

**Kreisverwaltung
Donnersbergkreis**



**Deponiebelüftung – Deponie Eisenberg:
Klimaschutz – Nachhaltigkeit – Nachsorgereduzierung**

**Potenzialanalyse zum Einsatz geeigneter Technologien zur
Reduzierung von Treibhausgasemissionen bei stillgelegten
Siedlungsabfalldeponien**

ERLÄUTERUNGSBERICHT



Sweco GmbH
Jakob-Anstatt-Straße 2
55130 Mainz



IFAS - Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft
Prof. R. Stegmann und Partner
Schellerdamm 19 – 21
21079 Hamburg

1 Veranlassung zur Deponiebelüftung als Klimaschutzmaßnahme

Der Donnersbergkreis hat bis Mitte 1999 die Kreismülldeponie Eisenberg zur Entsorgung von Hausmüll, hausmüllähnlichen Abfällen, Bauschutt und sonstigen mineralischen Abfällen betrieben. Die Deponie wurde im Abbaubereich von Klebsanden angelegt und auf einer Ablagerungsfläche von 5,3 ha als Grubendeponie betrieben. Die Deponie wurde Mitte 1999 stillgelegt und befindet sich in der Nachsorgephase. Der Deponiekörper wurde im Rahmen des Betriebes und der Stilllegungsphase in 2 Bauabschnitten mit einer qualifizierten Oberflächenabdichtung nach dem jeweiligen Stand der Technik versehen.

Bereits seit Ende 1992 wurden auf der Deponie vornehmlich inerte Abfälle mit sehr geringem Gasbildungspotenzial abgelagert. Das Deponieverhalten ist wie bei vergleichbaren Siedlungsabfalldeponien nach Abschluss der Verfüllung organikhaltiger Siedlungsabfälle von einer abnehmenden erfassbaren Deponiegasproduktion gekennzeichnet, die eine wirtschaftliche Verwertung mit einem BHKW nicht mehr ermöglicht. Das erfasste Deponiegas wurde bisher in einer Deponiegasfackel thermisch beseitigt. Aufgrund des sinkenden Methangehaltes war in der letzten Zeit ein kontinuierlicher Anlagenbetrieb jedoch nicht mehr möglich. Der Absaugbetrieb auf der Deponie wurde eingestellt und ein entsprechendes Monitoringprogramm mit Messung der wesentlichen Parameter im Deponiegas durchgeführt.

Aus Gründen des Emissionsschutzes wird weiterhin eine Gaserfassung und -behandlung erforderlich sein, die sich noch über einen längeren Zeitraum erstrecken kann. Die chemischen und biologischen Prozesse im Deponiekörper mit der resultierenden Deponiegasproduktion und die Sickerwasserbeschaffenheit der Deponie Eisenberg zeigen folglich, dass noch mit nennenswerten Emissionen über einen längeren Zeitraum von mehreren Jahrzehnten gerechnet werden muss. Vor diesem Hintergrund wurde der Einsatz eines aeroben in situ Stabilisierungsverfahrens (Deponiebelüftung) insbesondere im Hinblick auf die Zielstellung der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) des Bundesumweltministeriums standortbezogen geprüft. Die Überführung der Deponie in einen emissionsarmen Zustand

würde eine langfristige Deponieschwachgasproduktion mit entsprechenden klimarelevanten Methanemissionen weitgehend reduzieren.

Die Kreisverwaltung Donnersbergkreis hat daher diese Potenzialanalyse zur aeroben in situ Stabilisierung der Deponie Eisenberg durchführen lassen. Die Potenzialanalyse basiert im Wesentlichen auf den vorhandenen Auswertungen zum Deponieverhalten und den Funktionsprüfungen sowie Absaugversuchen von Herbst 2014 bis Frühjahr 2015.

Die Erarbeitung der Potenzialanalyse orientiert sich an den Vorgaben des „Merkblatts Erstellung von Klimaschutz-Teilkonzepten“ vom 22.06.2016 des Bundesumweltministeriums (BMUB), Kapitel 6.4. Damit werden wie gefordert die spezifische Ausgangssituation der Siedlungsabfalldeponie aufbereitet sowie die technisch und wirtschaftlich umsetzbaren CO₂-Minderungspotenziale durch geeignete Maßnahmen analysiert und ein standortbezogenes geeignetes Verfahren konzipiert.

2 Bestandsaufnahme der Deponie Eisenberg

Im Folgenden werden die wesentlichen Gegebenheiten und Randbedingungen der Deponie Eisenberg dargestellt, soweit sie für die Erarbeitung der Potenzialanalyse von Bedeutung sind.

2.1 Allgemeine Angaben

Adresse: Deponie Eisenberg
Bundesstraße B 47
67304 Eisenberg (Pfalz)

Betreiber: Kreisverwaltung Donnersberg
Uhlandstraße 2
67292 Kirchheimbolanden

Genehmigungs- und Überwachungsbehörde:
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd
Friedrich-Ebert-Straße 14
67433 Neustadt

Kenndaten der Deponie:

Planfeststellungsbescheid:	15.09.1987 für Erweiterung
Inbetriebnahme:	Ende der 60-iger Jahre
Stilllegung:	Juli 2000
Nachsorge:	seit 01.01.2006
Gesamtfläche Deponie:	6,3 ha
Gesamtablagerungsfläche:	5,3 ha
Gesamtvolumen genehmigt:	1,1 Mio. m ³
Gesamtmasse abgelagerter Abfälle:	ca. 1,3 Mio. Mg (1968-1999)
Maximale Ablagerungsmächtigkeit:	34 m ü. GOK + 20 m bis 25 m Grubentiefe

Mit der Inbetriebnahme der Deponie etwa 1968 bis 1973 erfolgte anfänglich eine ungeordnete Ablagerung der Abfälle. Seit 1973 betreibt der Donnersbergkreis die

Deponie Eisenberg entsprechend den genehmigungsrechtlichen Auflagen. Eine Ablagerung von organikhaltigen Abfällen wurde bis etwa Mitte 1992 durchgeführt. Klärschlamm wurde bis 1999 in der Deponie eingebaut, die abgelagerten Mengen haben sich jedoch ab 1993 bis 1999 kontinuierlich reduziert.

Ab 1993 wurden auf der Deponie nur noch Industrieabfälle und geringe Mengen an Klärschlamm abgelagert.

2.2 Deponiefläche, Form und Volumen, Abfallzusammensetzung

Die Deponie Eisenberg wurde von etwa 1968 bis 1999 betrieben und gliedert sich in 2 Bauabschnitte.

Die Abfallablagerungsfläche beträgt insgesamt etwa 5,3 ha. Bei der Deponie handelt es sich um eine Gruben-/Haldendeponie mit einer maximalen Ablagerungsmächtigkeit von ca. 34 m über Geländeoberkante (Höhendifferenz zwischen Böschungsfuß und Deponiekuppe). Die oberen etwa 5 m bis 15 m bestehen weitgehend aus inerten Abfällen. Die mit Abfall verfüllte Grube hatte ursprünglich eine Tiefe von etwa 20 m bis etwa 25 m bezogen auf die anschließende Geländeoberkante. Die angelieferten Siedlungsabfälle wurden abschnittsweise verdichtet eingebaut. Die verfüllte Abfallmenge beträgt ca. 1,3 Mio. Mg (Zeitraum 1968 bis 1999; Tabelle 2.1).

Auf der Deponie wurden Hausmüll, Klärschlamm, Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle sowie Sedimente und mineralische Abfälle unterschiedlicher Herkunft abgelagert. Über die Ausgangszusammensetzung und die Eigenschaften der abgelagerten Abfälle liegen nur wenige Detailinformationen vor. Für das Verhalten des Deponiekörpers und die resultierenden Emissionen zeigt sich jedoch, dass in den bis Mitte 1992 verfüllten Betriebsbereichen die „gewöhnlichen“ Siedlungsabfälle wie der Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle maßgebend sind.

Tab 2.1: Deponierte Abfallanlieferungen zur Kreismülldeponie Eisenberg

Anlieferungsmengen zur Deponie Eisenberg (deponierte Menge in Mg)												
	bis 1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Hausmüll	Ø pro a											
gesamt	18.000	18.034	17.051	15.679	5.502	0	0	0	0	0	0	0
davon Hausmüll		14.985	13.740	13.519	3.381	0	0	0	0	0	0	0
davon Sperrmüll		3.049	3.311	2.160	2.121	0	0	0	0	0	0	0
US-Müll	Ø pro a											
hausmüllähnlich	3.500	1.637	1.541	1.240	903	256	0	0	0	0	0	0
Gewerbemüll	Ø pro a											
gesamt	20.000	32.366	30.066	28.846	24.709	19.688	21.999	17.844	8.581	9.932	10.827	2.392
hausmüllähnlich		13.772	13.543	12.944	2.511	0	0	0	0	0	0	0
produktionsspezifisch		18.594	16.523	15.373	19.851	17.975	19.879	17.227	8.393	9.718	10.705	2.075
Sortierreste -PPK		0	0	0	0	0	0	617	188	214	122	317
Reste Grüne Tonne		0	0	529	2.347	1.713	2.120	0	0	0	0	0
Klärschlamm	Ø pro a											
gesamt	1.200	1.298	1.671	1.718	1.624	2.072	830	336	138	628	510	292
Erdaushub	Ø pro a											
gesamt	2.000	7.447	1.015	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bauschutt	Ø pro a											
gesamt	2.000	19.724	13.434	11.795	3.390	1.530	409	440	299	226	286	235
deponierte Abfälle	Ø pro a											
gesamt	46.700	80.506	64.778	59.278	36.128	23.546	23.238	18.620	9.018	10.786	11.623	2.919

(Quelle: Kreis Donnersberg)

Die in der Spalte bis 1988 angegebenen Abfallmengen sind durchschnittliche Massen pro Jahr (Mg/a) auf Basis von Vergleichszahlen anderer Gebietskörperschaften im gleichen Zeitraum (Quelle: Kreis Donnersberg).

Geologie und Hydrogeologie

Der geologische Untergrund im Großraum des Deponiestandorts besteht aus quartären Lößablagerungen, die über Lockersedimenten des Tertiärs liegen. Unterhalb dieser Ablagerungen schließen sich Sand- und Tonsteine an. Das quartärzeitliche Schichtenpaket besteht im oberen Bereich aus schluffig – tonigen Quarzsanden (Klebsand) und im unteren Bereich aus Tonablagerungen. Die Klebsande führen das oberflächennahe Grundwasser im freien Grundwasserspiegel, die Grundwasserfließrichtung erfolgt in nördliche bis nordöstliche Richtung. Die Durchlässigkeiten in den Klebsanden sind sehr gering.

Die Tonschichten im Liegenden bilden die Basis des oberflächennahen Aquifers und gleichzeitig die obere Begrenzung des tieferen Grundwasservorkommens in den klüftigen Festgesteinen des Buntsandsteins. Der tiefere Kluftaquifer im Buntsandstein wird wasserwirtschaftlich genutzt. Die Gewinnungsbrunnen befinden sich etwa 3 km nordöstlich der Deponie.

Die Deponie wurde in zwei ehemaligen Klebsandgruben angelegt. Aufgrund der geringen Durchlässigkeit der Klebsande sammelt sich das Sickerwasser in diesen Gruben. Zum umliegenden Grundwasser im Klebsand besteht generell eine Verbindung, die jedoch durch die inhomogene Beschaffenheit der Abfallablagerungen beeinflusst wird. Zur Unterbindung bzw. Minimierung von Sickerwasseraustritten in das angrenzende Grundwasser wird im Deponiekörper über einen Sickerwasserbrunnen das gefasste Deponiesickerwasser abgepumpt und entsorgt.

Die ursprünglich in großer Mächtigkeit vorhandenen Tonablagerungen zwischen den Klebsanden und dem Buntsandstein wurden durch den intensiven Tonabbau in früheren Zeiten erheblich reduziert.

Basisabdichtungssysteme

Die Deponie verfügt über kein technisches Basisabdichtungssystem und keine gezielte Sickerwasserfassung durch ein flächendeckend angelegtes Dränagesystem.

Oberflächenabdeckung/-abdichtung

Im Rahmen der Baumaßnahmen zur Deponiestilllegung wurden die drei Bauabschnitte mit einem Oberflächenabdichtungssystem versehen:

- 1. Bauabschnitt (1989): Abdichtung der südlichen, südwestlichen und südöstlichen unteren Böschungsbereiche mit 2-lagiger mineralischer Abdichtung (Klebsandabdichtung), Dränagematte und Rekultivierungsschicht
- 2. Bauabschnitt (2000): Abdichtung des Kuppenbereichs mit einer Kombinationsdichtung mit KDB, mineralischer Dränageschicht und Wasserhaushaltsschicht
- 3. Bauabschnitt (2009): Ergänzung des Dichtungssystems im 1. Bauabschnitt durch eine zusätzliche KDB, Dränagematte und Rekultivierungsschicht

Mit der Realisierung des 3. Bauabschnitts wurde der gesamte Deponiekörper mit einer KDB abgedichtet. Die zweite Komponente der Kombinationsdichtung besteht aus einer mineralischen Dichtung (untere Böschungsbereiche) und aus einer Wasserhaushaltsschicht (Kuppenbereich).

