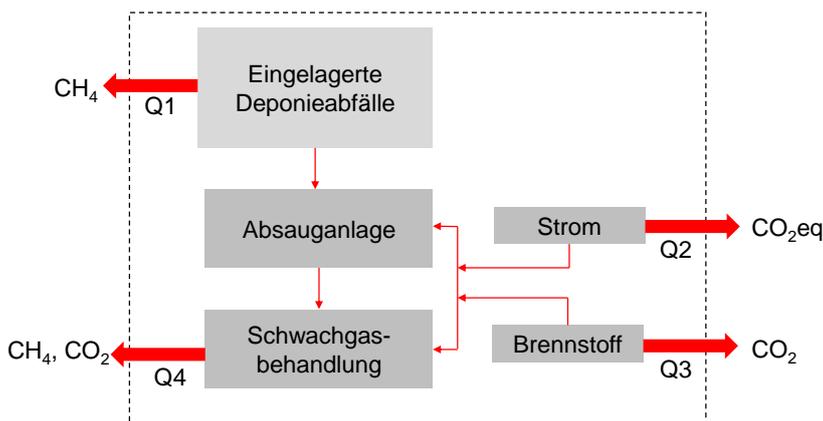


Abbildung 2: Systemgrenze mit den relevanten Emissionen (dicke rote Pfeile).

Quelle (Q)	Klimagas	Ein-/ Ausschluss	Begründung
Q1: Emissionen aus dem anaeroben Abbau der organischen Abfälle.	CH ₄	Einschluss	Durch das Absaugen mit nachgeschalteter Schwachgasbehandlung werden direkte Emissionen von Deponiegas und somit CH ₄ verringert.
	CO ₂	Ausschluss	CO ₂ Emissionen aus dem Abbau von biogenem Kohlenstoff sind nicht Teil der Bilanzierung
	N ₂ O	Ausschluss	Emissionen sind sehr gering im Vergleich mit CH ₄
Q2: Emissionen aufgrund der Nutzung von Strom	CO ₂ eq	Einschluss	CO ₂ eq-Emissionen des Schweizer Produktionsmix sind laut Anhang A3 der Vollzugsmittteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“ mit einem Emissionsfaktor von 24.2 g CO ₂ eq/kWh zu berücksichtigen.
Q3: Emissionen aufgrund der Nutzung von fossiler Energie	CH ₄	Ausschluss	Sehr gering
	CO ₂	Einschluss	Für die Schwachgasbehandlung ist eventuell der Einsatz eines Zusatzbrennstoffes notwendig.
	N ₂ O	Ausschluss	Sehr gering
Q4: Emissionen aufgrund der (ineffizienten) Schwachgasverwertung	CH ₄	Einschluss	Unvollständige Oxidation des abgesaugten Deponiegases (Abfackelungseffizienz).
	CO ₂	Einschluss	Obwohl das CO ₂ biogenen Ursprungs ist, sind CO ₂ -Emissionen durch die Verbrennung von Methan Teil der Bilanzierung, weil nur der Unterschied des „global warming potentials“ (GWP) zwischen CH ₄ und CO ₂ angerechnet werden kann.
	N ₂ O	Ausschluss	Sehr gering

Tabelle 1: Emissionsquellen bei Schwachgasbehandlung

¹⁷ Es ist in Ausnahmefällen möglich, dass Deponien, die noch keine Fackel oder Schwachgasbehandlung haben, eine solche einsetzen werden, ohne dass dies vorgeschrieben ist. Massnahmen, die eine neue konventionelle Fackel anwenden ohne dass dies vorgeschrieben ist, sind in dieser Methode zugelassen. Der Nachweis der Emissionsverminderungen erfolgt gleich wie bei einer Schwachgasbehandlung.

4.2 Parameter und Berechnungsmethoden

Der Aufbau der hier beschriebenen Standardmethode zur Ermittlung der Emissionsreduktionen folgt *nicht* der für Klimaschutzprojekte üblichen Aufteilung in eine direkte Beschreibung der Referenzemissionen und der Projektemissionen¹⁸. Um die Standardmethode möglichst einfach zu halten, wird im Folgenden direkt die Bestimmung der Emissionsreduktionen beschrieben. Die Logik der Emissionsreduktion entspricht trotzdem dem Vergleich einer Situation mit und ohne Projekt und ist aus Abbildung 4 ersichtlich, welche die Formeln veranschaulicht.

Die Bestimmung der Emissionsreduktion unterteilt sich in eine Methode zur ex-ante Abschätzung (ausschliesslich basierend auf Modellen) und eine Methode zur ex-post Berechnung (basierend auf einer Kombination aus Messungen und Modellen).

Ein zentraler Wert für die Berechnungen ist der Oxidationsfaktor OX. Die Wahl des Wertes ergibt sich aus dem folgenden Entscheidungsbaum:

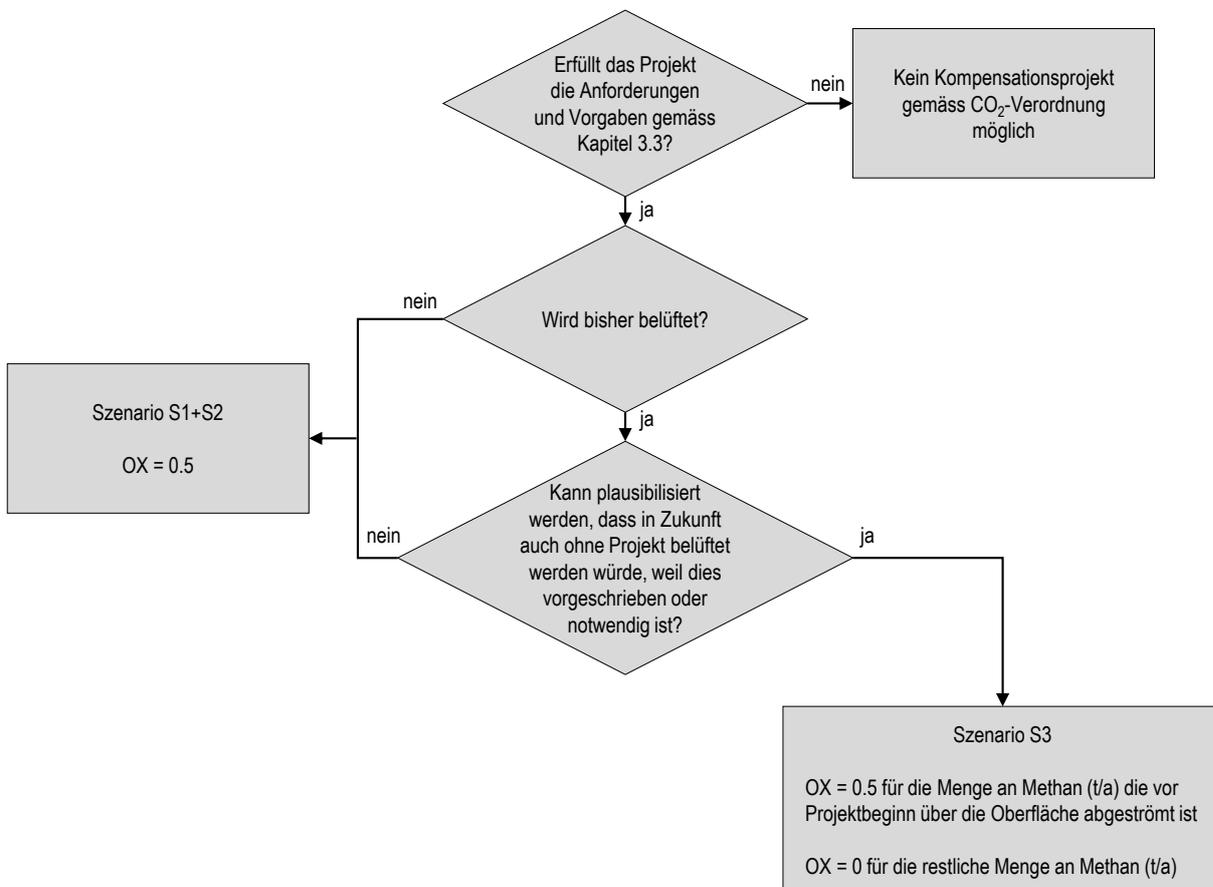


Abbildung 3: Schwachgasbehandlung: Entscheidungsbaum zur Bestimmung des Parameters OX. Unter „Belüftung“ wird jede aktive Belüftung verstanden.

Die Aufteilung in OX = 0.5 bzw. OX = 0 gemäss Szenario 3 kann auf unterschiedliche Art stattfinden:

- Es kann verifiziert werden, dass vor Projektbeginn keine signifikante Menge Methan (<5% der über die Entlüftung abströmenden Menge) über die Oberfläche entweicht. Dann kann für OX der Wert Null verwendet werden.
- Eine signifikante Menge Methan (>5% der über die Entlüftung abströmenden Menge) entweicht vor Projektbeginn über die Oberfläche. Diese gemessene Menge muss fix und für alle Jahre von den anrechenbaren Emissionsreduktionen gemäss Formeln (1) und (3) abgezogen werden. Dies basiert auf der Annahme, dass alles Methan, das vor Projektbeginn über die

¹⁸ Besonders im Fall der Aerobisierung führte diese Unterscheidung zu konzeptionellen Schwierigkeiten.

Oberfläche entwichen ist, im Projekt abgesaugt und zerstört wird. Wegen $OX = 0.5$ für Entweichen von Gas über die Oberfläche entspricht die gemessene Menge Methan der in der Grenzschicht oxidierten Menge.

- Die Menge an Methan die ohne Projektaktivität über die Oberfläche entweicht, kann nicht gemessen werden. Dann kann $OX = 0$ für diejenige Methanfracht angewandt werden, die über Belüftungsschächte abgesaugt wird, die bereits vor Projektbeginn bestanden. Für die Methanfracht, die über neue Belüftungsschächte abgesaugt wird, muss $OX = 0.5$ verwendet werden. Ist eine solche Zuordnung nicht möglich, kann angenommen werden, dass im Projektfall alle Belüftungsschächte (bisherige und neue) den gleichen Beitrag zur gesamthaft abgesaugten Menge liefern. Entsprechend diesem Verhältnis wird ein Oxidationsfaktors $OX = 0.5$ bzw. $OX = 0$ in den Formeln (1) und (3) eingesetzt.