2.3 Emissionsverhalten, Emissionserfassung und –behandlung

2.3.1 Sickerwasser

Die Sickerwasserförderung wurde ursprünglich aus fünf Brunnen innerhalb der Deponie betrieben. Aufgrund der stetigen Abnahme der Wasserstände waren seit 2007 nur noch die Brunnen S 1.5 und S 3.4 in Betrieb. Aus den Brunnen S 1.2, S 2.1 und S 2.3 erfolgte keine Förderung von Sickerwasser mehr (Position siehe Abb. 2.2).

Seit Mitte 2012 wird nur noch der Brunnen S 3.4 betrieben. Der Brunnen S 1.5 wurde außer Betrieb genommen, da sich die hydraulische Situation in der kleinen Klebsandgrube auch ohne Sickerwasserförderung nicht nachteilig verändert hat. Die aktuellen Messungen bestätigen, dass sich der Wasserspiegel auch ohne die Sickerwasserförderung nicht signifikant verändert.

Der Sickerwasserbrunnen ist an eine Sickerwasserleitung angeschlossen. Das gefasste Sickerwasser wird vor Ort gesammelt und mittels Tankfahrzeugen einer externen Entsorgungsanlage zugeführt.

Die **Sickerwassermengen** schwankten im Betrachtungszeitraum 1999 bis 2014 in Abhängigkeit der Niederschlagsmengen. Nach dem Abdichten des Kuppenbereichs sanken die jährlichen Sickerwassermengen erheblich von ca. 10.000 m³/a auf 3.000 m³/a bis 4.000 m³/a ab (Abbildung 2.1).

Mit der ertüchtigten Abdichtung der unteren Böschungsbereiche mit einer zusätzlichen KDB im Jahr 2009 hat sich die Sickerwassermenge noch weiter reduziert und liegt weitgehend kontinuierlich bei etwa 2.000 m³/a. Im Jahr 2015 hat sich die geförderte Sickerwassermenge weiter auf ca. 1.830 m³/a reduziert.

Die Sickerwasserqualität kann grundsätzlich anhand der Parameter CSB und NH₄-N charakterisiert werden und gibt Hinweise auf den Abbauzustand der abgelagerten Abfallorganik und damit auf die „Gasphase“, in der sich der Deponiekörper befindet.

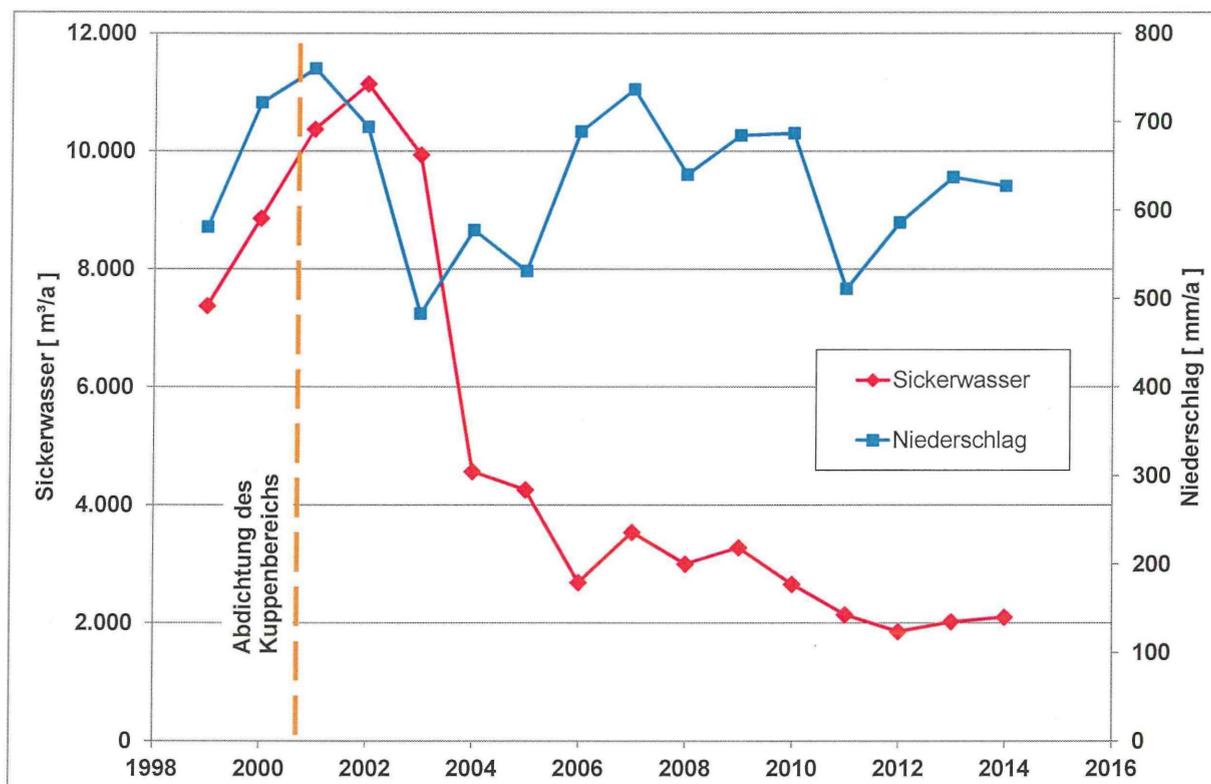


Abb. 2.1: Entwicklung der Rohsickerwassermenge in Abhängigkeit der jährlichen Niederschlagsmenge und Abdichtungssituation im Zeitraum 1999-2014

In den letzten Jahren wurden beim Leitparameter CSB keine extremen Schwankungen wie in früheren Jahren festgestellt. Die ermittelten Werte deuten darauf hin, dass der Deponiekörper noch Deponiegas produziert.

2.3.2 Deponiegas

Die zur Fassung des Sickerwassers ausgebauten Sickerwasserentnahmehäuser sind zudem als Kombi-Brunnen zur Fassung auch von Deponiegas konzipiert. An diese Brunnen sind sternförmig zusätzliche Gasrigolen, die unterhalb der Dichtung verlaufen, angeordnet. Insgesamt besteht das Gasfassungssystem aus 14 Gasbrunnen (Abb. 2.2).

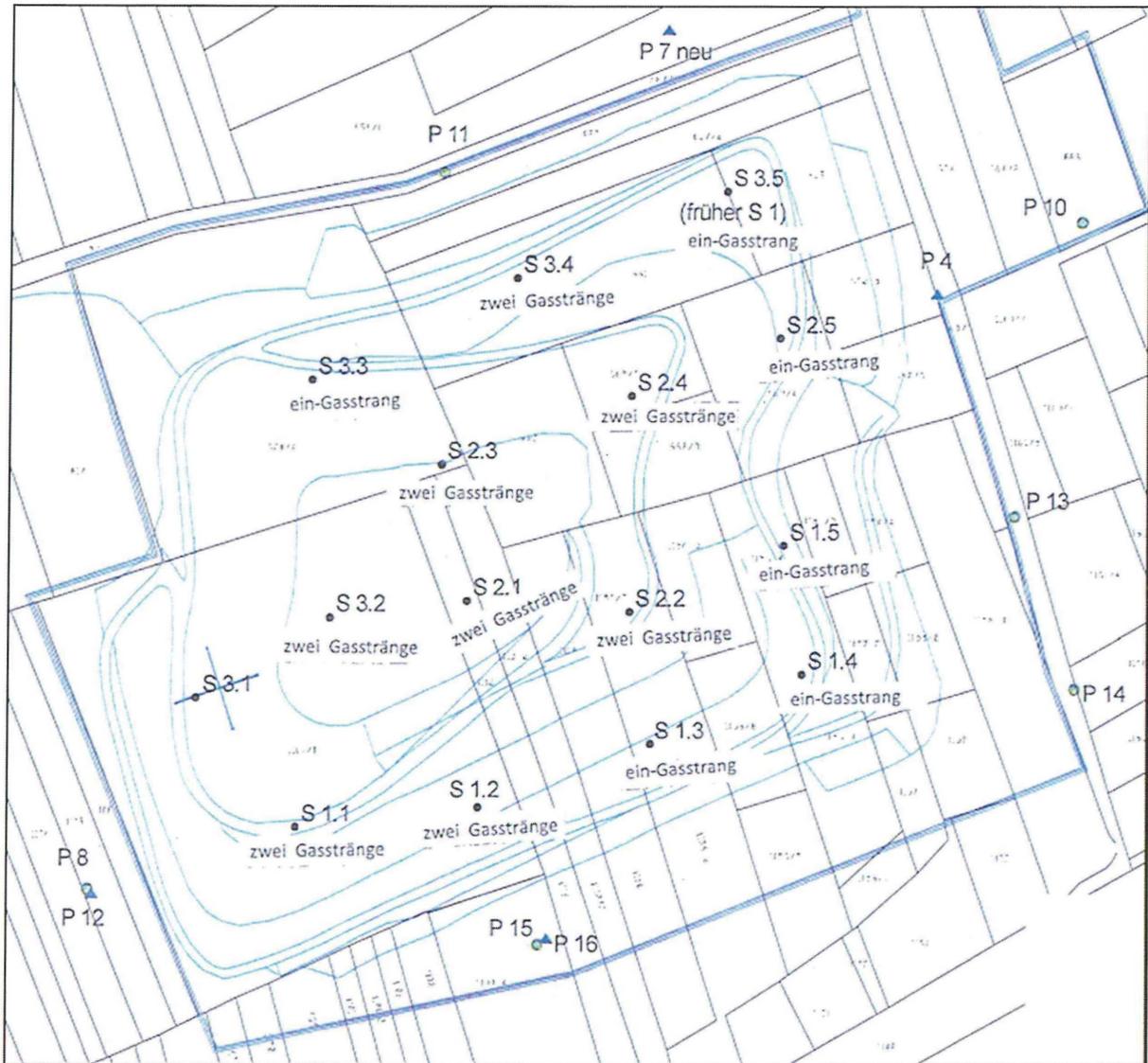


Abb. 2.2: Lage der kombinierten Gas-/Sickerwasserbrunnen auf der Deponie Eisenberg (Quelle: Kreisverwaltung Donnersberg (KVD))

Die Gasbrunnen sind über Einzelleitungen an zwei Gas-Sammelleitungen (Nord und Süd) angeschlossen, die zur Gasverdichterstation mit einer Hochtemperaturfackelanlage führen. Die vorhandene Gasverdichterstation kann Deponiegas mit einem Gasvolumenstrom von 32-344 m³/h fördern. Die Bestandsgasfackel benötigt einen Mindestmethangehalt von 27 Vol.-%, wobei nach Stillstandszeiten ein Mindestmethangehalt von 36 Vol.-% zur erneuten Inbetriebnahme erforderlich ist. Dieses führte in den letzten Jahren schon zu einigen längeren Anlagenstillständen (Abbildung 2.3). Ab 2013 erfolgt aufgrund des geringen Methangehaltes kein Fackelbetrieb mehr.

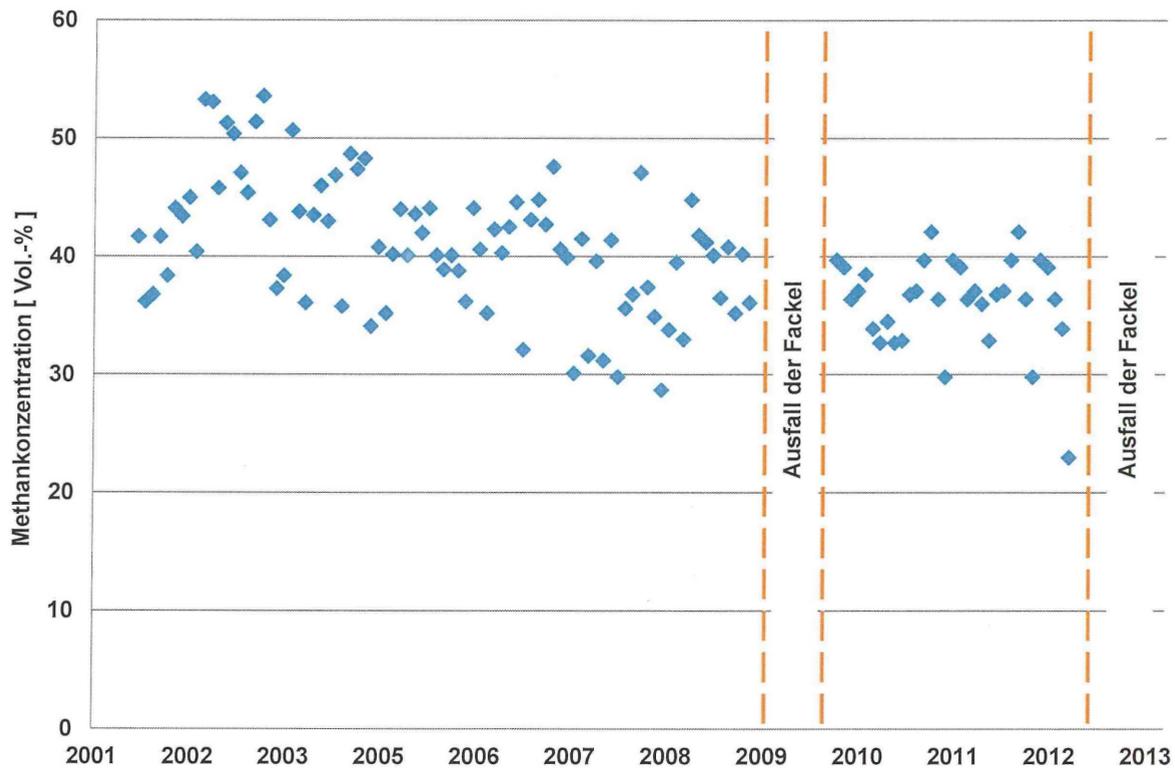


Abb. 2.3: Methangehalte im erfassten Deponiegas (Gasfackelbetrieb)

2.3.3 Deponiegashaushalt

Die Entwicklung der erfassten Deponiegasproduktionsraten zeigt Abbildung 2.4. Insgesamt ist eine deutliche Abnahme seit 2002 zu erkennen. Lag die erfasste Gasmenge in den Betriebsphasen im Jahr 2002-05 noch bei bis zu 90 m³/h (effektive Nutzung: 21-33% der Gesamtjahresbetriebsstunden), so sank sie bis 2012 auf ca. 50 m³/h ab (effektive Nutzung: 10-15% der Gesamtjahresbetriebsstunden), ehe die Hochtemperaturfackel komplett abgeschaltet werden musste.

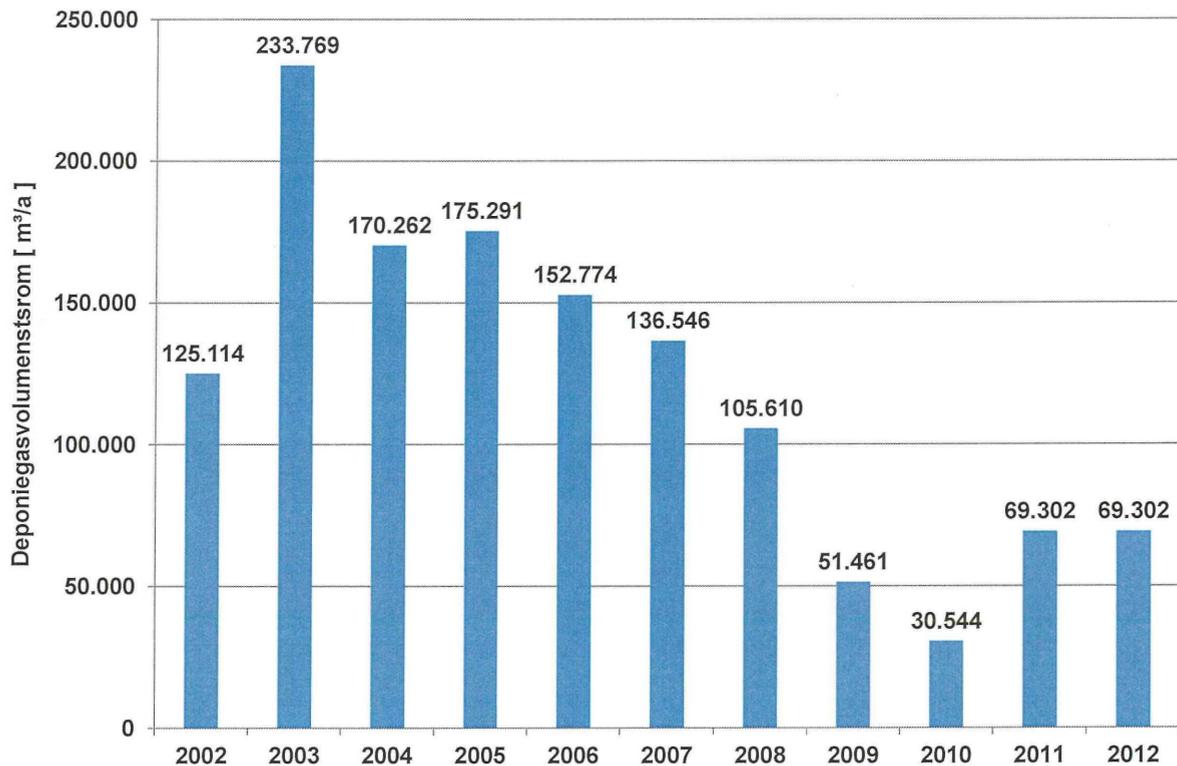


Abb. 2.4: Jährliche Durchflussvolumina der Hochtemperaturfackel von 2002 bis 2012

Der Gashaushalt zeigt damit:

- Die Abnahme der Gasproduktion ist bedingt durch den fortgeschrittenen Abbau der biologisch verfügbaren organischen Substanzen der bis 1992 abgelagerten Abfälle und den Umstand, dass seitdem keine weiteren organischen Abfälle mehr abgelagert wurden.
- Die Gasproduktion ist soweit rückläufig, dass eine Gasabsaugung zur energetischen Gasverwertung unter wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten nicht mehr möglich ist.
- Gleichwohl zeigen sowohl eine erste Abschätzung zur weiteren Entwicklung der Gasemissionen wie die Erfahrungen an vergleichbaren Deponiestandorten, dass dennoch mit einer Deponiegasproduktion über mehrere Jahrzehnte zu rechnen ist, die erhebliche klimarelevante Auswirkungen haben würde.
- Eine Erfassung und Behandlung des sogenannten Deponieschwachgases ist für eine kurze Übergangsphase möglich. Dieses Verfahren bietet jedoch nicht die Möglichkeit des beschleunigten Kohlenstoffabbaus im Deponiekörper, was nur

mit zusätzlichen Maßnahmen (z.B. gesteuerte Übersaugung oder aktive Deponiebelüftung) erreicht werden kann.

- Daher strebt die Kreisverwaltung Donnersbergkreis als Deponieinhaber und damit Maßnahmenträger für sämtliche Nachsorgemaßnahmen im Rahmen der vorliegenden Potenzialanalyse die Überprüfung der Durchführung einer Deponiebelüftung an, um somit eine nachhaltig emissionsarme Deponie zu schaffen, von der keine klimarelevanten Methanemissionen mehr ausgehen können.

2.3.4 Setzungsverhalten

Die bisherigen und zukünftigen Setzungen hängen maßgeblich von den biologischen Abbauprozessen ab und setzen sich aus zwei Anteilen zusammen:

- Sackungen durch Volumenreduzierungen bei Überführung der biologisch verfügbaren organischen Abfallbestandteile in die Gasphase
- Setzungen / Sackungen durch Schwächung des Stützgerüsts, das die Abfallmatrix bildet

Zur Überprüfung dieser Setzungen werden auf der Deponie Eisenberg im Rahmen der Deponienachsorge regelmäßige Setzungsmessungen durchgeführt.



Abb. 2.6: Lage der Setzungsmesspunkte M1 - M5 (Quelle Google Earth)

In Abbildung 2.6 sind die Setzungsmesspunkte M1 – M5 dargestellt. Die letzten Setzungsmessungen im Zeitraum 2012 bis 2015 zeigen maximale Setzungen von 1-2 cm/a (Abbildung 2.7). In dieser Größenordnung wurden die Setzungen nur punktuell festgestellt und lagen in der Fläche eher im Bereich der Nachweisgrenze.

Im Rahmen einer aeroben in situ Stabilisierung sind signifikante Restsetzungen in einem kurzen Zeitraum von einigen Jahren zu erwarten, da die langfristigen noch ablaufenden Setzungen beschleunigt vorweggenommen werden.

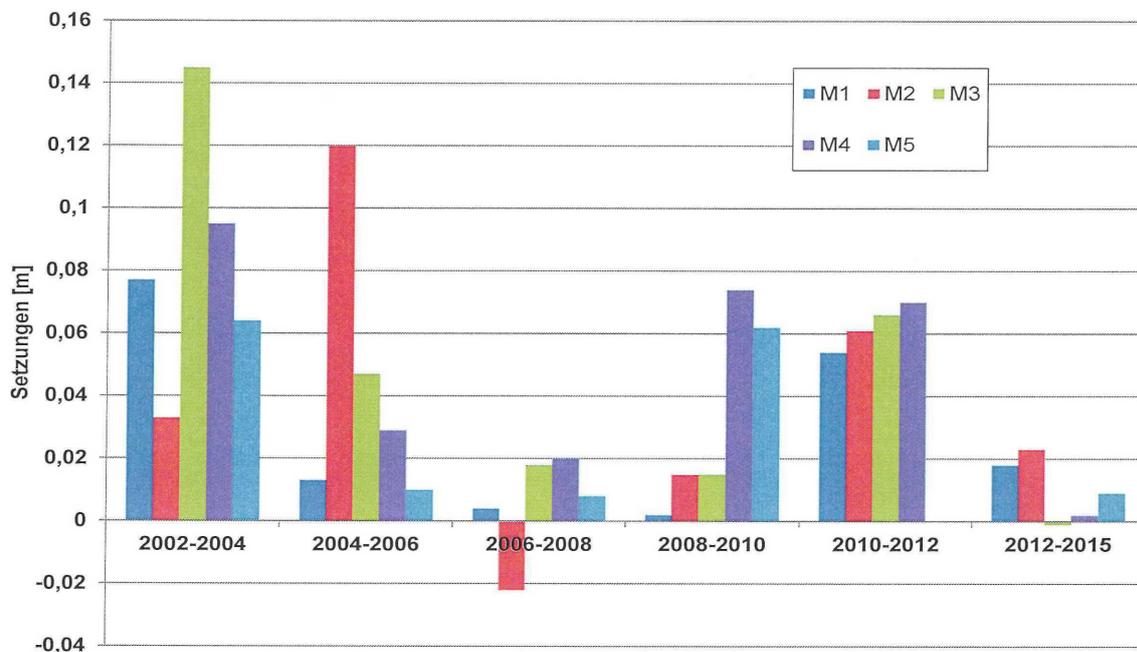


Abb. 2.7: Setzungen der Setzungspegel M1 – M5 im Zeitraum 2002 - 2015

Die Wahrscheinlichkeit, dass Schäden an den Dichtungskomponenten der vorhandenen Oberflächenabdichtungssysteme infolge ungleichmäßiger Setzungen bei einer in situ Belüftung auftreten, ist nach dem derzeitigen Kenntnisstand als gering zu bewerten. Beeinträchtigungen der Dichtungsdurchdringungen im Bereich der Kombibrunnen und des Sickerwasserentnahmebrunnens können jedoch nicht ausgeschlossen werden. Sie würden allerdings im Rahmen des Überwachungsprogramm schnell erkannt werden und könnten zudem mit geringem technischem und finanziellem Aufwand korrigiert werden.

3 Potenzialanalyse

3.1 Abschätzung des Anteils an bioverfügbarer Organik und des Gasbildungspotenzial

Die Abschätzung des Anteils an bioverfügbarer Organik wird für die Deponie Eisenberg auf der Grundlage der in Kapitel 2 aufbereiteten verfügbaren Daten vorgenommen. Eine Abfallfeststoffprobenahme aus dem Deponiekörper war aufgrund der standortbezogenen Randbedingungen nicht möglich, da die Deponie bereits über ein endgültiges komplexes Oberflächenabdichtungssystem mit zwei Dichtungselementen und z.T. einer „sensibel“ zu behandelnden Wasserhaushaltsschicht verfügt. So erfolgt die Abschätzung des Gasbildungspotenzials auf der Grundlage der standortverfügbaren Daten unter besonderer Berücksichtigung der umfassenden Absaugversuche, die von der Fa. Grontmij GmbH im Auftrag der Kreisverwaltung Donnersbergkreis von Herbst 2014 bis Frühjahr 2015 durchgeführt wurden.

3.2 Bewertung des Emissionspotenzials

Die Bewertung des Emissionspotenzials erfolgt über die Ermittlung des Gasbildungspotenzials nach der First Order Decay Methode (IPCC Guidelines, 1996 und 2006). Wie erläutert, konnten aus standortbedingten Gründen keine Abfallfeststoffproben entnommen werden, daher bilden die abgelagerten Abfallmassen unter Berücksichtigung der Absaugversuche die Grundlage für eine standortbezogen belastbare Ermittlung des Gasbildungspotenzials nach der First Order Decay Methode.

Erläuterung und standortbezogene Anwendung des First Order Decay Modells

Grundlage des First Order Decay (FOD) Modells im Hinblick auf die Abschätzung von klimarelevanten Methanemissionen aus Siedlungsabfalldeponien bilden die IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories:

- IPCC, (1996 mit Aktualisierung) 2006: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5, Waste, Chapter 3 – Solid Waste Disposal

Die IPCC Guidelines bilden den Kernpunkt der Potenzialanalyse. Im Folgenden sollen daher kurz einige wesentliche Grundlagen des Volume 5, Chapter 3 – Solid Waste Disposal, aufgegriffen werden, um daraufhin die Methodik im Hinblick auf die Abschätzung der klimarelevanten Methanemissionen der Kreismülldeponie Eisenberg zu erläutern.

Die IPCC Methodik zur Abschätzung von Methanemissionen von Deponien basiert auf einem Ansatz 1. Ordnung, dem First Order Decay (FOD) Modell.