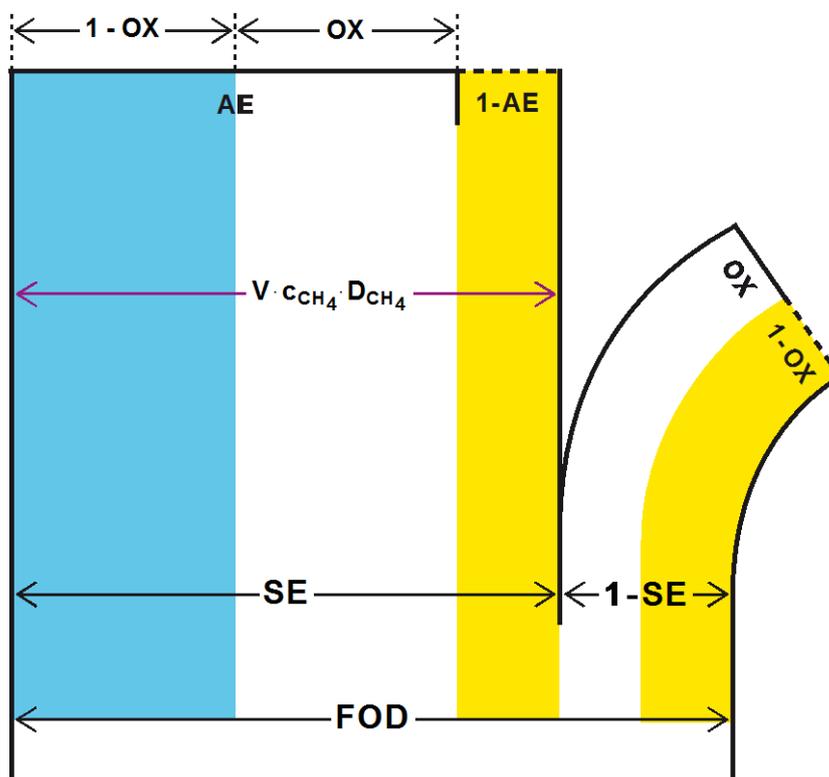


Abbildung 4: Schema zur Erläuterung der anrechenbaren Emissionsreduktion durch die Schwachgasbehandlung. FOD ist die Menge an Methan, die in der Deponie gebildet wird. Die gestrichelten Linien resp. die gelb markierten Volumenströme symbolisieren Methanemissionen in die Atmosphäre. Die durchgezogenen Linien symbolisieren den Teil des in der Deponie gebildeten Methans, der vor dem Austritt in die Atmosphäre zu Kohlendioxid oxidiert wird. Bei dem nicht abgesaugten Anteil (1-SE) geschieht diese Oxidation in der Grenzschicht. Bei dem abgesaugten Anteil SE geschieht diese Oxidation durch die Schwachgasbehandlung mit Effizienz AE. Wäre der Anteil SE nicht abgesaugt worden, dann wäre der Teil OX in der Grenzschicht oxidiert worden, zumindest im Fall der Szenarien 1 und 2 und Teilmengen von Szenario 3 im Entscheidungsbaum (Abbildung 3). Dementsprechend ist nur der Anteil (1-OX) des abgesaugten und behandelten Methans anrechenbar (blau markiert). Ex-post wird die abgesaugte Menge an Methan durch Messungen bestimmt (violetter Pfeil). Wie aus der Skizze ersichtlich, entspricht diese Menge nicht der anrechenbaren Emissionsreduktion. (Die anrechenbaren Emissionsreduktionen werden ex-post mit Formel (3) aus den gemessenen Emissionen bestimmt).

4.2.1 Ex-ante Abschätzung der Emissionsreduktionen

Um die Emissionsreduktionen ex-ante abzuschätzen, können Messwerte zur Methanfracht aus den Jahren vor Projektbeginn verwendet werden. Alternativ, oder wenn keine Messwerte zu bisherigen Methanemissionen vorhanden sind können die Emissionsreduktionen wie folgt geschätzt werden:^{19,20}

$$ER_{y,Fackel}^{ex-ante} = (AE - OX) * SE * FOD_{CH_4,y} * GWP_{CH_4}^{eff} - PE_{CO_2,Strom,y} - PE_{CO_2,Fossil,y} \quad (1)$$

Wobei gilt:

$ER_{y,Fackel}^{ex-ante}$	Abgeschätzte Emissionsreduktionen bei einer Schwachgasbehandlung im Jahr y (t CO ₂ eq)
$GWP_{CH_4}^{eff}$	Effektives Treibhausgaspotential von Methan (22.25 t CO ₂ eq/ tCH ₄) ²¹
AE	Abfackelungseffizienz
OX	Oxidationsfaktor
SE	Saugeffizienz
$FOD_{CH_4,y}$	Die mit einer „First Order Decay“ Formel berechnete Methanmenge, die in der Deponie erzeugt wird im Jahr y (t CH ₄); s. Formel (2).
$PE_{CO_2,Strom,y}$	CO ₂ Emissionen durch den Verbrauch von Strom in der Projektaktivität im Jahr y (t CO ₂ eq). ²²
$PE_{CO_2,Fossil,y}$	CO ₂ Emissionen durch Verwendung fossiler Brennstoffe im Jahr y (t CO ₂ eq). ²³

Erläuterungen zu Formel (1)

Der erste Term von Formel (1) setzt sich aus den folgenden beiden Termen zusammen:

- $AE * SE * (1 - OX) * FOD_{CH_4,y}$
- $-SE * (1 - AE) * OX * FOD_{CH_4,y}$

Term 1 beschreibt die abgesaugte (SE) und verbrannte (AE) Menge an $FOD_{CH_4,y}$. Diese Menge wird noch um den Faktor (1-OX) verringert, um die teilweise Oxidation in der Grenzschicht zu berücksichtigen.

Term 2 berücksichtigt, dass der Anteil an abgesaugtem (SE) aber nicht verbranntem (1-AE) Methan direkt aus dem Deponiekörper in die Atmosphäre entweicht. Der Anteil OX dieser Menge wäre ohne

¹⁹ In der CDM-Methode wird bei der Bestimmung der Methan-Emissionsreduktionen ein Term (1 - AF) eingefügt, der den Anteil der gesetzmässig vorgeschriebenen Methanzerstörung beschreibt (AF = "Adjustment Factor"). Dies ist hier nicht nötig, da es entweder keine Vorschriften zur Vermeidung der Methanemissionen gibt (AF = 0) oder die Vermeidung ist vorgeschrieben (AF=1). In letzterem Fall ist das Projekt gemäss Kapitel 3.3 (Anwendungsbereiche und Vorgaben) als Klimaschutzprojekt nicht zulässig.

²⁰ Falls das Deponiegas während des Projekts energetisch genutzt wird, können weitere verhinderte Treibhausgasemissionen geltend gemacht werden, wenn zum Beispiel dadurch fossile Energieträger substituiert werden. Der Nachweis entsprechender Emissionsverminderungen muss gemäss Vollzugsmittteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“ erfolgen. Dies kann sowohl als separates Projekt als auch in Kombination mit Methanemissionsverminderungen in einem Projekt beschrieben werden.

²¹ $GWP_{CH_4} = 25$ gemäss Verordnung über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Verordnung) vom 30.11.2012, Anhang 1. Aus einer Tonne CH₄ werden bei der Oxidation 2.75 Tonnen CO₂. Deren Treibhausgaspotential (per Definition 2.75) muss von dem Treibhausgaspotential von Methan abgezogen werden, da nur die Differenz anrechenbar ist. Dies gilt obwohl der Kohlenstoff biogenen Ursprungs ist.

²² Laut Vollzugsmittteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“, Anhang A3 ist für Strom (Schweizer Produktionsmix) ein CO₂-Emissionsfaktor von 24.2 g CO₂eq/kWh vorgegeben.

²³ Diese spielen v.a. dann eine Rolle, wenn man zur Oxidierung von Schwachgas zusätzliche Brennstoffe benötigt.

Projekt in der Grenzschicht oxidiert worden. Dadurch vermindert sich die anrechenbare Menge an Emissionsreduktionen²⁴.

Die Methanmenge, die über die Projektlaufzeit im Deponiekörper gebildet wird, kann auf Basis eines „First Order Decay“ (FOD) Modells abgeschätzt werden. Dieses Modell wird auch für die Berechnung der Methanemissionen in Reaktordeponien im Treibhausgasinventar der Schweiz gemäss IPCC Richtlinien verwendet²⁵.

Die folgende Formel stammt aus dem CDM Methodological Tool „Emissions from solid waste disposal sites“ (Version 6.0.1)²⁶.

$$FOD_{CH_4,y} = \frac{16}{12} * F * DOC_f * MCF * \sum_{x=EJ}^y \sum_j A_{j,x} * DOC_j * e^{-k_j(y-x)} * (1 - e^{-k_j}) \quad (2)$$

Wobei gilt:

$FOD_{CH_4,y}$	Die mit einer „First Order Decay“ Formel berechnete Methanmenge, die in der Deponie erzeugt wird im Jahr y (t CH ₄)
y	Jahr für welches die Methanemissionen berechnet werden
x	Jahr in dem die Deponie mit der einer gewissen Abfallmenge $A_{j,x}$ der Kategorie j befüllt wurde
$\frac{16}{12}$	Quotient Molekulargewicht CH ₄ zu C
F	Anteil an Methan im Methan/Kohlendioxid-Gemisch im Deponiegas. In dieser Formel kann für F ein Wert von 0.5 verwendet werden (IPCC Wert).
DOC_f	Anteil des biologisch abbaubaren Kohlenstoffes, der unter anaeroben Bedingungen abgebaut wird (Massen-%) ²⁷ .
MCF	Methankorrekturfaktor ²⁸ . Dieser beschreibt wie viel Kohlenstoff in aeroben Bereichen der Deponie direkt zu CO ₂ oxidiert wird. Berücksichtigt die Art des Deponiebetriebs. Im Schweizer Kontext kann MCF=1 angenommen werden.
$A_{j,x}$	Abfallmenge der Abfallkategorie j die im Jahr x deponiert wurde (t Abfall)
EJ	Eröffnungsjahr der Deponie, also das erste Jahr in dem Abfall eingelagert wurde (z.B. 1980)
j	Abfallkategorie
DOC_j	Anteil des abbaubaren organischen Kohlenstoffes der jeweiligen Abfallkategorie (t C / t Abfall) ²⁹
k_j	Abbaukonstante der jeweiligen Abfallkategorie j (1/Jahr)

²⁴ Falls die Abfackelungseffizienz AE kleiner ist als der Oxidationsfaktor OX, werden die Emissionsreduktionen kleiner als Null. Falls die Abfackelung nicht stattfindet d.h. AE=0 (wenn z.B. die Fackel nicht brennt) entweicht das gesamte Methan direkt aus dem Deponiekörper in die Atmosphäre ohne teilweise an der Grenzschicht oxidiert zu werden. In diesem Fall führt das Projekt zu erhöhten Methanemissionen.