Es gibt drei Rangstufen („Tier 1 – Tier 3“), mit der die Qualität der Abschätzung eingeordnet wird. Die Voruntersuchungen wurden so durchgeführt, dass die höchste Rangstufe (Tier 3) erreicht wird, da standardisierte Defaultwerte durch die standort-spezifischen Ergebnisse ersetzt werden. Tier 3 basiert

- auf einer guten Qualität landesspezifischer (in diesem Fall entsprechend standortspezifischer) Daten z.B. zu den abgelagerten Abfallmengen (siehe dazu Angaben in Tabelle 3.1)
- auf der Anwendung des FOD-Ansatzes mit den deponiespezifisch abgeleiteten Schlüsselparametern (hier Abfallzusammensetzung gemäß Tabelle 2.1 sowie die Ergebnisse der umfangreichen Absaugversuche), die auf Messungen und daraus abgeleiteten Abschätzungen aufbauen

Tab. 3.1: Abgelagerte Abfallmengen auf der Kreismülldeponie Eisenberg 1968-1999 (s. Tab. 2.1)

Jahr der Ablagerung	Abfallmasse [Mg/a]	Jahr der Ablagerung	Abfallmasse [Mg/a]
1968	ca. 46.700	1987	ca. 46.700
1969	ca. 46.700	1988	ca. 46.700
1970	ca. 46.700	1989	80.506
1971	ca. 46.700	1990	64.778
1972	ca. 46.700	1991	59.278
1973	ca. 46.700	1992	36.128
1974	ca. 46.700	1993	23.546
1975	ca. 46.700	1994	23.238
1976	ca. 46.700	1995	18.620
1977	ca. 46.700	1996	9.018
1978	ca. 46.700	1997	10.786
1979	ca. 46.700	1998	11.623
1980	ca. 46.700	1999	2.919
1981	ca. 46.700		
1982	ca. 46.700		
1983	ca. 46.700		
1984	ca. 46.700		
1985	ca. 46.700		
1986	ca. 46.700		
GESAMT:		ca. 1,3 Mio. Mg	

*Annahme: Da keine Werte für den Zeitraum 1968-1988 vorliegen, wurden gleichbleibende Ablagemenge angenommen.

Die Methanemissionen eines Jahres infolge anaerober Abbauprozesse bei der Deponierung können nach Gleichung 3.1 abgeschätzt werden (IPCC, 2006, Kap. 3.2.1.1):

$$\text{CH}_4\text{-Emissionen} = (\sum \text{CH}_4 \text{ gebildet}_{x,T} - R_T) * (1 - \text{OX}_T) \quad (\text{Gl. 3.1})$$

mit:

CH₄-Emissionen emittiertes Methan im Jahr T [Mg oder Gg]

T Inventarjahr

x Abfallkategorie bzw. hier beprobter Deponiekörper

R_T gefasstes Methan im Jahr T [Mg oder Gg]

OX_T Oxidationsfaktor im Jahr T [-], zu wählen zwischen 0 und 0,1

Die Methanemission resultiert aus dem anaeroben Abbau der organischen bioverfügbaren Abfallbestandteile. Ein Teil des gebildeten Methans kann per Methanoxidation abgebaut werden.

Das Methanbildungspotenzial kann nach IPCC aus dem bioverfügbaren organischen Anteilen (DDOC_m bzw. C_{bio.}) abgeleitet werden. Für die Kreismülldeponie Eisenberg wurde dieser Anteil anhand des Restgasbildungspotentials, der iterativ unter Berücksichtigung der Gasprognoserechnung für die Kreismülldeponie Eisenberg ermittelt wurde, bestimmt. Das Methanbildungspotenzial L₀ steht nach dem IPCC-Ansatz mit dem bioverfügbaren organischen Kohlenstoffanteil in folgendem Verhältnis (Gleichung 3.2):

$$L_0 = \text{DDOC}_m * F * 16/12 \quad (\text{Gl. 3.2})$$

mit:

L ₀	Methanbildungspotenzial [Mg oder Gg CH ₄]
DDOC _m	Masse des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs [Mg oder Gg]
F	Methananteil im Deponiegas (Volumenanteil)
16/12	Verhältnis Molekulargewicht CH ₄ /C [-]

Die Abnahme der Masse des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs wird unter anaeroben Bedingungen in der Deponie nach einem Ansatz 1. Ordnung abgeschätzt (Gleichung 3.3):

$$\text{DDOC}_m = \text{DDOC}_{m0} * e^{-k*t} \quad (\text{Gl. 3.3})$$

mit:

DDOC _m	Masse des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs, der unter anaeroben Bedingungen über die Zeit t abgebaut wird [Mg oder Gg]
DDOC _{m0}	Deponierte Ausgangsmasse des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs zur Zeit 0, wenn die Abbauprozesse beginnen [Mg oder Gg]
k	Abbaukonstante = ln2/H [1/a]
H	Halbwertszeit
t	Zeit [a]

Für die Abschätzung der langfristigen, klimarelevanten Methanemissionen der Kreismülldeponie Eisenberg bedeutet dies in der konkreten Umsetzung:

- Es mussten für die Parameter $DDOC_{m0}$, k , H keine unsicheren Default-Werte (die allgemein für die gesamte nördliche Hemisphäre und humide Klimazonen gelten und somit sehr unspezifisch sind) herangezogen werden, um das aktuelle $DDOC_m$ bzw. C_{bio} zu ermitteln. Dieses erfolgte unter Berücksichtigung der dokumentierten jährlichen Ablagerungsmengen und Abfallzusammensetzungen sowie von Referenzerfahrungen auf der Grundlage der standortbezogenen Gasprognose.
- Gemäß Merkblatt „Investive Klimaschutzmaßnahmen“, Hinweise zur Antragstellung, Fassung vom 22.06.2016 der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit ist in Kapitel 4 ausgeführt: *„Die Maßnahme muss ein Treibhausgasminderungspotenzial von mindestens 50 Prozent gegenüber einem Szenario mit klassischer Deponiegasfassung und -behandlung (entsprechend Anhang 5, Nr. 7 der Deponieverordnung) ausweisen. Dabei muss der gesamte Bilanzzeitraum bis zum vollständigen Rückgang der Methanbildung der Deponie betrachtet werden.“*

Für die Gasprognose wurden unter Berücksichtigung der jährlichen Mengen und jährlich veränderten Zusammensetzung der abgelagerten Abfälle (Tabelle 2.1) verschiedene typische Szenarien im Hinblick auf die Halbwertszeiten (6 Jahre und 8 Jahre) sowie die Gesamtgasbildungspotentiale ($80 \text{ m}^3/\text{MgTS}$ und $100 \text{ m}^3/\text{MgTS}$) angesetzt (Abbildung 3.1). Bei einer prognostizierten aktuellen Gasbildungsrate von $35\text{-}60 \text{ m}^3/\text{h}$ kann iterativ für den Startpunkt 2017 ein Restgasbildungspotenzial von $5 - 9 \text{ m}^3/\text{MgTS}$ (**Durchschnittswert: $7 \text{ m}^3/\text{MgTS}$**) ermittelt werden. Daraus lässt sich ein langfristig biologisch verfügbarer Kohlenstoffanteil von $2,6 - 4,8 \text{ kg } C_{bio}/\text{MgTS}$ ableiten.

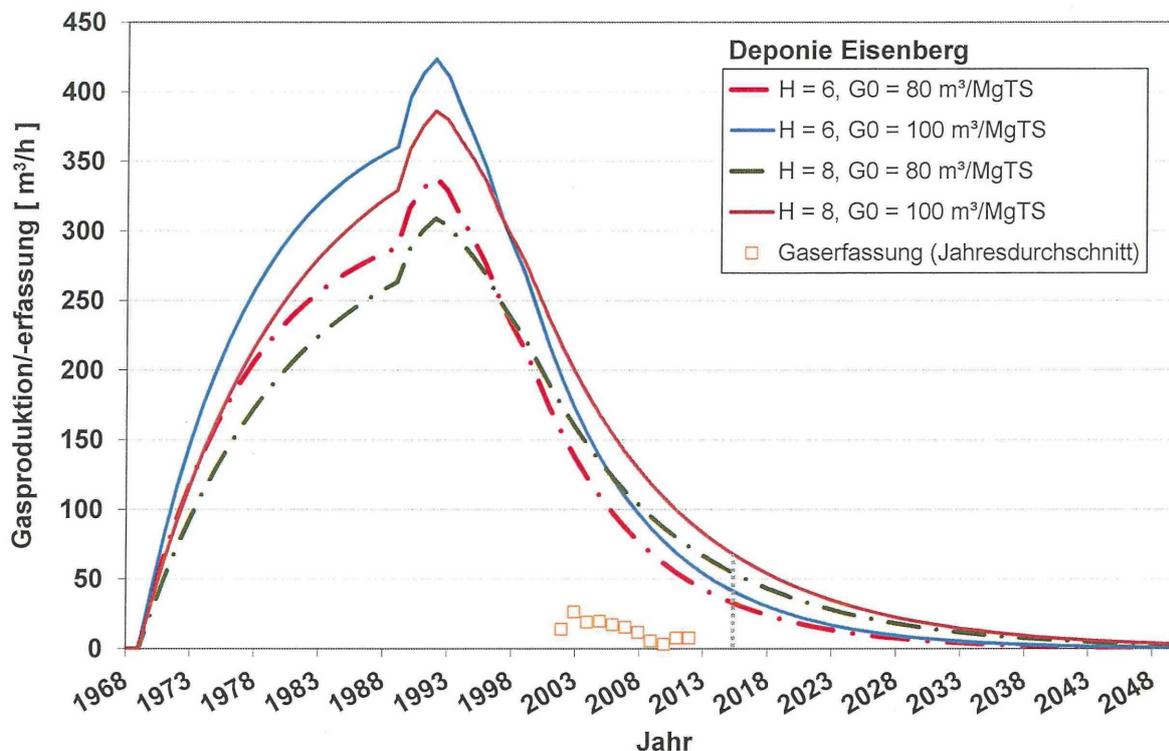


Abb. 3.1: Deponiegasproduktion, erfasste Gasproduktion (Jahresdurchschnittswerte) und Gasprognosen aufgrund der jährlich abgelagerten Abfallmengen und vermutlichen Abfallzusammensetzung

- Der langfristig biologisch verfügbare Kohlenstoffanteil C_{bio} pro Tonne Trockensubstanz (MgTS), wird im Mittelwert mit **3,7 kg C_{bio} /MgTS** angenommen. Dies berücksichtigt die Inhomogenität des Deponiekörpers hinsichtlich der abgelagerten Materialien und der Ablagerungsbedingungen.
- Damit wird u.a. die **zentrale Förderungsvoraussetzung** zur Investitionsförderung geprüft und nachgewiesen, dass der Deponiekörper in seiner Gesamtheit einen **bioverfügbaren organischen Kohlenstoffgehalt** von **maximal 12 kg/MgTS** aufweist (siehe dazu Merkblatt „Investive Klimaschutzmaßnahmen“, Hinweise zur Antragstellung, Fassung vom 22.06.2016 der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Kapitel 4).
- Der aus der Gasprognose abgeleitete bioverfügbare Kohlenstoffgehalt weist auf ein Restsetzungspotenzial in einer Größenordnung von 30 bis 50 cm hin. Dabei können sich punktuell je nach Ablagerungsmächtigkeit noch deutlich stärkere und ungleichmäßige Setzungen entwickeln.

Standortspezifische Werte der Kreismülldeponie Eisenberg*:

DDOC _m	=	3,7 kgC _{bio} /MgTS zu Beginn der Deponiebelüftung
F	=	0,5 (50% Methananteil im Deponiegas)
L ₀	=	2,5 kgCH ₄ /MgTS zu Beginn der Deponiebelüftung (Gl. 3.2)
OX _T	=	0,1 (Oxidationsfaktor gemäß IPCC-Vorgabe; Abschätzung zur sicheren Seite)
CH ₄ -Emissionen	=	2,25 kgCH ₄ /MgTS zum Beginn der Deponiebelüftung (Gl. 3.1 mit Bezug auf 1 Mg Abfall)

Gesamtabfallmasse mit organischen Anteilen:	1.300.000 Mg anrechenbare Feuchtmasse
Wassergehalt bei der Einlagerung:	ca. 25 %

Gesamtabfallmasse mit organischen Anteilen: ca. 890.000 Mg **Trockensubstanz**
(Massenverlust seit Beginn der Ablagerung (Ablagerungszeitraum: 1968-1999): 10%)

Die potenziellen CH₄-Emissionen des gesamten Deponiebereichs, der zur Deponiebelüftung vorgesehen ist, betragen für die Deponie Eisenberg folglich:

CH ₄ -Emissionen _{ges.}	=	2,25 kgCH ₄ /MgTS * 890.000 MgTS (Gl. 3.1)
CH ₄ -Emissionen _{ges.}	=	2.000 MgCH ₄ (Gl. 3.1 mit Bezug auf Gesamtabfallmasse)*

Das „Global Warming Potential“ (GWP) beträgt für Methan als Standardwert 28 (IPCC, 2014).