²⁵ www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_3_Ch3_SWDS.pdf (24.03.2014)

²⁶ <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-04-v6.0.1.pdf> (24.03.2014). Die Formel wurde in leicht vereinfachter Form übernommen. So konnte der Korrekturfaktor „φ“ hier weggelassen werden.

²⁷ CDM Tool: Fraction of degradable organic carbon that can decompose.

²⁸ Dieser Methankorrekturfaktor (MCF = CH₄ correction factor aus IPCC 2006 Vol 5 chap 3) ist nicht zu verwechseln mit dem Methanumwandlungsfaktor (MFC = CH₄ conversion factor aus IPCC 2006 Vol 4 chap 10), der bei der Standardmethode für landwirtschaftliche Biogasanlagen zur Anwendung kommt je nach Art des Güllemanagements und der Lagerbedingungen

²⁹ CDM Tool: Fraction of degradable organic carbon (by weight) in the waste type j.

Die im CDM Methodological Tool beschriebene Vorgehensweise und Werte sind zu übernehmen. Dabei ist folgendes zu beachten:

- Der Faktor (1-OX) der im CDM Tool aufgeführt wird, ist hier nicht Teil der FOD-Formel, sondern wird bereits in Formel (1) berücksichtigt. Ausserdem muss der Wert OX=0.5 bzw. OX = 0 verwendet werden und nicht der Wert des Tools von OX=0.1 (siehe hierzu Kapitel 3.2).
- Der Faktor f des CDM Tools entspricht dem Faktor SE. Dieser ist wiederum nicht Teil der FOD-Formel, sondern schon in Formel (1) berücksichtigt.
- Es kann MCF=1 gesetzt werden, da dies laut CDM Tool der relevante Wert für anaerobe und kontrolliert bewirtschaftete Deponien ist.

4.2.2 Ex-post Messung der Emissionsreduktionen

Die Methanreduktion wird ex-post wie folgt bestimmt:

$$ER_{y,Fackel}^{ex-post} = (AE - OX) * GWP_{CH_4}^{eff} * V_{DG,y} * c_{CH_4} * D_{CH_4} - PE_{CO_2,Strom,y} - PE_{CO_2,Fossil,y} \quad (3)$$

Wobei gilt:

$ER_{y,Fackel}^{ex-post}$	Anrechenbare Emissionsreduktionen, ex-post bestimmt mit Hilfe der gemessenen Emissionen während der Schwachgasbehandlung im Jahr y (t CO2eq)
AE	Abfackelungseffizienz
OX	Oxidationsfaktor
$GWP_{CH_4}^{eff}$	Effektives Treibhausgaspotential von Methan (22.25 t CO2eq/ tCH4)
$V_{DG,y}$	Volumenstrom an Deponiegas, der vor der Schwachgasbehandlung gemessen wird im Jahr y (Nm ³)
c_{CH_4}	Methangehalt im Deponiegas (Volumen-%)
D_{CH_4}	Methandichte bei Standardbedingungen (0.0007202 t CH4/Nm ³)
$PE_{CO_2,Strom,y}$	CO2 Emissionen durch den Verbrauch von Strom in der Projektaktivität im Jahr y (t CO2eq) ³⁰
$PE_{CO_2,Fossil,y}$	CO2 Emissionen durch Verwendung fossiler Brennstoffe im Jahr y. ³¹ (t CO2eq)

Der Vergleich von Formel (1) mit Formel (3) zeigt, dass $SE * FOD_{CH_4,y} = GWP_{CH_4}^{eff} * V_{DG} * c_{CH_4} * D_{CH_4}$. Mit dem Term auf der linken Seite wird die der Fackel zugeführte Menge an Methan mit dem FOD Modell ex-ante abgeschätzt. Mit dem Term auf der rechten Seite kann diese Menge ex-post direkt gemessen werden.

4.3 Zusätzlichkeit

Für die Bestimmung der Zusätzlichkeit wird auf die Vollzugsmitteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“ verwiesen. Im Allgemeinen ist mit einer Wirtschaftlichkeitsanalyse der Nachweis zu erbringen, dass das Projekt unwirtschaftlich ist und daher ohne Erlös aus den Bescheinigungen nicht umgesetzt würde. Wenn keine Erlöse aus dem Verkauf von Deponiegas oder Methan oder daraus erzeugter Energie anfallen, genügt eine einfache Kostenanalyse, die aufzeigt, dass das Projekt unwirtschaftlicher ist als mindestens eines der alternativen Szenarien.

³⁰ Laut Vollzugsmitteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“, Anhang A3 ist für Strom (Schweizer Produktionsmix) ein CO₂-Emissionsfaktor von 24.2 g CO₂eq/kWh vorgegeben.

³¹ Diese spielen v.a. dann eine Rolle, wenn man zur Oxidierung von Schwachgas zusätzliche Brennstoffe benötigt.

4.4 Monitoring

Die folgende Liste umfasst die Parameter und Faktoren, die für den Nachweis der Emissionsverminderungen gemäss der vorliegenden Standardmethode wesentlich sind.

4.4.1 Werte und Faktoren die nicht kontinuierlich gemessen werden

Daten / Parameter	AE
Einheit	Anteil
Beschreibung	Die Abfackelungseffizienz beschreibt den Anteil an Methan, der bei der Abfackelung effektiv verbrannt wird oder generell bei Verfahren zur Gasbehandlung oxidiert wird.
Wert	Es gilt die Vorgehensweise gemäs UNFCCC: ³² 1. Als Default wird ein Wert von 90% für die Verbrennungseffizienz einer geschlossenen Fackel angewandt. 2. Projekteigner können auch die Herstellerangaben verwenden, falls nachgewiesen werden kann, dass diese eingehalten werden. 3. Projekteigner können eigene Messungen vornehmen.
Datenquelle	Vorgehen in einer vereinfachten Form in Anlehnung an CDM Methodological Tool „Project emissions from flaring“.
Häufigkeit der Messung	Jährlich im Monitoring falls nicht der Default-Wert verwendet wird.
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Die Abfackelungseffizienz ist sowohl für die ex-ante Schätzung als auch für die ex-post Berechnung relevant.

Daten / Parameter	OX
Einheit	Anteil
Beschreibung	Der Oxidationsfaktor beschreibt den Anteil an Methan im Deponiegas, das in der Grenzschicht vor dem Austritt in die Atmosphäre oxidiert, d.h. zu Kohlendioxid umgewandelt wird.
Wert:	0 oder 0.5
Datenquelle	Der Oxidationsfaktor unterscheidet sich von Deponie zu Deponie und variiert auch innerhalb einer Deponie zum Beispiel je nach Alter oder Jahreszeit. Die Werte in der Literatur schwanken von praktisch 0 bis 1. Gemäss der Bandbreiten des Reviews: „Wirksamkeit von biologischen Methanoxidationsschichten auf Deponien“ ³³ und Expertenaussagen erscheint ein Wert von 0.5 für Deponien ohne Belüftung im Schweizer Kontext gerechtfertigt (siehe auch Abbildung 3). Für Methan, das ohne Projekt über Belüftungsanlagen abgesaugt werden würde, gilt OX=0.
Häufigkeit der Messung	-
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Der Oxidationsfaktor ist sowohl für die ex-ante Schätzung als auch für die ex-post Berechnung relevant. Der Faktor ist mit Unsicherheit behaftet und aufwendig nachzuweisen. Deshalb schreibt diese Methode je nach Ausgangslage fixe Werte vor.

³² Step 2 in CDM Methodological Tool: „Project emissions from flaring“ (Version 02.0.0)

³³ www.oekobauconsult.de/Wirksamkeit_von_biologischen_Methanoxidationsschichten_mit_Index.pdf (17.03.2014)

Daten / Parameter	SE
Einheit	Anteil
Beschreibung	Die Saugeffizienz beschreibt den Anteil des durch die Gasbrunnen erfassten Deponiegases. Der Anteil (1-SE) wird nicht erfasst und entweicht über die Grenzschicht in die Atmosphäre, wobei Methan teilweise oxidiert wird.
Wert:	Schätzung des Projekteigners
Datenquelle	-
Häufigkeit der Messung	Einmalig zu ex-ante Schätzung der erwarteten Emissionsreduktionen
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Dieser Wert ist nur für die ex-ante Schätzung relevant und muss vom Projekteigner anhand der jeweiligen Gegebenheiten in der Deponie ausgewiesen werden. Der Wert hängt stark von der Art der Deponie (flach, Hügel, Mulde) und von der Einbauart ab, die Saugeffizienz kann grob gesagt zwischen 30 und 70% liegen.

Daten / Parameter	$GWP_{CH_4}^{eff}$
Einheit	t CO ₂ eq/ tCH ₄
Beschreibung	Effektives Treibhausgaspotential von Methan
Wert:	22.25
Datenquelle	$GWP_{CH_4} = 25$ gemäss Verordnung über die Reduktion der CO ₂ -Emissionen (CO ₂ -Verordnung) vom 30.11.2012, Anhang 1. Aus einer Tonne CH ₄ werden bei der Oxidation 2.75 Tonnen CO ₂ . Deren Treibhausgaspotential (per Definition 2.75) muss von dem Treibhausgaspotential von Methan abgezogen werden, da nur die Differenz anrechenbar ist. Dies gilt obwohl der Kohlenstoff biogenen Ursprungs ist.
Häufigkeit der Messung	-
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Massgebend für GWP_{CH_4} ist der Wert der jeweils aktuellen CO ₂ -Verordnung, auch wenn neue wissenschaftliche Erkenntnisse einen anderen Werten angeben.

Daten / Parameter	F
Einheit	Anteil
Beschreibung	Anteil an Methan im Methan/Kohlendioxid-Gemisch
Wert:	0.5 (IPCC-Wert für natives Deponiegas)
Datenquelle	IPCC-Wert
Häufigkeit der Messung	
Qualitätssicherung	
Kommentare	F ist für die ex-ante Abschätzung nötig, falls dazu die FOD-Formel verwendet wird.

Daten / Parameter	D_{CH_4}
Einheit	t CH ₄ /Nm ³
Beschreibung	Methandichte bei Standardbedingungen

Wert:	0.0007202
Datenquelle	$D_{CO_2} * \frac{16.04}{44.01}$ Molmassen gemäss www.dguv.de/dguv/ifa/Gefahrstoffdatenbanken/GESTIS-Stoffdatenbank/index.jsp (24.03.2014). Kohlenstoffdioxid-Dichte ist 0.001976 Siehe: Special Report on CCS, Annex I: Properties of CO ₂ and carbon-based fuels. www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_annex1.pdf (24.03.2014)
Häufigkeit der Messung	-
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Die Methandichte ist nur für die ex-post Berechnung relevant.

4.4.2 Zu messend Werte

Für die Messung von Werten und die Angaben zu Qualitätssicherung und Kalibrierung von Messgeräten gelten die allgemeinen Empfehlungen der Vollzugsmitteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“. Bei den kontinuierlich gemessenen Werten muss festgehalten werden, wie die Daten registriert und /oder gespeichert werden (z.B. Zeitintervall für Mittelwert-Bildung). Konzentrationen und Volumenstrom müssen zum gleichen Zeitpunkt registriert werden.

Daten / Parameter	$PE_{CO_2,Strom,y}$
Einheit	t CO ₂ eq
Beschreibung	CO ₂ Emissionen durch den Verbrauch von Strom in der Projektaktivität im Jahr y
Wert:	Berechnung durch den gemessenen Stromverbrauch und den Emissionsfaktor des eingesetzten Stroms
Datenquelle	Messung Stromverbrauch; Anwendung des effektiven Emissionsfaktors des gelieferten Stromes; falls der Wert nicht bekannt ist, kann der CO ₂ -Emissionsfaktor des Schweizer Produktionsmixes verwendet werden: 24.2 g CO ₂ eq/kWh (vgl. Vollzugsmitteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“, Anhang A3).
Häufigkeit der Messung	kontinuierlich
Qualitätssicherung	Kalibrierung gemäss Herstellerangaben
Kommentare	-

Daten / Parameter	$PE_{CO_2,Fossil,y}$
Einheit	t CO ₂ eq
Beschreibung	CO ₂ Emissionen durch Verwendung fossiler Brennstoffe im Jahr y
Wert:	Berechnung aus dem Verbrauch fossiler Energieträger und dem entsprechenden Emissionsfaktor
Datenquelle	Messung Verbrauch fossiler Energieträger; Emissionsfaktoren vgl. Vollzugsmitteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“, Anhang A3.
Häufigkeit der Messung	Kontinuierlich bzw. monatlich
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Diese spielen v.a. dann eine Rolle, wenn man zur Oxidierung von Schwachgas zusätzliche Brennstoffe benötigt.

Daten / Parameter	$V_{DG,y}$
Einheit	Nm ³
Beschreibung	Volumenstrom an Deponiegas, der vor der Verbrennung gemessen wird in Jahr y
Wert:	Messung durch den Projekteigner
Datenquelle	Volumenstrom-Messgerät
Häufigkeit der Messung	kontinuierlich
Qualitätssicherung	Kalibrierung und Häufigkeit der Kalibrierung gemäss Herstellerangaben
Kommentare	<p>Der Volumenstrom ist eine zentrale Grösse für die Bestimmung der Emissionsreduktionen; daher ist es wichtig, dass dieser Volumenstrom korrekt erfasst wird. Das eingesetzte Messgerät muss auf den erwarteten durchschnittlichen Volumenstrom angepasst sein (Messstrecke, Messort). Dies ist durch regelmässige externe Kontrollen überprüfen zu lassen.</p> <p>Der Volumenstrom muss gemäss den Vorgaben des Methodological tools „Tool to determine the mass flow of a greenhouse gas in a gaseous stream“ gemessen werden. http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-08-v1.pdf/history_view</p>

Daten / Parameter	c_{CH_4}
Einheit	Volumen-%
Beschreibung	Methangehalt im Deponiegas
Wert:	Messung durch den Projekteigner
Datenquelle	Mess-Sensor
Häufigkeit der Messung	kontinuierlich
Qualitätssicherung	Kalibrierung und Häufigkeit der Kalibrierung gemäss Herstellerangaben
Kommentare	<p>Dieser Wert muss gemäss den Vorgaben des Methodological tools “Tool to determine the mass flow of a greenhouse gas in a gaseous stream” gemessen werden. http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-08-v1.pdf/history_view</p> <p>Die Messungen sind durch regelmässige externe Kontrollen überprüfen zu lassen.</p>

5 Nachweis von Emissionsreduktionen im Fall von aktiver Aerobisierung mit oder ohne nachgeschalteter Schwachgasbehandlung

5.1 Systemgrenze

Innerhalb der Systemgrenze liegen die Deponie, die allfällige nachgeschaltete Schwachgasbehandlung und die Belüftungsanlage mit dem Stromverbrauch und allfälligen fossilen Emissionen die bei ineffizienter oder fehlender Schwachgasbehandlung auftreten. Die (ehemaligen) Zulieferwege des deponierten Guts liegen nicht innerhalb der Systemgrenze. Abbildung 5 gibt einen Überblick zu den relevanten Emissionsquellen im Fall der aktiven Aerobisierung, Erklärungen zu den relevanten Treibhausgasemissionen befinden sich in Tabelle 2.

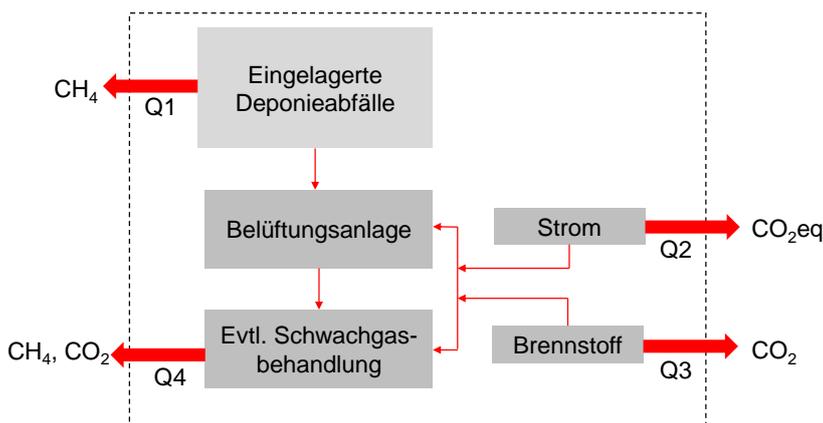


Abbildung 5: Systemgrenze mit den relevanten Emissionen (dicke rote Pfeile).

Quelle (Q)	Klimagas	Ein-/ Ausschluss	Begründung
Q1: Emissionen aus dem anaeroben Abbau der organischen Abfälle.	CH ₄	Einschluss	Durch das Absaugen mit nachgeschalteter Schwachgasbehandlung werden direkte Emissionen von Deponiegas und somit CH ₄ verringert.
	CO ₂	Ausschluss	CO ₂ Emissionen aus dem Abbau von biogenem Kohlenstoff sind nicht Teil der Bilanzierung
	N ₂ O	Ausschluss	Emissionen sind sehr gering im Vergleich mit CH ₄
Q2: Emissionen aufgrund der Nutzung von Strom	CO ₂ eq	Einschluss	CO ₂ eq-Emissionen des Schweizer Produktionsmix sind laut Anhang A3 der Vollzugsmittteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“ mit einem Emissionsfaktor von 24.2 g CO ₂ eq/kWh zu berücksichtigen.
Q3: Emissionen aufgrund der Nutzung von fossiler Energie	CH ₄	Ausschluss	Sehr gering
	CO ₂	Einschluss	Für die Schwachgasbehandlung ist eventuell der Einsatz eines fossilen Zusatzbrennstoffes notwendig.
	N ₂ O	Ausschluss	Sehr gering
Q4: Emissionen aufgrund ineffizienter bzw. fehlender Schwachgasbehandlung	CH ₄	Einschluss	Unvollständige Oxidation des abgesaugten Deponiegases.
	CO ₂	Einschluss	Obwohl das CO ₂ biogenen Ursprungs ist, sind CO ₂ -Emissionen durch die Verbrennung von Methan Teil der Bilanzierung, weil nur der Unterschied des „global warming potentials“ (GWP) zwischen CH ₄ und CO ₂ angerechnet werden kann.
	N ₂ O	Ausschluss	Sehr gering.

Tabelle 2: Emissionsquellen der aktiven Aerobisierung inklusive Schwachgasbehandlung

5.2 Parameter und Berechnungsmethoden

Methan entsteht in Deponien unter anaeroben Bedingungen. Durch die aktive Aerobisierung wird mehr organischer Kohlenstoff im Deponiekörper direkt zu Kohlendioxid oxidiert. Dadurch werden Methanemissionen vermieden. Diese vermiedene Entstehung von Methan kann zu einem gewissen Teil als Emissionsreduktion angerechnet werden. Das Verständnis der Berechnung dieser zusätzlichen Emissionsreduktion durch Aerobisierung wird anhand von Abbildung 8 in Abschnitt 5.2.2 erleichtert (zusätzlich anrechenbares "aerobes CO₂").

Der Aufbau der hier beschriebenen Standardmethode zur Ermittlung der Emissionsreduktionen folgt *nicht* der üblichen Aufteilung in eine separate Beschreibung der Referenzemissionen und der Projektemissionen, da sich eine direkte Bestimmung der anrechenbaren Emissionsreduktionen als einfacher erwiesen hat. Veranschaulicht wird die Situation durch Abbildung 7.

Die Bestimmung der anrechenbaren Emissionsreduktion unterteilt sich in eine Methode zur ex-ante Abschätzung der Emissionsreduktionen (ausschliesslich basierend auf Modellen) und eine Methode zur ex-post Berechnung (basierend auf einer Kombination aus Messungen und Modellen).