Die Methanemissionen der Kreismülldeponie Eisenberg über den gesamten Bilanzzeitraum betragen ausgedrückt als Kohlenstoffdioxidäquivalente CO_{2eq.} folglich

$$2.000 \text{ MgCH}_4 * 28 = 56.000 \text{ MgCO}_{2\text{eq.}} *$$

Der aktuelle theoretisch mögliche Gaserfassungsgrad auf der Kreismülldeponie Eisenberg kann unter Berücksichtigung des Rohgasmethangehaltes im Mischgas (2012) von etwa 35 Vol.-% auf 10 – 16 % abgeschätzt werden, wie es der Vergleich

der bisher erfassten Gasproduktionsrate¹ mit einer Gasprognoserechnung nach dem IPCC Ansatz zeigt (Abbildung 3.1). Der verhältnismäßig geringe luftatmosphärische Einfluss (geringe Sauerstoffgehalte im Rohgasstrom) lässt sich durch die Aufbringung der Oberflächenabdichtung erklären. Gemäß den Angaben des Umweltbundesamts und des Statistischen Bundesamts wird der durchschnittliche Gaserfassungsgrad für alle deutschen Siedlungsabfalldeponien lediglich im Bereich von 24% eingestuft (Nationaler Inventarbericht Deutschland 2014, Umweltbundesamt).

Eine Steigerung des Gaserfassungsgrades wäre am Standort Eisenberg nur durch eine angepasste Gasbehandlungstechnik bzw. Betriebsweise möglich. Es ist grundsätzlich bei der Auswahl einer geeigneten Anlagentechnik zur thermischen Gasbehandlung zu beachten, dass die herkömmlichen Verfahren zur Deponiegasverwertung technisch bedingt nicht mehr betrieben werden können. Anlagen zur Verbrennung von Deponiegas mit geringen Methangehalten können technisch bedingt nur über einen befristeten Zeitraum betrieben werden, aber nicht über 25 – 30 Jahre, solange die Deponieschwachgasproduktion der Deponie Eisenberg noch in emissions- und klimarelevanter Größenordnung anhalten kann. Der Einsatz einer Schwachgasfackel für diesen Übergangszeitraum ist als Möglichkeit der Gasverbrennung möglich und sinnvoll. Mit weiter abnehmenden Methangehalten können nur noch spezielle Verfahren zur Oxidation des Methans angewandt werden.

Das bedeutet im Sinne des **Vergleichsszenarios** mit klassischer Deponiegasfassung und Behandlung, dass von den Methanemissionen nur etwa 25 % (50 % Erfassungsgrad über max. 50% aktive Schwachgasbehandlungsdauer bezogen auf den gesamten Emissionszeitraum) erfasst und behandelt werden könnten:

$$\Rightarrow 56.000 \text{ MgCO}_{2\text{eq.}}^* \times 0,75 = \mathbf{42.000 \text{ MgCO}_{2\text{eq.}}}$$

als verbleibende **klimarelevante** langfristige **Methanemissionen** bei klassischer Deponiegasfassung und Behandlung.

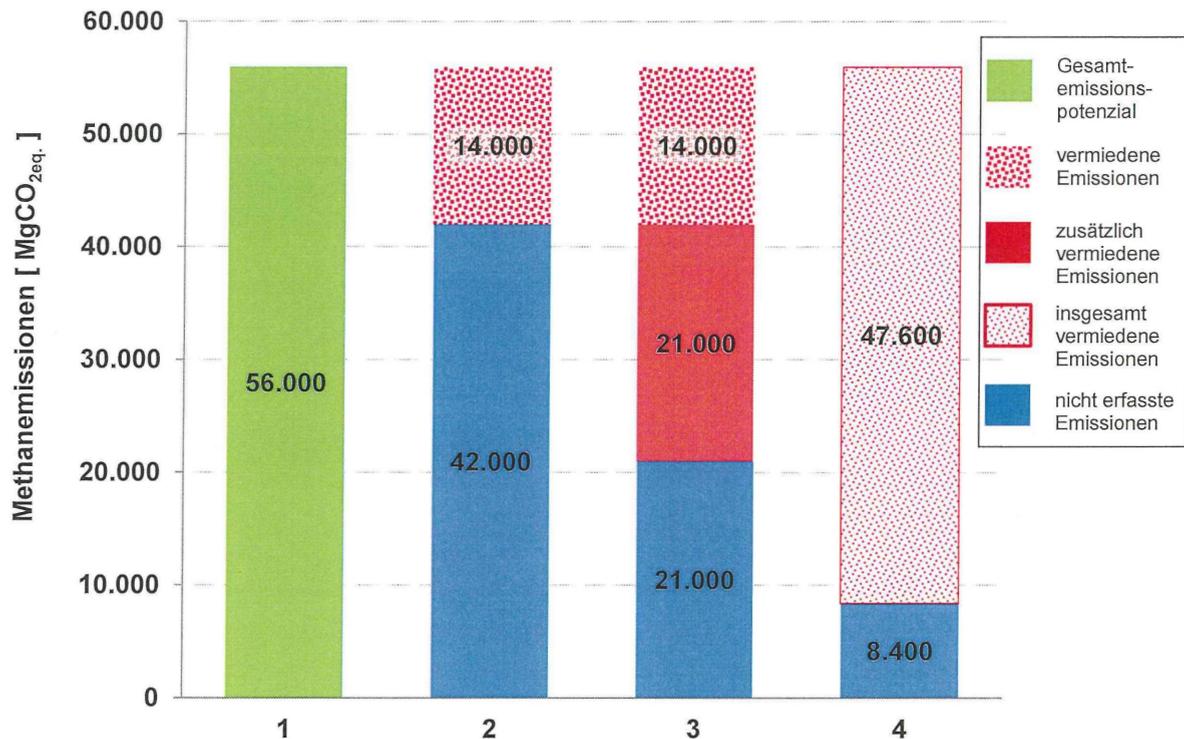
¹ Dabei wurde der mittlere Methangehalt im erfassten Rohgasstrom im Jahr 2012 berücksichtigt.

Als **Zielwert der Deponiebelüftung** leitet sich daraus folglich ab, dass davon mindestens 50% oder **21.000 MgCO_{2eq.}** infolge der Deponiebelüftung beschleunigt und kontrolliert reduziert werden.

Erfahrungen bei der **Deponiebelüftung** mit der Niederdruckbelüftung wie im BMBF-Vorhaben „Deponiebelüftung der Altdeponie Kuhstedt“ und an weiteren Deponien haben gezeigt, dass sogar **80 – 90% der klimarelevanten Methanemissionen** (Gesamtmethanemissionspotenzial: 56.000 MgCO_{2eq.}) infolge einer aktiven Deponiebelüftung **vermeidbar** wären, d.h. **ca. 45.000 – ca. 50.000 MgCO_{2eq.}**, da

- der biologische Kohlenstoffumsatz in der aktiven Belüftungsphase
 - der Erfassungsgrad im ertüchtigten Gasfassungssystem und
 - die Restmethanbeseitigung in der Abluftbehandlungsstufe
- auf nahezu 100% gesteigert werden.

In Abbildung 3.2 sind die aufsummierten Emissionen und Emissionsminderungen als Balkendiagramme dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die erzielbaren Emissionsminderungen infolge einer Belüftungsmaßnahme in Szenario 3 mindestens der Anforderung der NKI-Klimaschutzinitiative entsprechen (**50% zusätzliche Emissionsminderung im Vergleich zum Referenzszenario**). Eine deutliche Steigerung wäre nur durch eine aktive Belüftungsmaßnahme erreichbar (Szenario 4).



- 1) Gesamtemissionspotenzial der Kreismülldeponie Eisenberg ab 2017
- 2) Vergleichsszenario mit „klassischer“ Gaserfassung und Beseitigung
- 3) Szenario Deponiebelüftung mit Vermeidung von mindestens 50% der Methanemissionen bezogen auf das Vergleichsszenario
- 4) Szenario aktive Deponiebelüftung mit möglicher Vermeidung von ca. 85% der Methanemissionen bezogen auf das Gesamtemissionspotenzial (Referenzerfahrungen belüfteter Deponien mit der Niederdruckbelüftung)

Abb. 3.2: Potenziale der Treibhausgas-Emissionsminderung auf der Deponie Eisenberg bei der aeroben in situ Stabilisierung und einem Referenzszenario*

Die o.g. Förderungsvoraussetzung hinsichtlich der geforderten Emissionsreduzierung um mindestens 50% wird damit erfüllt. Um den Reduktionsgrad durch eine kontrollierte Übersaugungsmaßnahme erreichen zu können, wurde als Annahme zur sicheren Seite von ca. 12 - 15 Jahren Behandlungsdauer ausgegangen.

Für die Prognosen und quantitativen Abschätzungen wird ein Unsicherheitsbereich von $\pm 20\%$ ausgewiesen.

3.3 Optimierungspotenziale der bestehenden technischen Einrichtungen

Hinsichtlich der Optimierungspotenziale der bestehenden technischen Einrichtungen wurden auch unter dem Aspekt der zukünftigen Verbesserung des Gasemissionsverhaltens und zur Entwicklung eines standortbezogen angepassten Deponiebelüftungsverfahrens im Zeitraum Herbst 2014 bis Frühjahr 2015 von der Fa. Grontmij GmbH – heute Sweco GmbH (Büro Mainz) umfangreiche Absaugversuche zur aeroben in situ Stabilisierung auf der Deponie Eisenberg durchgeführt.

Damit sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- Ist es technisch möglich, über die bestehenden und ggf. zu ergänzende neue Gasbrunnen den gesamten Deponiekörper zu entgasen?
- Ist es technisch möglich, über die bestehenden und ggf. zu ergänzende neue Gasbrunnen durch kontrollierte Absaugung ausreichend Luftsauerstoff in den Deponiekörper einzubringen?
- Welche Verfahrenstechnik bzw. welche technischen Spezifikationen ergeben sich für ein standortbezogen geeignetes Verfahren?

Die Voruntersuchungen zur Beantwortung dieser Fragen führen anschließend zur standortbezogenen Planung und Dimensionierung der technischen Einrichtungen, der betrieblichen Vorgaben sowie der vorläufigen Kostenermittlung (nicht Gegenstand der Potenzialanalyse).

3.3.1 Untersuchungsprogramm und Absaugversuche

Zur Bestimmung des Gasbildungspotenzials wurden entsprechend von September 2014 bis März 2015 auf der Deponie Eisenberg umfangreiche Untersuchungen durchgeführt:

- Dreiwöchiges Messprogramm zur Bestimmung der Gaszusammensetzung an den Gasbrunnen unter „passiven“ Bedingungen (d.h. in dieser Phase erfolgte keine aktive Gasabsaugung)

- 24wöchige Absaugversuche zur Bestimmung der Veränderung des Gashaushalts. Dabei erfolgte eine Gasabsaugung am Gaserfassungssystem bei 70 Nm³/h im Dauerbetrieb, wobei einzelne Gasbrunnen, die nur geringe Methangehalte zeigten, zeitlich begrenzt abgesperrt wurden (d.h. nicht besaugt wurden). Im Rahmen der Absaugversuche wurden neben den meteorologischen Daten folgende Parameter arbeitstäglich dreimal aufgenommen: Volumenstrom, Gaszusammensetzung (CH₄, CO₂, O₂), Gasdruck, Gastemperatur an der Absauganlage sowie monatliche Messung der Gaszusammensetzung an den Gasbrunnen.

3.3.2 Durchführung der Absaugversuche

Die halbjährigen Absaugversuche von September 2014 bis März 2015 sind in unterschiedliche Messreihen 1 - 5 eingeteilt. Dabei ist die Messreihe 1 ein 3-wöchiges Messprogramm zur Bestimmung der Gaszusammensetzung an den Gasbrunnen unter „passiven“ Bedingungen zu Beginn des Versuchs. Die Messreihen 2 – 5 stellen den anschließend stattfindenden 24wöchigen Absaugversuch zur Bestimmung der Veränderung des Gashaushalts dar. Die Durchführung der Deponiegasmessungen erfolgte dabei in Anlehnung an die technischen Regeln für einen sog. Absaugversuch. Dies geschah mit der Annahme, dass auch in Zukunft Deponiegas über Gasbrunnensysteme erfasst und zu einer zentralen Deponiegas-Behandlungsanlage geführt werden wird.

Die Lage der zur Absaugung verwendeten Kombibrunnen kann Abbildung 2.2 entnommen werden. Wie sich im Verlauf der Messreihen herausstellte, zeigten sich an einigen Gasbrunnenköpfen undichte Flanschverbindungen. Eine Sanierung wurde für die Zeit nach der Messkampagne geplant.