Zentral für die Berechnung der Emissionsreduktion ist die Wahl der Parameter OX und F. Diese ergibt sich aus dem folgenden Entscheidungsbaum:

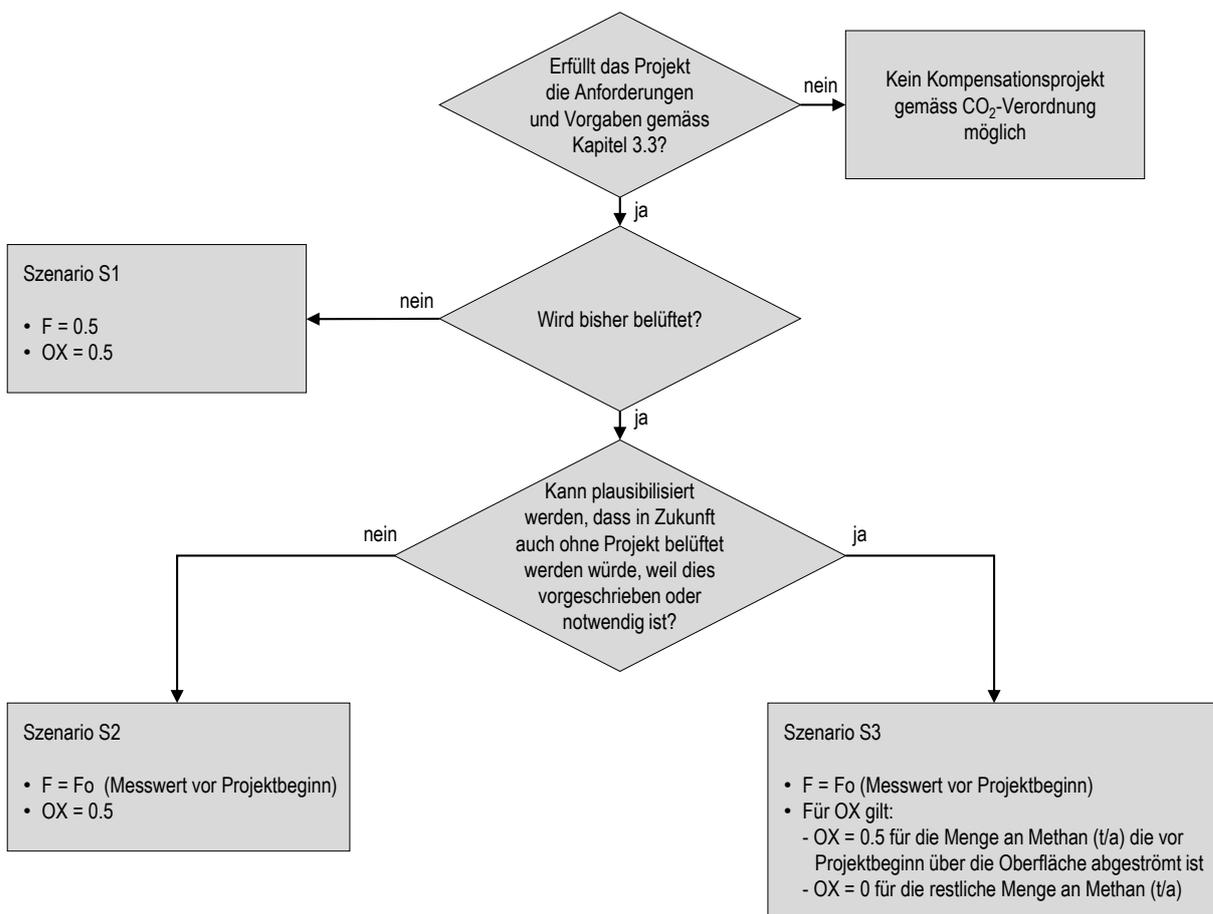


Abbildung 6: Entscheidungsbaum zur Bestimmung der Parameter F und OX für Aerobisierung mit oder ohne nachgeschalteter Schwachgasbehandlung. Unter „Belüftung“ wird jede aktive Belüftung verstanden.

Falls bereits bisher belüftet wird (Szenarios 2 und 3), muss berücksichtigt werden, dass dies zwangsläufig einen Aerobisierungseffekt hat. Ziel der Belüftung ist eine schnellere Mineralisierung der Deponie. Das heisst, dass nicht nur das sowieso austretende Methan über die Entlüftungsbrunnen abgesaugt wird, sondern auch zusätzlich Luft in den Deponiekörper gesaugt wird. Dies führt somit zu einer

Aerobisierung. Um diesen bereits bestehenden Aerobisierungseffekt zu berücksichtigen, muss F vor Projektbeginn gemessen werden (Messwert F_0).

Die Aufteilung in $OX = 0.5$ bzw. $OX = 0$ gemäss Szenario 3 kann auf unterschiedliche Art stattfinden:

- Es kann verifiziert werden, dass vor Projektbeginn keine signifikante Menge Methan (<5% der über die Entlüftung abströmenden Menge) über die Oberfläche entweicht. Dann kann für OX der Wert Null verwendet werden.
- Eine signifikante Menge Methan (>5% der über die Entlüftung abströmenden Menge) entweicht vor Projektbeginn über die Oberfläche. Diese gemessene Menge muss fix und für alle Jahre von den anrechenbaren Emissionsreduktionen gemäss Formeln (4) und (6) abgezogen werden. Dies basiert auf der Annahme, dass alles Methan, das vor Projektbeginn über die Oberfläche entwichen ist, im Projekt abgesaugt und zerstört wird. Wegen $OX = 0.5$ für die Entweichung von Gas über die Oberfläche entspricht die gemessenen Menge Methan der in der Grenzschicht oxidierten Menge.
- Die Menge an Methan die ohne Projektaktivität über die Oberfläche entweicht, kann nicht gemessen werden. Dann kann $OX = 0$ für diejenige Methanfracht angewandt werden, die über Belüftungsschächte abgesaugt wird, die bereits vor Projektbeginn bestanden. Für die Methanfracht, die über neue Belüftungsschächte abgesaugt wird, muss $OX = 0.5$ verwendet werden. Ist eine solche Zuordnung nicht möglich, kann angenommen werden, dass im Projektfall alle Belüftungsschächte (bisherige und neue) den gleichen Beitrag zur gesamthaft abgesaugten Menge liefern. Entsprechend diesem Verhältnis wird ein Oxidationsfaktors $OX = 0.5$ bzw. $OX = 0$ in den Formeln (4) und (6) eingesetzt.

5.2.1 Ex-ante Abschätzung der Emissionsreduktionen

Die Emissionsreduktionen werden ex-ante wie folgt abgeschätzt^{34, 35}:

$$ER_{y,Aerobisierung}^{ex-ante} = (1 - AA) * SE * (AE - OX) * GWP_{CH_4}^{eff} * Dep_{CH_4,y} + AA * (1 - OX) * GWP_{CH_4}^{eff} * Dep_{CH_4,y} - PE_{CO_2,Strom,y} - PE_{CO_2,Fossil,y} \quad (4)$$

Wobei gilt:

$ER_{y,Aerobisierung}^{ex-ante}$	Abgeschätzte Emissionsreduktionen bei aktiver Aerobisierung mit Schwachgasbehandlung im Jahr y (t CO ₂ eq)
AA	Aerobisierungsanteil
SE	Saugeffizienz
AE	Abfackelungseffizienz; AE=0 falls keine Schwachgasbehandlung erfolgt.
OX	Oxidationsfaktor
$Dep_{CH_4,y}$	Menge Methan von anaerob abbaubarem organischem Kohlenstoff im Jahr y (t CH ₄)
$GWP_{CH_4}^{eff}$	Effektives Treibhausgaspotential von Methan (22.25 t CO ₂ eq/ t CH ₄) ³⁶
$PE_{CO_2,Strom,y}$	CO ₂ Emissionen durch den Verbrauch von Strom in der Projektaktivität im Jahr y (t CO ₂ eq) ³⁷
$PE_{CO_2,Fossil,y}$	CO ₂ Emissionen durch Verwendung fossiler Brennstoffe im Jahr y (t CO ₂ eq) ³⁸

Der erste Term von Formel (4) beschreibt den Anteil des abgesaugten (SE), nicht aerobisierten Deponiegases (1-AA). Der Faktor (AE-OX) berücksichtigt, dass sowohl die durch die allfällige Schwachgasbehandlung zerstörte als auch die nicht zerstörte Methanmenge noch teilweise in der Grenzschicht oxidiert worden wäre (siehe auch Erklärung in Kapitel 4.2.2). Der zweite Term berücksichtigt die direkte in der Deponie stattfindende aktive Aerobisierung. Diese Menge wird noch um den Faktor (1-OX) reduziert.

Bestimmung von $Dep_{CH_4,y}$

$Dep_{CH_4,y}$ ist die im Jahr y in der Deponie durch den Abbau von organischem Kohlenstoff entstandene Menge Methan, welche unter anaeroben Bedingungen entstanden wäre: Im Vergleich zu FOD (siehe unten) wird durch die Aerobisierung der Abbau beschleunigt, wodurch mehr Kohlenstoff umgesetzt wird.³⁹ Dieser durch die aktive Aerobisierung beschleunigte Abbau kann in zwei Schritten abgeschätzt werden. Im ersten Schritt wird die gebildete Methanmenge analog zu Kapitel 4.2.2 mithilfe des „First

³⁴ In der CDM-Methode wird an dieser Stelle ein Term (1 - AF) eingefügt, der den Anteil der gesetzmässig vorgeschriebenen Methanzerstörung beschreibt (AF = "Adjustment Factor"). Dies ist hier nicht nötig, da es entweder keine Vorschriften zur Vermeidung der Methanemissionen gibt (AF = 0) oder die Vermeidung ist vorgeschrieben (AF=1). In letzterem Fall ist das Projekt gemäss Kapitel 3.3 (Anwendungsbereiche und Vorgaben) als Klimaschutzprojekt nicht zulässig.

³⁵ Falls das Deponiegas während des Projekts energetisch genutzt wird, können weitere verhinderte Treibhausgasemissionen geltend gemacht werden, wenn zum Beispiel dadurch fossile Energieträger substituiert werden. Der Nachweis entsprechender Emissionsverminderungen muss der Vollzugsmittteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“ erfolgen. Dies kann sowohl als separates Projekt als auch in Kombination mit Methanemissionsverminderungen in einem Projekt beschrieben werden.

³⁶ $GWP_{CH_4} = 25$ gemäss Verordnung über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Verordnung) vom 30.11.2012, Anhang 1. Aus einer Tonne CH₄ werden bei der Oxidation 2.75 Tonnen CO₂. Deren Treibhausgaspotential (per Definition 2.75) muss von dem Treibhausgaspotential von Methan abgezogen werden, da nur die Differenz anrechenbar ist. Dies gilt obwohl der Kohlenstoff biogenen Ursprungs ist.

³⁷ Laut Vollzugsmittteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“, Anhang A3 ist für CO₂-Emissionen von Strom (Schweizer Produktionsmix) ein Emissionsfaktor von 24.2 g CO₂eq/kWh vorgegeben.

³⁸ Diese spielen v.a. dann eine Rolle, wenn man zur Oxidierung von Schwachgas zusätzliche Brennstoffe benötigt.

³⁹ Dass durch Aerobisierung ein Teil des Kohlenstoffs abgebaut wird, der unter anaeroben Bedingungen nicht abgebaut würde, gilt unter Experten als gewiss. Allerdings sind die wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Ausmass dieses Effektes noch zu dünn, um ihn quantifizieren zu können. In der Regel wird deshalb bisher der Effekt nicht quantifiziert. Das BAFU behält sich vor, hier einen Faktor für den Effekt anzugeben, sobald die wissenschaftlichen Erkenntnisse fundiert genug sind.

Order Decay“ (FOD) Modells bestimmt. In einem zweiten Schritt, wird berücksichtigt, dass durch die aktive Aerobisierung der vorhandene organische Kohlenstoff schneller abgebaut wird.

Schritt 1:

Im ersten Schritt wird auf Basis des FOD Modells die Methanbildung ohne aktive Aerobisierung ermittelt (vgl. Formel (2)):

$$FOD_{CH_4,y} = \frac{16}{12} * F * DOC_f * MCF \sum_{x=EJ}^y \sum_j A_{j,x} * DOC_j * e^{-k_j(y-x)} * (1 - e^{-k_j})$$

Schritt 2:

Die ex-ante-Bestimmung des beschleunigten Abbaus des organischen Kohlenstoffs ist mit grossen Unsicherheiten behaftet. Grundsätzlich steht es dem Projekteigener frei, diesen Wert aufgrund von Erfahrungswerten abzuschätzen, allerdings ist es in seinem Eigeninteresse, dass diese Schätzung möglichst genau ist. Eine Möglichkeit der rechnerischen Abschätzung liefert folgende Formel:

$$Dep_{CH_4,y} = \sum_{x=(y-1)SF+1}^{y*SF} FOD_{CH_4,FOD,x} \quad (5)$$

Wobei gilt:

$Dep_{CH_4,y}$	Menge Methan von anaerob abbaubarem organischem Kohlenstoff im Jahr y (t CH ₄)
SF	Stauchungsfaktor
$FOD_{CH_4,FOD,x}$	Die mit einer „First Order Decay“ Formel berechnete Methanmenge, die in der Deponie unter anaeroben Bedingungen erzeugt wird im Jahr x (t CH ₄)

Formel (5) besagt, dass die Emissionen die ohne aktive Aerobisierung gemäss dem FOD Modell in SF Jahren emittiert worden wären, nun in einem Jahr abgesaugt werden.

5.2.2 Ex-post Messung der Emissionsreduktionen

Die Emissionsreduktionen werden ex-post wie folgt bestimmt:

$$ER_{y,Aerobisierung}^{ex-post} = (AE - OX) * GWP_{CH_4}^{eff} * V_{DG,y} * c_{CH_4} * D_{CH_4} + (1 - OX) * GWP_{CH_4}^{eff} * Aerob_{CH_4} - PE_{CO_2,Fossil,y} - PE_{CO_2,Strom,y} \quad (6)$$

Wobei gilt:

$ER_{y,Aerobisierung}^{ex-post}$	Anrechenbare Emissionsreduktionen, ex-post bestimmt aus den gemessenen Emissionen bei aktiver Aerobisierung mit allfälliger Schwachgasbehandlung im Jahr y (t CO ₂ eq)
$Aerob_{CH_4}$	Vermiedene Methanemissionen durch die im Deponiekörper unter aeroben Bedingungen erfolgte Oxidation von anaerob abbaubarem Kohlenstoff (t CH ₄) ⁴⁰
OX	Oxidationsfaktor
$GWP_{CH_4}^{eff}$	Effektives Treibhausgaspotential von Methan (22.25 t CO ₂ eq / t CH ₄)
$V_{DG,y}$	Volumenstrom an Deponiegas, der vor der Verbrennung gemessen wird im Jahr y (Nm ³)

⁴⁰ Dass durch Aerobisierung ein Teil des Kohlenstoffs abgebaut wird, der unter anaeroben Bedingungen nicht abgebaut würde, gilt unter Experten als gewiss. Allerdings sind die wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Ausmass dieses Effektes noch zu dünn, um ihn quantifizieren zu können. Dieser Effekt wird daher in den hier aufgeführten Formeln nicht berücksichtigt. Das BAFU behält sich vor, hier einen Faktor für den Effekt anzugeben, sobald die wissenschaftlichen Erkenntnisse fundiert genug sind.

c_{CH_4}	Methangehalt im Deponiegas (Volumen-%)
D_{CH_4}	Methandichte bei Standardbedingungen (0.0007202 t CH ₄ /Nm ³)
AE	Abfackelungseffizienz; AE=0 falls keine Schwachgasbehandlung erfolgt.
$PE_{CO_2,Fossil,y}$	CO ₂ Emissionen durch Verwendung fossiler Brennstoffe im Jahr y. ⁴¹ (t CO ₂ eq)
$PE_{CO_2,Strom,y}$	CO ₂ Emissionen durch den Verbrauch von Strom in der Projektaktivität im Jahr y (t CO ₂ eq) ⁴²

Weil eine Grundannahme für die Formel ist, dass das vor dem Start der Aerobisierung bestehende Verhältnis F_o konstant bleibt, ist der Aerobisierungsterm ($Aerob_{CH_4}$), also eine Anrechnung von „vermiedenen“ Methan, nur für die Dauer der ersten 7jährigen Kreditierungsperiode zulässig.

Erläuterungen zur Herleitung von Formel (6)

Der Vergleich der Formeln (4) und (6) zeigt, dass

$$1. (1 - AA) * SE * Dep_{CH_4,y} = V_{DG,y} * c_{CH_4} * D_{CH_4}$$

Ex-ante wird die der Fackel zugeführte Menge an Methan mit dem Term auf der linken Seite abgeschätzt. Ex-post kann diese Menge mit dem Term auf der rechten Seite direkt gemessen werden.

$$2. AA * Dep_{CH_4,y} = Aerob_{CH_4}$$

Ex-ante wird die aktiv aerobisierte Menge mit dem Term auf der linken Seite abgeschätzt. Ex-post kann diese Menge mit dem Term auf der rechten Seite gemessen werden.

Bestimmung von $Aerob_{CH_4}$

Durch die aktive Aerobisierung im Deponiekörper wird der Kohlenstoff zu CO₂ anstatt zu CH₄ umgesetzt. Daher entsteht mehr CO₂ und weniger CH₄ als unter anaeroben Bedingungen. Die durch die Aerobisierung vermiedenen Methanemissionen werden aufgrund des gemessenen Verhältnisses von CH₄ zu CO₂ im abgesaugten Gas wie folgt bestimmt:

In der stabilen anaeroben Phase (auch stabile Methanphase oder Langzeitphase genannt, siehe Abbildung 1) besteht das Deponiegas aus nativem Deponiegas, dem Gas, das von den Mikroorganismen in der Deponie unter anaeroben Bedingungen produziert wird. Für die Berechnungen wird gemäss IPCC Vorgabe angenommen, dass dieses in der stabilen Methanphase 50 Vol-% aus CH₄ und zu 50 Vol-% aus CO₂ besteht. Wie in Abbildung 1 ersichtlich ist, bleibt das Verhältnis zwischen CH₄ und CO₂ auch in der Phase der ersten Luft eindringung ähnlich, während in der Kohlendioxid- und Luftphase das CO₂ deutlich überwiegt⁴³. Aufgrund der Luft, die während der Aerobisierung in den Deponiekörper gesaugt wird, ist es möglich, dass das Deponiegas beim Fackeleingang nicht mehr ausschliesslich aus CH₄ und CO₂ besteht, sondern auch aus Bestandteilen der Luft. Deshalb muss zur Verwendung dieser Methode die Konzentration von CH₄ und CO₂ gemessen werden, um das Verhältnis der beiden Gase zu bestimmen und damit die vermiedene Methanemission durch Aerobisierung zu berechnen. Falls der berechnete Wert kleiner null ist, sind die vermiedenen Emissionen gleich null. Die Vorgehensweise zur Herleitung der entsprechenden Formel wird im Anschluss erklärt.

$$Aerob_{CH_4} = \text{MAX} \left\{ V_{DG,y} * \frac{16}{12} * \left[F * \left(c_{CO_2} * \frac{12}{44} * D_{CO_2} \right) - (1 - F) * \left(c_{CH_4} * \frac{12}{16} * D_{CH_4} \right) \right] ; 0 \right\} \quad (7)$$

Wobei gilt:

⁴¹ Diese spielen v.a. dann eine Rolle, wenn man zur Oxidation von Schwachgas zusätzliche Brennstoffe benötigt.

⁴² Laut Vollzugsmittelteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“, Anhang A3 ist für CO₂-Emissionen von Strom (Schweizer Produktionsmix) ein Emissionsfaktor von 24.2 g CO₂eq/kWh vorgegeben.

⁴³ Der in der Standardmethode verwendete IPCC Value dürfte so in der Langzeitphase als angemessen konservativ erachtet werden, während er für Deponien die diese Phase überschritten haben, zu leichter Überschätzung der Emissionsverminderungen führt. Diese Überschätzung spielt aber aufgrund der geringeren Gasproduktion in dieser Phase eine relativ geringe Rolle.