3.3.3 Messtechnische Einrichtung und Messparameter

Es wurden vorrangig die an einer Entgasungsanlage bestehenden und kontinuierlich messenden Messeinrichtungen benutzt. So wurden folgende Parameter im Rahmen der Einzelbrunnenmessungen erfasst:

- Gaskomponenten CH₄, CO₂ und O₂ (N₂ wird errechnet)
- Stellung der Absperrarmatur am Brunnenkopf

zusätzlich:

- Volumenstrom
- Gaskomponenten CH₄, CO₂ und O₂ (N₂ wird errechnet)
- Gasdruck
- Gastemperatur
- Anlagenschaltung bzw. Stellung Absperrarmatur am Brunnenkopf

und zur Beurteilung externer (äußerer) Faktoren:

- Lufttemperatur
- Luftdruck
- Niederschlagsmenge
- z.T.. Windverhältnisse

3.3.4 Ergebnisse der Absaugversuche

Auswertung der Messreihe 1

Bei Betrachtung der Messreihe 1 ist auffällig, dass die Methangehalte über den Untersuchungszeitraum von 3 Wochen leicht schwankten und tendenziell ein Anstieg der Methangehalte zu erkennen ist. Zudem weisen die Methangehalte der Brunnen 1.3, 1.4, 1.5, 2.5, 3.3 und 3.5 zu Beginn eine deutlich niedrigere Methankonzentration als die anderen Brunnen auf. Dieses könnte mit der Lage der Brunnen in den Randbereichen zusammenhängen. Jedoch sind im Zuge der Messreihe 1 die Methankonzentrationen dieser Brunnen angestiegen, sodass ein durchschnittlicher Wert von > 40 Vol.-% gemittelt über alle Brunnen erreicht wurde (Abbildung 3.3).

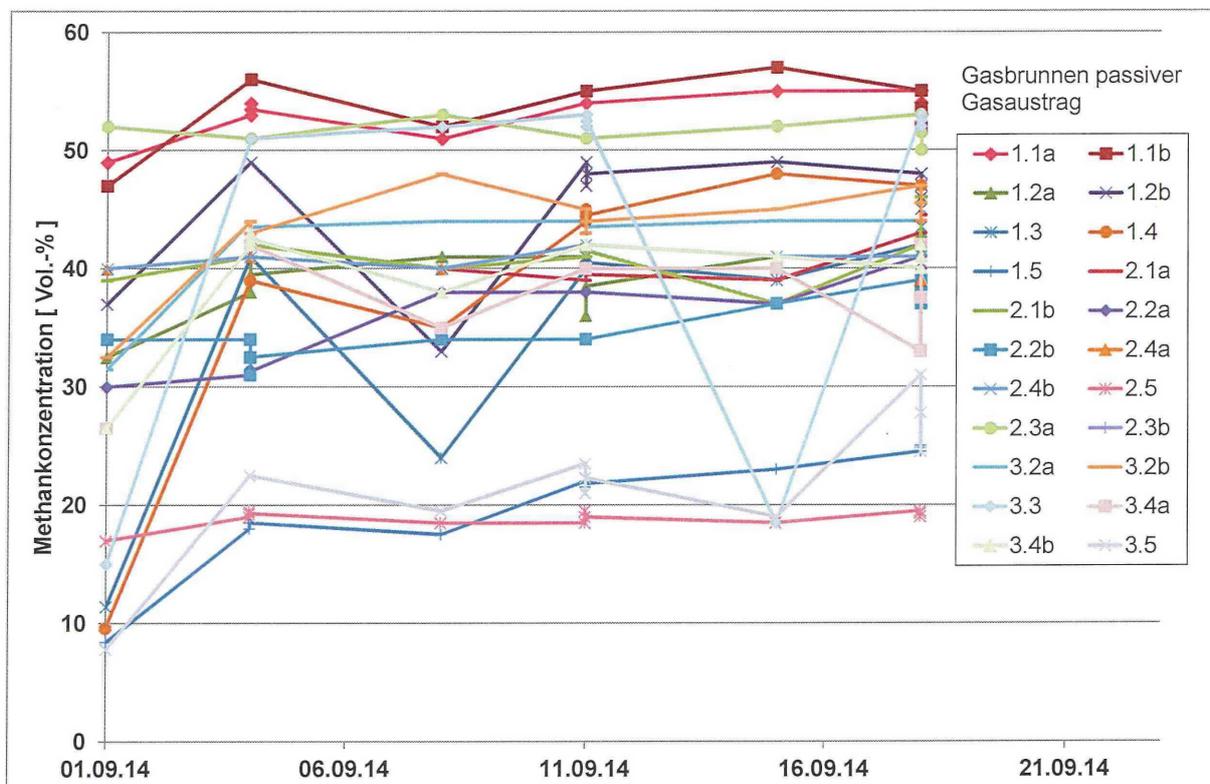


Abb. 3.3: Methankonzentrationen der Gasbrunnen während der Messreihe 1

Auswertung der Messreihe 2 - 5

Im Zuge der Messreihen 2 - 5 lässt sich bei einer Absaug- bzw. Übersaugungsrate von 70 Nm³/h eine deutliche Abnahme der Methankonzentrationen erkennen. So wurden als Folge der starken Methanabnahme (< 12 Vol.-% CH₄) die Brunnen 1.5, 2.2a, 2.2b, 2.5 und 3.5 noch im November 2014 von der aktiven Entgasung abgesperrt (Abbildung 3.4, Abbildung 3.5). Auch im Februar 2015 erfolgte aus gleichem Grund ein Absperren für die Brunnen 1.2b, 1.4, 2.4a und 3.3. Gleichzeitig sind im Zuge der Absaugung vor allem im Februar 2015 niedrige Methankonzentrationen bei den noch verbliebenen Brunnen ermittelt worden, ehe sie im März wieder anstiegen, wie dies am Kurvenverlauf z.B. für Brunnen 1.3 zu sehen ist (Abbildung 3.6).

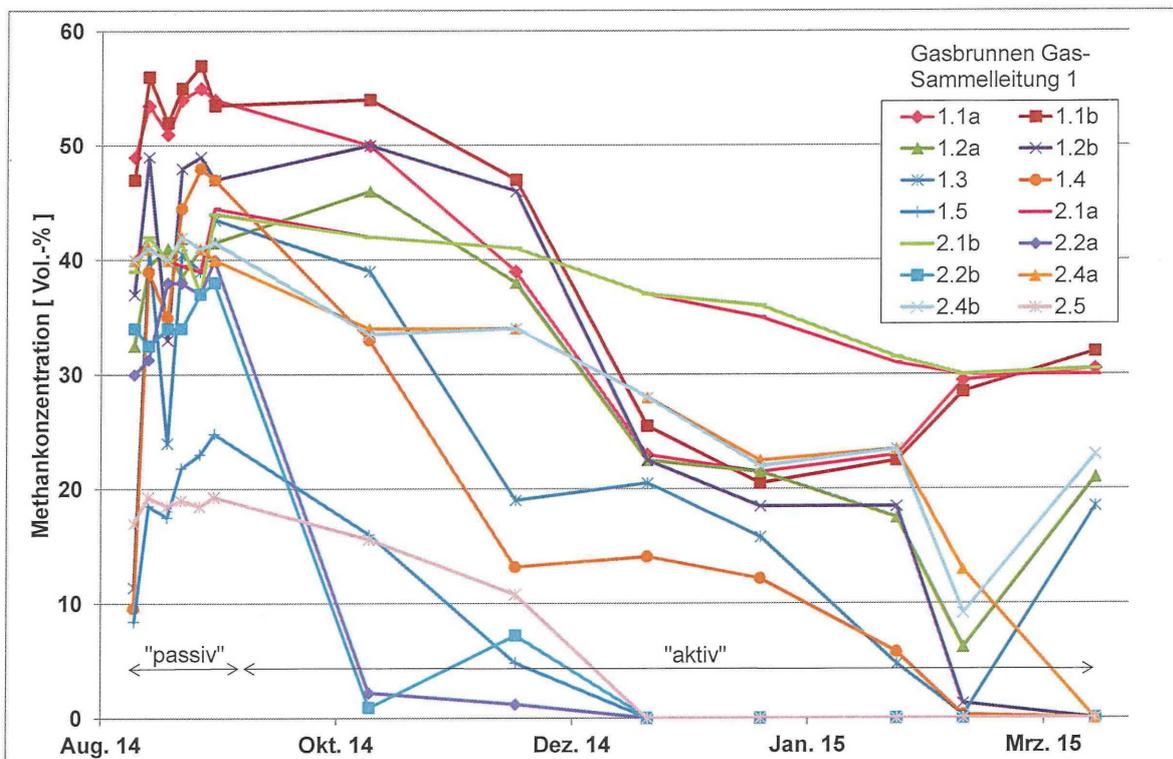


Abb. 3.4: Verlauf der Konzentrationen des Gasbrunnens der Gassammelleitung 1 über die Messreihe 1 – 5

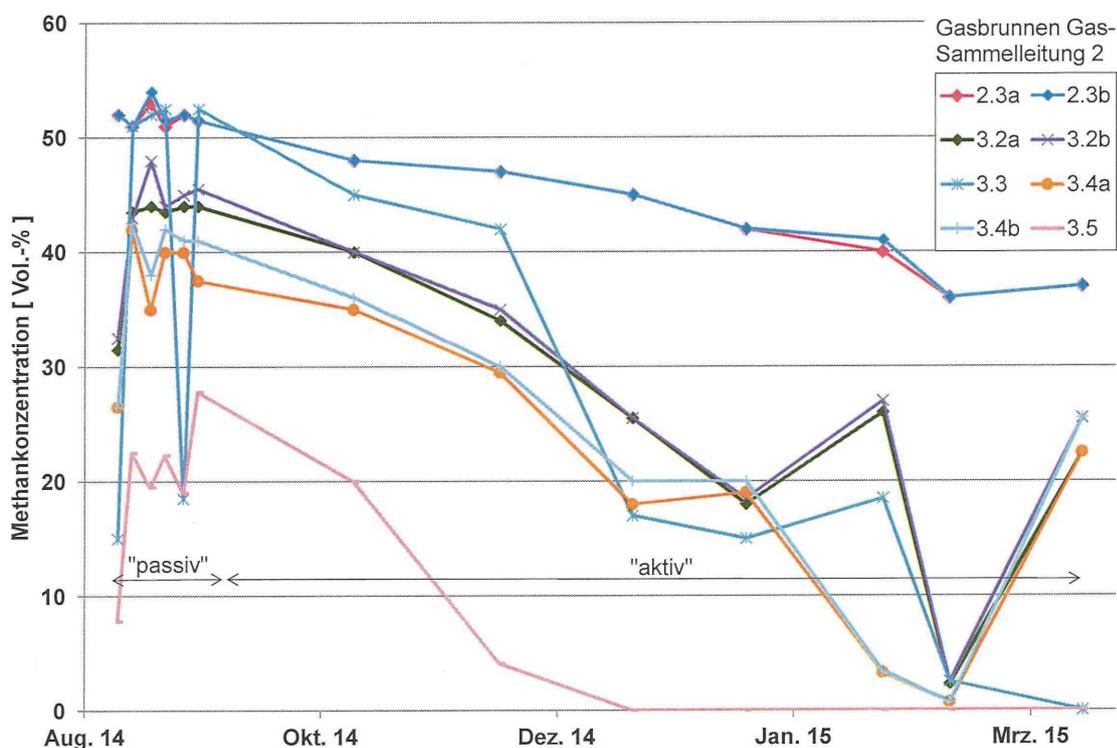


Abb.3.5: Verlauf der Konzentrationen des Gasbrunnens der Gassammelleitung 2 über die Messreihe 1 – 5

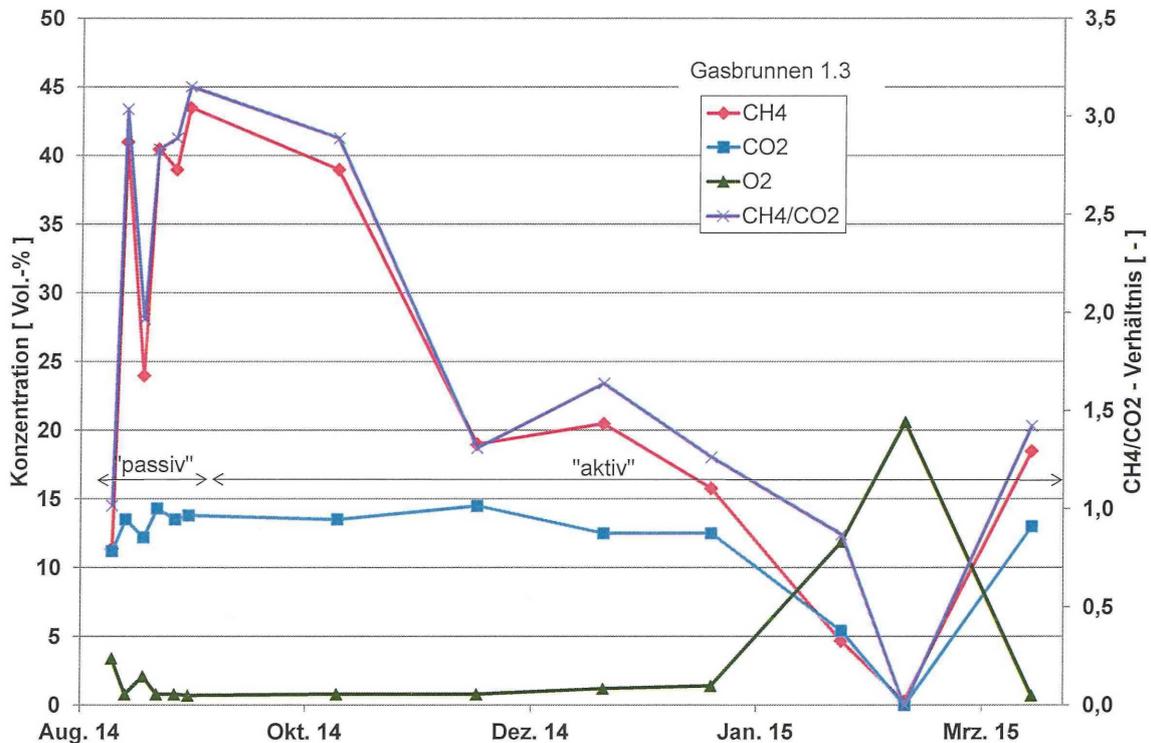


Abb.3.6: Verlauf der Konzentrationen des Gasbrunnens 1.3 über die Messreihe 1 – 5

Eine Berechnung der Durchschnittswerte für alle Einzelbrunnen über die Messreihen 1 - 5 zeigt eine kontinuierliche Abnahme der Methan- (von 42 Vol.-% bis 13 Vol.-%), Kohlendioxid- (von 10 Vol.-% bis 4,5 Vol.-%) und einen Anstieg der Sauerstoffkonzentrationen (von 0,5 Vol.-% bis 10,2 Vol.-%). Im Februar 2015 fielen die Methan- und Kohlendioxidkonzentrationen stark ab und es wurden luftatmosphärische Verhältnisse gemessen. Anschließend stiegen die Methan- und Kohlendioxidkonzentrationen wieder auf das ursprüngliche Niveau an und der Sauerstoffgehalt sank in den Bereich der Nachweisgrenze (Abbildungen 3.4-3.6). Diese „Unregelmäßigkeit“ wird von der Fa. Grontmij GmbH durch die zu dem Zeitpunkt vorherrschenden schlechten Witterungsbedingungen, welche sich ungünstig auf den Messvorgang auswirkten, erklärt. Zudem erfolgte im März 2015 auch eine Abnahme des Luftdrucks und ein Anstieg der Lufttemperatur. Diese Faktoren können im März zu dem erneuten Anstieg der Methankonzentrationen geführt haben.

Unkontrollierte Gasemissionen während der Absaugphase

Im Mai 2014 wurden Untersuchungen mittels FID (Flammen-Ionisations-Detektor) durchgeführt. Dabei wurden z.T. erhöhte Deponiegasaustritte an der Oberfläche der

Wasserhaushaltsschicht festgestellt. Diese Austritte waren im Bereich der drei Gasbrunnen 2.3, 2.4 (jeweils 10.000 ppm) und 2.1 (500 ppm) festgestellt worden. Eine FID–Untersuchung während der Absaugphase im November 2014 zeigte keine Deponiegasaustritte im Oberflächenbereich.

3.3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Vorversuchen

Die Untersuchungen der Fa. Grontmij GmbH – heute Sweco GmbH - von September 2014 bis März 2015 zeigen, dass eine Stabilisierung durch die in situ Belüftung zur Verbesserung des Emissionsverhaltens geeignet und grundsätzlich technisch durchführbar ist, wenn eine Ertüchtigung des Gaserfassungssystems vorgenommen wird. Eine Aerobisierung der Deponie trägt insbesondere zur beschleunigten wie nachhaltigen Reduzierung von klimarelevanten Methanemissionen bei.

Einige Gasbrunnen (1.1a, 1.1b, 2.1a, 2.2b, 2.3a, 2.3b) wiesen auch nach den halbjährigen Absaug-/Übersaugungsversuchen noch Methankonzentrationen von über 30 Vol.-% auf. Dies bestätigt, dass noch signifikante biologische Aktivität im Deponiekörper vorhanden ist und eine Umstellung auf eine passive Entgasung nicht empfohlen werden kann. Die Gasproduktion und die Methangehalte im Deponiegas sind mittlerweile soweit rückläufig, dass ein Regelbetrieb der Gasbehandlung mit der bestehenden Gasfackel unter wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten schwierig bzw. nicht mehr möglich ist.

Eine Erfassung und weitere Behandlung des Deponieschwachgases mit herkömmlichen Schwachgasbehandlungsanlagen ist für eine befristete Übergangsphase möglich. Diese Verfahren bieten jedoch nicht die Möglichkeit des beschleunigten Kohlenstoffabbaus im Deponiekörper, was mit der aktiven Deponiebelüftung und gezielter Sauerstoffversorgung erreicht werden kann.

Sowohl die Niederdruckbelüftung als auch die Passivbelüftung durch kontrollierte Übersaugung stellen sich aufgrund der Vorversuche für die Deponie Eisenberg als grundsätzlich einsetzbar heraus. Folgende standortspezifischen Randbedingungen sind für dieses Verfahren zu berücksichtigen:

- Bestehende und ggf. auch neue Einrichtungen zur Belüftung und Abluftfassung wären an die erforderliche Belüftungsleistung und die unterschiedlichen Bedingungen des Deponiekörpers hinsichtlich der Gaswegigkeit anzupassen, um einen optimierten Stabilisierungsbetrieb zu gewährleisten.
- Die vorhandenen Gasbrunnenköpfe müssen den Anforderungen entsprechend umgebaut und für den weiteren Betrieb modifiziert werden.
- Gasleitungen und insbesondere die Anschlüsse an den Gasbrunnen sind gesondert zu überprüfen, zu ertüchtigen bzw. zu erneuern.
- Die aktuelle Gasproduktion der Gesamtdeponie legt in naher Zukunft eine Inbetriebnahme der aeroben in situ Stabilisierung nahe.
- Das Schwachgas bzw. die Abluft im Stabilisierungsbetrieb sollte mit einer an die Abluftbeschaffenheit angepassten thermischen Behandlungsanlage gereinigt werden, um insbesondere dem Aspekt des Klimaschutzes (Vermeidung unkontrollierter und langanhaltender Methanemissionen in die Atmosphäre) gerecht zu werden.

4 Maßnahmenkatalog und Angaben zur technischen Umsetzung der in situ Stabilisierung

4.1 Beschreibung des gewählten Verfahrens – Passivbelüftung durch kontrollierte Übersaugung

Die Voruntersuchungen haben gezeigt, dass die Deponiebelüftung zur biologischen Stabilisierung der Deponie Eisenberg geeignet ist. Die biologische Umsetzung der noch verfügbaren organischen Substanz soll beschleunigt werden, um den Deponiekörper in einen emissionsarmen Zustand zu überführen und die langfristige Restgasproduktion beschleunigt vorwegzunehmen. Diese Maßnahme kann das Emissionsverhalten der Deponie Eisenberg nachhaltig positiv beeinflussen.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse zeichnen sich eine kontrollierte Übersaugung und eine Niederdruckbelüftung als geeignete Verfahren ab. Beide Verfahren bieten im Vergleich zu anderen Verfahren den Vorteil, dass die bestehenden Gasbrunnen weiter genutzt werden können.

Die Niederdruckbelüftung wurde an der TU Hamburg-Harburg wissenschaftlich entwickelt und wird seit etwa 15 Jahren auf mehreren Deponien erfolgreich eingesetzt, u.a.:

- Altdeponie Kuhstedt, Landkreis Rotenburg (Wümme) - Niedersachsen
- Altablagerung Amberg-Neumühle – Bayern
- Deponie Milmersdorf, Landkreis Uckermark – Brandenburg
- Deponie Dörentrup, Kreis Lippe, Nordrhein-Westfalen
- Deponie Süplingen, Landkreis Helmstedt – Niedersachsen
- Übergangsdeponie Schwalbach – Griesborn; Saarbrücken, Saarland
- Deponie Halberbracht, Kreis Olpe – Nordrhein-Westfalen
- Deponie Bornum, Landkreis Wolfenbüttel – Niedersachsen mit NKI-Investitionsförderung
- Deponie Dibbersen, Landkreis Harburg – Niedersachsen mit NKI-Investitionsförderung (in der Bauphase)

Langjährige Erfahrungen liegen auch mit dem Verfahren der Passivbelüftung durch kontrollierte Übersaugung von Altablagerungen vor, z.B.:

- Altablagerung S3 bei Schenefeld, Kreis Pinneberg – Schleswig-Holstein
- Altablagerung Stemwarde II, Kreis Stormarn – Schleswig-Holstein

Mehrere der o.g. Stabilisierungsmaßnahmen wurden mit öffentlichen Mitteln gefördert. Daher wurde die Niederdruckbelüftung jeweils wissenschaftlich, technisch und finanziell intensiv geprüft, bevor das Verfahren zum Einsatz gebracht wurde. Die Maßnahmen sind bei den drei erstgenannten Standorten mittlerweile erfolgreich abgeschlossen worden, wobei der Behandlungserfolg u.a. für die Deponie Milmersdorf vom Landesumweltamt Brandenburg als Genehmigungs- und Überwachungsbehörde attestiert wurde. Aufgrund der wissenschaftlichen Ergebnisse im Zuge der Deponiebelüftung der Altdeponie Kuhstedt (BMBF-Vorhaben durchgeführt von der TU Hamburg-Harburg und IFAS Hamburg) wurde das Verfahren 2009 in die Deponieverordnung (DepV) aufgenommen.

Grundprinzip der aeroben in situ Stabilisierung mit der Niederdruckbelüftung

Das Grundprinzip der Belüftung und Ablufferfassung ist in Abbildung 4.1 dargestellt. Bei der in situ Belüftung wird Luft über Gasbrunnen in den Deponiekörper eingeblasen. Von dort dringt die Luft bzw. der Luftsauerstoff über Konvektions- und Diffusionsvorgänge in die oberen, mittleren und unteren Deponiebereiche ein. In Abhängigkeit der Belüftungsrate und -dauer wird somit eine Aerobisierung und allmähliche Stabilisierung des Deponiekörpers bewirkt. Durch die gezielte Sauerstoffzuführung wird zum einen die organische Substanz in Kohlendioxid und Wasser umgewandelt und zum anderen der Aufbau huminstoffähnlicher, stabiler Verbindungen gefördert (vergleichbar mit der kontrollierten Kompostierung).

Über das Gaserfassungssystem wird die Abluft erfasst und behandelt. Zur Abluftbehandlung können bei erhöhten Methangehalten zu Beginn der Stabilisierung autotherme Hochtemperatur-Oxidationsverfahren (z.B. Schwachgasfackeln, Flox-Brenner oder RTO-Anlagen) eingesetzt werden.

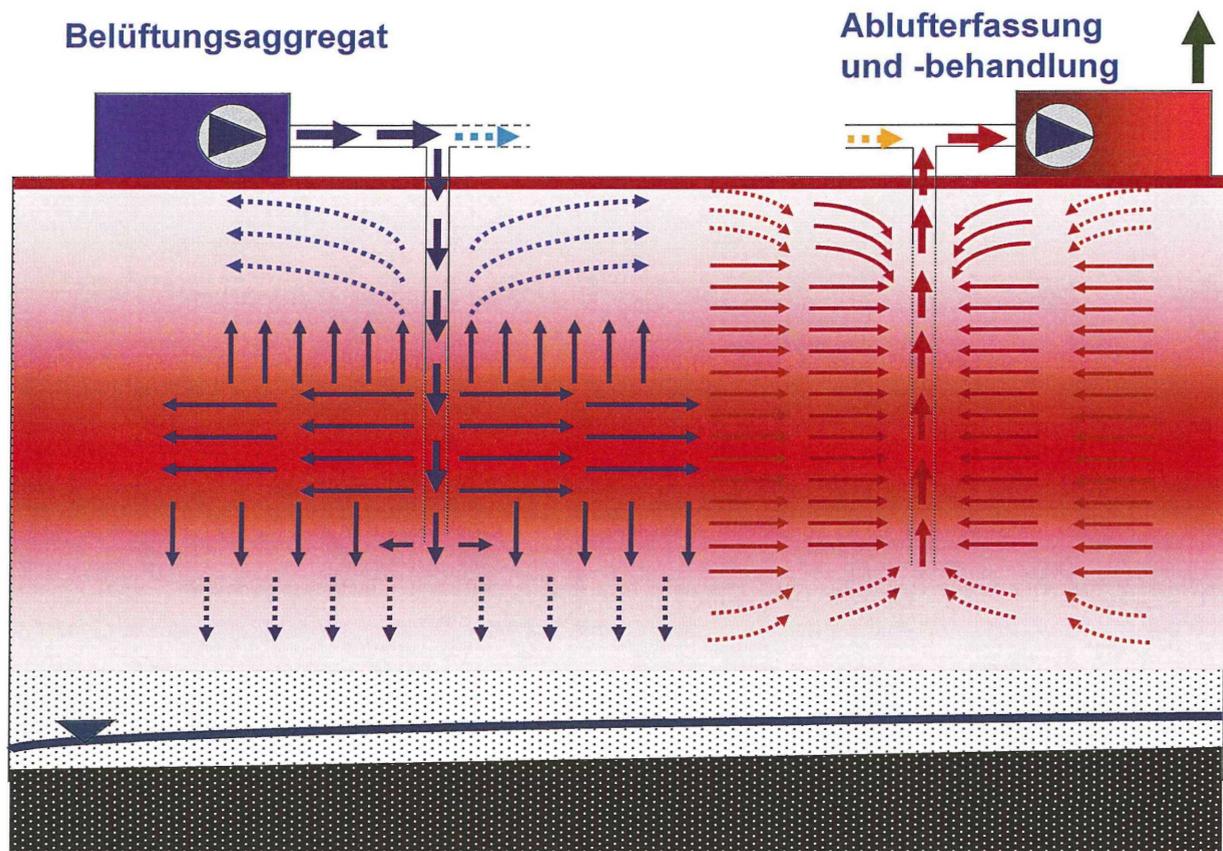


Abb. 4.1: Grundkonzept der in situ Stabilisierung durch aktive Belüftung (Q: IFAS, Hamburg)