$Aerob_{CH_4}$	Vermiedene Methanemission durch die im Deponiekörper unter aeroben Bedingungen erfolgte Oxidation von anaerob abbaubarem Kohlenstoff (t CH ₄)
$V_{DG,y}$	Volumenstrom Deponiegas, der vor der Verbrennung gemessen wird im Jahr y (Nm ³)
$\frac{16}{12}$	Quotient Molekulargewicht CH ₄ / C
c_{CO_2}	Kohlenstoffdioxidkonzentration in $V_{DG,y}$ (Vol.-%)
$\frac{12}{44}$	Quotient Molekulargewicht C / CO ₂
D_{CO_2}	Kohlenstoffdioxiddichte bei Standardbedingungen (0.001976 t CO ₂ /Nm ³)
F	Anteil an Methan im Methan/Kohlendioxid-Gemisch im Deponiegas vor Projektbeginn. Der Wert wird gemäss Abbildung 6 ermittelt
c_{CH_4}	Methankonzentration in $V_{DG,y}$ (Vol.-%)
$\frac{12}{16}$	Quotient Molekulargewicht C / CH ₄
D_{CH_4}	Methandichte bei Standardbedingungen (0.0007202 t CH ₄ /Nm ³)

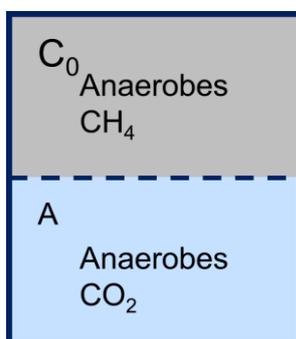
Erläuterungen zur Herleitung von Formel (7)

Im Folgenden wird die Formel (7) schematisch dargestellt und erklärt. Dazu ist es hilfreich, folgende Begriffe zu verwenden, die in Abbildung 8 schematisiert sind:

- **Anaerobes CO₂ (A)** ist die Menge an CO₂, die auch unter anaeroben Bedingungen gebildet worden wäre.
- **Aerobes CO₂ (B)** ist die Menge an CO₂, die zusätzlich durch die aktive Aerobisierung entsteht. Dies entspricht $Aerob_{CH_4}$.
- **Gemessenes CH₄ (C)** ist die Menge an Methan, die trotz der aktiven Aerobisierung entsteht.
- **Anaerobes CH₄ (C₀)** ist die Menge an Methan, die unter anaeroben Bedingungen vor der aktiven Aerobisierung entstanden ist
- **Rest Deponiegas (D)** ist die Menge an nicht kohlenstoffhaltigen Bestandteilen, die hauptsächlich durch das Übersaugen entsteht.

Dementsprechend teilt sich die Menge an Methan, die unter anaeroben Bedingungen entstanden wäre, durch die aktive Aerobisierung in Gemessenes CH₄ (C) und Aerobes CO₂ (B) auf.

ohne aktive Aerobisierung



mit aktiver Aerobisierung

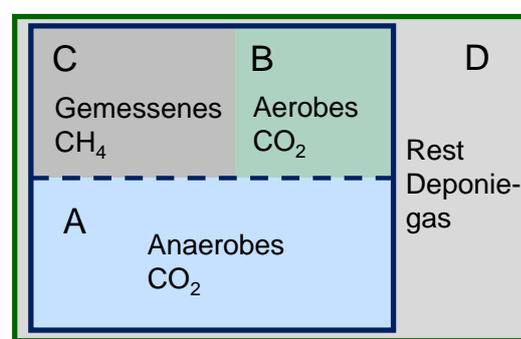


Abbildung 8: Skizze der Bestandteile von Deponiegas ohne Aerobisierung (links) und bei aktiver Aerobisierung (rechts). Unter anaeroben Bedingungen ist $B = 0$ und $F_0 = \frac{C_0}{C_0 + A}$. Für eine Erklärung der Begriffe siehe Text.

Abbildung 8 zeigt die Bestandteile des Deponiegases auf. Der blaue Kasten repräsentiert die kohlenstoffhaltigen Bestandteile des Deponiegases. Der grüne Rahmen symbolisiert die Gesamtmenge an

abgesaugtem Gas bei aktiver Aerobisierung inklusive nicht kohlenstoffhaltigen Bestandteilen wie beispielsweise Stickstoff.

Per Definition ist $F = \frac{\text{Vol-\% (CH}_4\text{)}}{\text{Vol-\% (CH}_4\text{)} + \text{Vol-\% (CO}_2\text{)}}$

Durch die aktive Aerobisierung verschiebt sich dieses Verhältnis zugunsten von mehr Kohlendioxid.

Das heisst nun gilt $F = \frac{\text{Vol-\% (CH}_4\text{,aktive Aerobisierung)}}{\text{Vol-\% (CH}_4\text{,aktive Aerobisierung)} + \text{Vol-\% (CO}_2\text{,aktive Aerobisierung)}} < 0.5$.

Für die Berechnung der anrechenbaren Emissionsreduktionen durch die aktive Aerobisierung wird zur Vereinfachung davon ausgegangen, dass ohne die Aerobisierung das Verhältnis F_0 (= Messwert vor Beginn der Aerobisierung) weiter konstant geblieben wäre und damit auch die Menge A an anaerob entstandenem CO₂ („stabile Methanphase“). Damit gilt $F_0 = \frac{c_0}{c_0+A} = \frac{C(t)+B(t)}{C(t)+B(t)+A}$ auch für die sich im Laufe der Aerobisierung ändernde messbare Methankonzentration C(t). Der Beitrag B(t), „aerobes CO₂“, kann nicht direkt gemessen werden, aber anhand dieser Formel berechnet werden (s.u.). Das gesamte gemessene CO₂ setzt sich aus B(t) und A zusammen.

Die messbare Methankonzentration, Feld C = C(t), entspricht dem Term $c_{CH_4} * \frac{12}{16} * D_{CH_4}$ in der Formel (7) und das gesamte Kohlendioxid, Felder A+B, entspricht dem Term $c_{CO_2} * \frac{12}{44} * D_{CO_2}$. Damit kann aus den gemessenen Konzentrationen an Methan und Kohlendioxid das zusätzlich anrechenbare „vermiedene Methan“ mit folgendem Vorgehen bestimmt werden, was sich in der Formel (7) wieder spiegelt:

1. A+B+C, also die gesamte Menge an CO₂ und CH₄ wird bestimmt.
2. Diese Gesamtmenge wird mit dem Faktor F_0 multipliziert, um B+C zu erhalten
(wegen $F_0 = \frac{c_0}{c_0+A} = \frac{C(t)+B(t)}{C(t)+B(t)+A}$)
3. C, das gemessene Methan, wird subtrahiert. Also ist $B = (A+B+C) * F_0 - C$
4. Zurückübersetzt in messbare Grössen ergibt das
 $(c_{CO_2} * \frac{12}{44} * D_{CO_2} + c_{CH_4} * \frac{12}{16} * D_{CH_4}) * F_0 - c_{CH_4} * \frac{12}{16} * D_{CH_4}$
5. Umformen ergibt dann die eckige Klammer in Formel (7)
6. Der Faktor $V_{DG,y} * \frac{16}{12}$ transformiert von den Mengen Kohlenstoff des Volumenstroms nach tCH₄.

Die Grösse von Feld D spielt für die Verwendung von Formel (7) keine Rolle, d.h. die Formel ist auch für Fälle gültig, in denen ein signifikanter Anteil des Deponiegases nicht aus Methan oder Kohlendioxid besteht.

Weil eine Grundannahme für die Formel ist, dass das vor dem Start der Aerobisierung bestehende Verhältnis F_0 konstant bleibt, ist der Aerobisierungsterm ($Aerob_{CH_4}$), also eine Anrechnung von „vermiedenen“ Methan, nur für die Dauer der ersten 7jährigen Kreditierungsperiode zulässig.

5.3 Zusätzlichkeit

Für die Bestimmung der Zusätzlichkeit wird auf die Vollzugsmittelung "Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland" verwiesen. Im Allgemeinen ist mit einer Wirtschaftlichkeitsanalyse der Nachweis zu erbringen, dass das Projekt unwirtschaftlich ist und daher ohne Erlös aus den Bescheinigungen nicht umgesetzt würde. Wenn keine Erlöse aus dem Verkauf von Deponiegas oder Methan oder daraus erzeugter Energie anfallen, genügt eine einfache Kostenanalyse, die aufzeigt, dass das Projekt unwirtschaftlicher ist als mindestens eines der alternativen Szenarien.

5.4 Monitoring

Die folgende Liste umfasst die Parameter und Faktoren, die für den Nachweis der Emissionsverminderungen gemäss der vorliegenden Standardmethode wesentlich sind.

5.4.1 Werte und Faktoren die nicht kontinuierlich gemessen werden

Daten / Parameter	AE
Einheit	Anteil
Beschreibung	Die Abfackelungseffizienz beschreibt den Anteil an Methan, der bei der Abfackelung effektiv verbrannt wird oder generell bei Verfahren zur Gasbehandlung oxidiert wird.
Wert:	Es gilt die Vorgehensweise gemäss UNFCCC: ⁴⁴ 1. Als Default wird ein Wert von 90% für die Verbrennungseffizienz einer geschlossenen Fackel angewandt. 2. Projekteigner können auch die Herstellerangaben verwenden, falls nachgewiesen werden kann, dass diese eingehalten werden. 3. Projekteigner können eigene Messungen vornehmen. AE=0 falls keine Schwachgasbehandlung erfolgt.
Datenquelle	Vorgehen in einer vereinfachten Form in Anlehnung an CDM Methodological Tool „Project emissions from flaring“.
Häufigkeit der Messung	Jährlich im Monitoring
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Die Abfackelungseffizienz ist sowohl für die ex-ante Schätzung als auch für die ex-post Berechnung relevant.

Daten / Parameter	OX
Einheit	Anteil
Beschreibung	Der Oxidationsfaktor beschreibt den Anteil an Methan im Deponiegas, das in der Grenzschicht vor dem Austritt in die Atmosphäre oxidiert, d.h. zu Kohlendioxid umgewandelt wird.
Wert:	0 oder 0.5
Datenquelle	Der Oxidationsfaktor unterscheidet sich stark von Deponie zu Deponie und variiert auch innerhalb einer Deponie je nach Alter und Jahreszeit. Die Werte in der Literatur schwanken von praktisch 0 bis 1. Gemäss der Bandbreiten des Reviews: „Wirksamkeit von biologischen Methanoxidationsschichten auf Deponien“ ⁴⁵ und Expertenaussagen erscheint ein Wert von 0.5 für nicht belüftete Deponien im Schweizer Kontext gerechtfertigt. Für Methan, das ohne Projekt über Belüftungsanlagen abgesaugt werden würde, gilt OX=0.
Häufigkeit der Messung	-
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Der Oxidationsfaktor ist sowohl für die ex-ante Schätzung als auch für die ex-post Berechnung relevant. Der Faktor ist mit Unsicherheit behaftet und aufwendig nachzuweisen. Deshalb schreibt diese Methode je nach Ausgangslage (mit oder ohne Belüftung) fixe Werte vor.

⁴⁴ Step 2 in CDM Methodological Tool: „Project emissions from flaring“ (Version 02.0.0)

⁴⁵ www.oekobauconsult.de/Wirksamkeit_von_biologischen_Methanoxidationsschichten_mit_Index.pdf (17.03.2014)

Daten / Parameter	SE
Einheit	Anteil
Beschreibung	Die Saugeffizienz beschreibt den Anteil des durch die Gasbrunnen erfassten Deponiegases. Der Anteil (1-SE) wird nicht erfasst und entweicht über die Grenzschicht in die Atmosphäre, wobei Methan teilweise oxidiert wird.
Wert:	Schätzung des Projekteigners
Datenquelle	-
Häufigkeit der Messung	Einmalig zu ex-ante Schätzung
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Dieser Wert ist nur für die ex-ante Schätzung relevant und muss vom Projekteigner anhand der jeweiligen Gegebenheiten in der Deponie ausgewiesen werden. Der Wert hängt stark von der Art der Deponie (flach, Hügel, Mulde) und von der Einbauart ab, die Saugeffizienz kann grob gesagt zwischen 30 und 70% liegen.

Daten / Parameter	$GWP_{CH_4}^{eff}$
Einheit	t CO ₂ eq/ tCH ₄
Beschreibung	Effektives Treibhausgaspotential von Methan
Wert:	22.25
Datenquelle	$GWP_{CH_4} = 25$ gemäss Verordnung über die Reduktion der CO ₂ -Emissionen (CO ₂ -Verordnung) vom 30.11.2012, Anhang 1. Aus einer Tonne CH ₄ werden bei der Oxidation 2.75 Tonnen CO ₂ . Deren Treibhausgaspotential (per Definition 2.75) muss von dem Treibhausgaspotential von Methan abgezogen werden, da nur die Differenz anrechenbar ist. Dies gilt obwohl der Kohlenstoff biogenen Ursprungs ist.
Häufigkeit der Messung	-
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Massgebend für GWP_{CH_4} ist der Wert der jeweils aktuellen CO ₂ -Verordnung, auch wenn neue wissenschaftliche Erkenntnisse einen anderen Werten angeben.

Daten / Parameter	D_{CO_2}
Einheit	tCO ₂ /Nm ³
Beschreibung	Kohlenstoffdioxidichte bei Standardbedingungen
Wert:	0.001976
Datenquelle	Special Report on CCS, Annex I: Properties of CO ₂ and carbon-based fuels. www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_annex1.pdf (24.03.2014)
Häufigkeit der Messung	-
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Die Kohlenstoffdioxidichte ist nur für die ex-post Berechnung relevant.

Daten / Parameter	D_{CH_4}
Einheit	tCH ₄ /Nm ³
Beschreibung	Methandichte bei Standardbedingungen
Wert:	0.0007202
Datenquelle	$D_{CO_2} * \frac{16.04}{44.01}$ Mollmassen gemäss www.dguv.de/dguv/ifa/Gefahrstoffdatenbanken/GESTIS-Stoffdatenbank/index.jsp (24.03.2014).
Häufigkeit der Messung	-
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Die Methandichte ist nur für die ex-post Berechnung relevant.

Daten / Parameter	AA
Einheit	Anteil
Beschreibung	Durch die Aerobisierung wird ein Teil des Kohlenstoffs im Abfall nicht zu Methan umgewandelt sondern zu Kohlendioxid oxidiert. Der Aerobisierungsanteil entspricht demzufolge dem Anteil an Methan, dessen Bildung durch die aktive Aerobisierung verhindert wurde. Der Anteil (1-AA) entsteht trotz aktiver Aerobisierung.
Wert:	Schätzung des Projekteigners
Datenquelle	-
Häufigkeit der Messung	Einmalig zu ex-ante Schätzung
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Dieser Wert ist nur für die ex-ante Schätzung relevant und muss vom Projekteigner anhand der jeweiligen Gegebenheiten in der Deponie ausgewiesen werden.

Daten / Parameter	SF
Einheit	-
Beschreibung	Der Stauchungsfaktor repräsentiert die Anzahl Jahre deren Emissionen gemäss FOD Modell mithilfe der aktiven Aerobisierung in einem Jahr verhindert werden.
Wert:	Schätzung des Projekteigners
Datenquelle	-
Häufigkeit der Messung	Einmalig zu ex-ante Schätzung
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Dieser Wert ist nur für die ex-ante Schätzung relevant und ist eine Möglichkeit um die Beschleunigung durch die aktive Aerobisierung abzuschätzen.

5.4.2 Zu messende Werte

Für die Messung von Werten und die Angaben zu Qualitätssicherung und Kalibrierung von Messgeräten gelten die allgemeinen Empfehlungen der Vollzugsmittteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“. Bei den kontinuierlich gemessenen Werten muss festgehalten werden, wie die Daten registriert/gespeichert werden (z.B. Zeitintervall für Mittelwertbildung). Konzentrationen und Volumenstrom müssen zum gleichen Zeitpunkt registriert werden.

Daten / Parameter	F
Einheit	Anteil
Beschreibung	Anteil an Methan im Methan/Kohlendioxid-Gemisch
Wert:	Gemäss dem Entscheidungsbaum in Abbildung 6 Szenario 1: 0.5 (IPCC-Wert für natives Deponiegas) Szenarios 2 und 3: F muss vor Projektbeginn einmalig gemessen werden (F_0)
Datenquelle	Messung durch Deponiebetreiber, Monitoringstelle oder Experten
Häufigkeit der Messung	Einmalig vor Projektbeginn (für Szenarios 2 oder 3)
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Falls F aus den bisherigen Messungen von CH ₄ und CO ₂ nicht plausibel und repräsentativ bestimmt werden kann, sollte es in einer Messkampagne vor Projektbeginn bestimmt werden. Dabei ist die Situation im Fall ohne Projekt so genau wie möglich abzubilden (z.B. Durchflussmenge).

Daten / Parameter	$PE_{CO_2,Strom,y}$
Einheit	t CO ₂ eq
Beschreibung	CO ₂ Emissionen durch den Verbrauch von Strom in der Projektaktivität im Jahr y
Wert:	Berechnung durch den gemessenen Stromverbrauch und den Emissionsfaktor des eingesetzten Stroms
Datenquelle	Messung Stromverbrauch Anwendung des effektiven Emissionsfaktors des gelieferten Stromes; falls der Wert nicht bekannt ist, kann der CO ₂ -Emissionsfaktor des Schweizer Produktionsmixes verwendet werden: 24.2 g CO ₂ eq/kWh (vgl. Vollzugsmitteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“, Anhang A3).
Häufigkeit der Messung	kontinuierlich
Qualitätssicherung	Kalibrierung gemäss Herstellerangaben
Kommentare	-

Daten / Parameter	$PE_{CO_2,Fossil,y}$
Einheit	t CO ₂ eq
Beschreibung	CO ₂ Emissionen durch Verwendung fossiler Brennstoffe im Jahr y
Wert:	Berechnung aus dem Verbrauch fossiler Energieträger und dem entsprechenden Emissionsfaktor
Datenquelle	Messung Verbrauch fossiler Energieträger; Emissionsfaktoren vgl. Vollzugsmitteilung „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland“, Anhang A3.
Häufigkeit der Messung	- kontinuierlich, bzw. monatlich
Qualitätssicherung	-
Kommentare	Diese spielen v.a. dann eine Rolle, wenn man zur Oxidierung von Schwachgas zusätzliche Brennstoffe benötigt.

Daten / Parameter	$V_{DG,y}$
Einheit	Nm ³
Beschreibung	Volumenstrom an Deponiegas, der vor der Verbrennung gemessen wird in Jahr y
Wert:	Messung durch den Projekteigner
Datenquelle	Volumenstrom-Messgerät
Häufigkeit der Messung	kontinuierlich
Qualitätssicherung	Kalibrierung und Messhäufigkeit gemäss Herstellerangaben
Kommentare	<p>Der Volumenstrom ist eine zentrale Grösse für die Bestimmung der Emissionsreduktionen; daher ist es wichtig, dass dieser Volumenstrom korrekt erfasst wird. Das eingesetzte Messgerät muss auf den erwarteten durchschnittlichen Volumenstrom angepasst sein (Messstrecke, Messort). Dies ist durch regelmässige externe Kontrollen überprüfen zu lassen.</p> <p>Der Volumenstrom muss gemäss den Vorgaben des Methodological tools „Tool to determine the mass flow of a greenhouse gas in a gaseous stream“ gemessen werden. http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-08-v1.pdf/history_view</p>

Daten / Parameter	c_{CH_4}
Einheit	Volumen-%
Beschreibung	Methangehalt im Deponiegas
Wert:	Messung durch den Projekteigner
Datenquelle	Mess-Sensor
Häufigkeit der Messung	kontinuierlich
Qualitätssicherung	Kalibrierung und Häufigkeit der Kalibrierung gemäss Herstellerangaben
Kommentare	Dieser Wert muss gemäss den Vorgaben des Methodological tools “Tool to determine the mass flow of a greenhouse gas in a gaseous stream” gemessen werden.

Daten / Parameter	c_{CO_2}
Einheit	Volumen-%
Beschreibung	Kohlenstoffdioxidgehalt im Deponiegas
Wert:	Messung durch den Projekteigner
Datenquelle	Messsensor
Häufigkeit der Messung	kontinuierlich
Qualitätssicherung	Kalibrierung und Messhäufigkeit gemäss Herstellerangaben
Kommentare	<p>Dieser Wert muss gemäss den Vorgaben des Methodological tools “Tool to determine the mass flow of a greenhouse gas in a gaseous stream” gemessen werden. http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-08-v1.pdf/history_view</p> <p>Die Messungen sind durch regelmässige externe Kontrollen überprüfen zu lassen.</p>

Änderungsverzeichnis

Datum	Version	Änderung
April 2015	2	Korrektur Legende Abbildung 1 Bereinigung Erläuterungen zu Formel (7)