Grundprinzip der aeroben in situ Stabilisierung mit Passivbelüftung durch kontrollierte Übersaugung

Bei dem Verfahren der Passivbelüftung mit kontrollierter Übersaugung wird auf die aktive Luftzufuhr verzichtet. Stattdessen werden bestehende Gasbrunnen zu temporären Passivbelüftungsbrunnen umgerüstet oder/und ergänzende Passivbelüftungspegel bzw. -brunnen in den Deponiekörper gebracht. Der Lufteintrag in den Deponiekörper erfolgt hier über die Passivbelüftungseinrichtungen durch Anlegen eines Unterdruckes am Entgasungssystem (s. Abbildung 4.2), d.h. an den bestehenden bzw. ggf. zu ergänzenden Gasbrunnen. Ein Lufteintrag über die Oberfläche des Deponiekörpers ist nicht vorgesehen, da bereits ein Oberflächenabdichtungssystem aufgebracht worden ist. Die Luft kann über Konvektions- und Diffusionsvorgänge in den oberen und mittleren Deponiebereich eindringen. In Abhängigkeit der Ablufferfassungsvolumina und der Dauer des Stabilisierungsbetriebes wird somit eine Aerobisierung und allmähliche Stabilisierung des Deponiekörpers bewirkt und

vor allem die Gefahr unkontrollierter Deponiegas- bzw. Methanemissionen nachhaltig reduziert. Die Abluftbehandlung erfolgt in gleicherweise, wie dieses für die Niederdruckbelüftung beschrieben wurde.

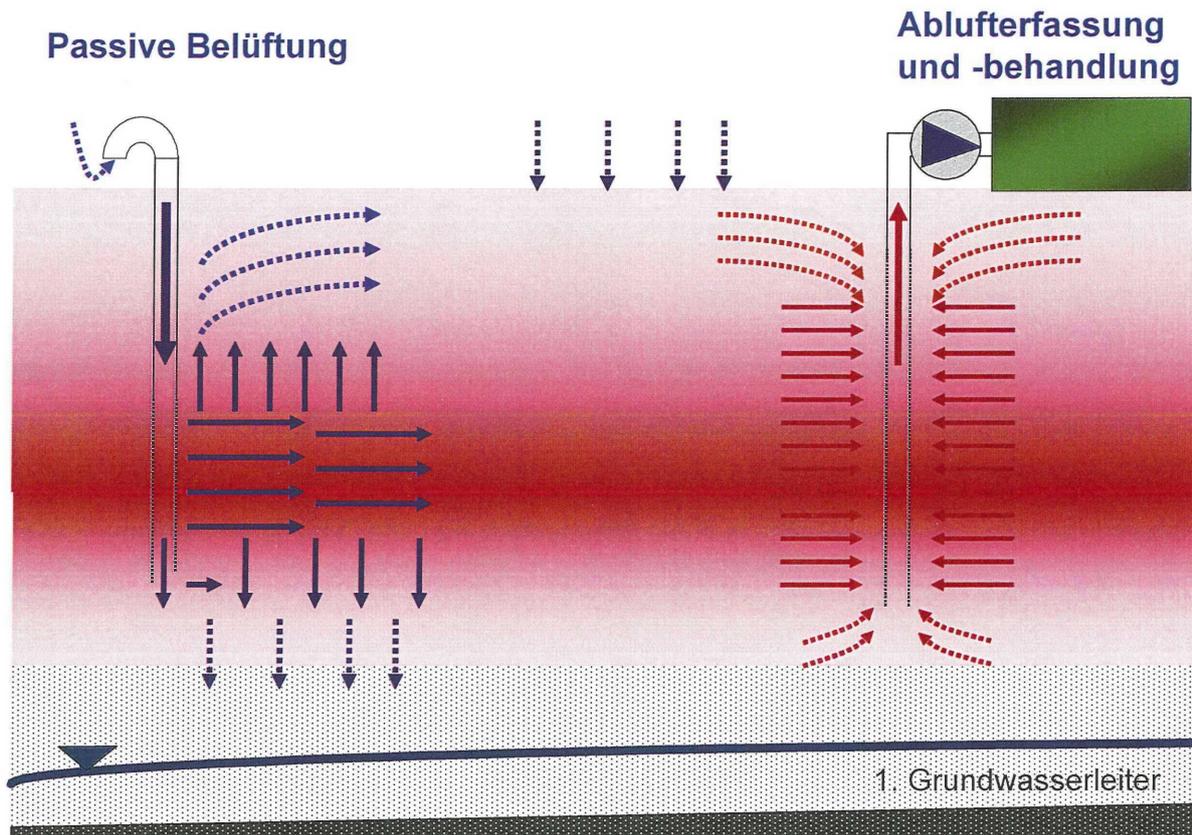


Abb. 4.2: Grundkonzept der in situ Stabilisierung durch Übersaugung und passive Luftzufuhr (Q: IFAS, Hamburg)

Ergänzende Auswirkungen der Aerobisierung des Deponiekörpers

Durch die Sauerstoffzufuhr und die damit verbundene Aerobisierung des Deponiekörpers laufen die Abbauprozesse und die resultierenden Restsetzungen, die unter anaeroben Milieubedingungen langfristig ohnehin aufgetreten wären, beschleunigt ab. Im Rahmen des Monitorings sind u.a. die Temperaturentwicklung im Deponiekörper, der Setzungsverlauf und mögliche Auswirkungen auf die Funktion der Oberflächenabdichtung zu überwachen.

4.2 Angestrebtes Behandlungsziel, klimarelevantes Methanreduktionspotenzial

Gemäß der Abschätzung der langfristigen, klimarelevanten Methanemissionen in Kapitel 3.2 wird angestrebt, diese gemäß Förderungsvoraussetzung um mindestens 50% zu reduzieren

Die Bewertung des Emissionspotenzials für die Kreismülldeponie Eisenberg gemäß IPCC-Ansatz hat an Methanemissionen ergeben:

$$\text{CH}_4\text{-Emissionen}_{\text{ges.}} = 2.000 \text{ MgCH}_4$$

Mit dem GWP-Wert von 28 für Methan entspricht dies folglich $2.000 \text{ MgCH}_4 * 28 =$
56.000 MgCO_{2eq.}

Das **Referenzszenario** mit bestehender Deponiegasfassung und Behandlung zeigt, dass von den Methanemissionen nur etwa 25% (50% Erfassungsgrad über max. 50% aktive Schwachgasbehandlungsdauer bezogen auf den gesamten Emissionszeitraum) erfasst und behandelt werden könnten:

$$\Rightarrow 56.000 \text{ MgCO}_{2\text{eq.}} * 0,75 = \mathbf{42.000 \text{ MgCO}_{2\text{eq.}}}$$

als verbleibende **klimarelevante langfristige Methanemissionen**

Als **minimaler Zielwert der Deponiebelüftung** leitet sich daraus folglich ab, dass davon mindestens **21.000 MgCO_{2eq.}** infolge der Deponiebelüftung beschleunigt und kontrolliert reduziert werden.

4.3 Maßnahmen zur Ertüchtigung des Gaserfassungssystems, Gasbrunnen/-pegel zur Passivbelüftung und Ablufferfassung

Die Voruntersuchungen und die weiteren technischen Erläuterungen wurden u.a. im Hinblick auf den standortspezifischen Einsatz der aeroben in situ Stabilisierung durch Übersaugung und passiver Luftzufuhr durchgeführt. Die technischen Angaben haben vorläufigen und z.T. beispielhaften Charakter, da sie erst in der weiteren Planung detailliert festgelegt werden können.

4.3.1 Belüftungsbrunnen und Absaugbrunnen

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass eine aerobe in situ Stabilisierung mit einer Übersaugung der bereits bestehenden Gasbrunnen grundsätzlich möglich ist.

In weiteren Planungsschritten ist zu prüfen, ob die Anzahl der Gasbrunnen ausreicht, um nach Ertüchtigung und baulicher Veränderung der Gasbrunnenköpfe eine ausreichende Aerobisierung des Deponiekörpers durch kontrollierte Übersaugung zu erwirken. Weitere Maßnahmen sind derzeit nicht vorgesehen und würden auch zu einem erheblichen technisch-baulichen Zusatzaufwand zum Erhalt des vollständig intakten Oberflächenabdichtungssystems führen.

Die standortbezogenen Voruntersuchungen und Praxiserfahrungen von anderen Deponiebelüftungsprojekten haben gezeigt, dass es anzustreben ist, auch die tieferen Deponiebereiche mit Luftsauerstoff zu versorgen. Daher könnten z.B. ausgewählte Bestandsbrunnen im oberen verfilterten Abschnitt mit einem Inliner ausgestattet werden, so dass der verfilterte Bereich erst im mittleren und tieferen Deponieniveau beginnt.

Generell ist zur gleichmäßigen Stabilisierung nicht in erster Linie der Bohr- und Ausbaudurchmesser der Gasbrunnen entscheidend, sondern ihre Anzahl und Positionierung.

Der größte Teil der bestehenden vertikalen Gasbrunnen wird vornehmlich zur Ablufferfassung eingesetzt. Bei Bedarf könnten die Gasbrunnen, die während der

Vorversuche abgesperrt wurden, so umgerüstet werden, dass sie als Passivbelüftungsbrunnen für die kontrollierte Übersaugung genutzt werden können.

Alle Gasbrunnen können langfristig genutzt oder nach Abschluss der aktiven Stabilisierungsphase so umgerüstet werden, dass eine passive Gasbehandlung ermöglicht wird, indem eventuelle Restgasemissionen gefasst und z.B. über Gasdränagen in die Rekultivierungsschicht der Oberflächenabdichtung zur Methanoxidation abgeleitet werden.

Die Belüftungsmaßnahme sollte mit einer großen Flexibilität ausgeführt werden, d.h. jeder Brunnen sollte sowohl zur Passivbelüftung als auch zur Ablufferfassung eingesetzt werden können. Dieses wäre am Standort Eisenberg erst durch das Umrüsten aller Gasbrunnen möglich.

4.3.2 Leitungssystem zur Aerobisierung durch kontrollierte Übersaugung

Es ist in den weiteren Planungsphasen zu prüfen, ob die bestehenden und ggf. zu ergänzenden Gasleitungen von den Gasbrunnen zur Gasbehandlungsanlage an Gassammelstationen anzuschließen sind. Dieses könnte den technischen und personellen Aufwand für den langjährigen Übersaugungs-/Aerobisierungsbetrieb reduzieren.

Sofern neue Gasleitungen verlegt werden, ist es aus folgenden Gründen sinnvoll, die Gasleitungen abzudecken bzw. etwas vertieft innerhalb der bestehenden Oberflächenabdeckung zu verlegen:

- Unfallgefahren werden vermieden.
- Die Beanspruchung und Gefahr der Beschädigung des Leitungssystems ist deutlich geringer als bei einer Verlegung auf der Oberfläche.
- Witterungseinflüsse sind deutlich geringer.

4.4 Abluftreinigungsverfahren

In der Deponieverordnung wie auch im entsprechenden Merkblatt zur Antragstellung² im Rahmen des NKI-Klimaschutzprogramms wird zur Belüftung eine an die Abluftbeschaffenheit angepasste Abluftbehandlung gefordert, so dass schädliche Emissionen weitgehend vermieden werden. Es darf hierbei in der Abluft der Gehalt an organischen Stoffen von 0,50 kg/h (als Massenstrom) bzw. 50 mg/m³ (als Massenkonzentration) nicht überschritten werden. Grundsätzlich kann die belastete Abluft über autotherme Verfahren gereinigt werden. Der Nachweis der Reinigungsleistung erfolgt durch den Hersteller bzw. im Abluftreinigungsbetrieb.

Bei Methankonzentrationen im Deponiegasstrom bis ca. 6 Vol.-% kann eine Schwachgasfackel z.B. auch mit Wärmenutzung eingesetzt werden. Bei Methankonzentrationen < 6 Vol.-% können nur spezielle Schwachgasfackeln, Flox-Brenner oder Regenerative Oxidationsverfahren (RTO) eingesetzt werden. Alle Verfahren sind in der Deponiepraxis erprobt und werden von unterschiedlichen Anlagenherstellern angeboten.

4.5 Bemessung der technischen Anlagen, Konzept zur Betriebsführung

Bemessung der technischen Anlagen

Für den Abfallkörper mit einer Gesamtmasse von ca. 890.000 Mg TS und einem aktuellen Gasbildungspotenzial von 5-9 m³/Mg TS lassen sich Belüftungsraten abschätzen. Sie können über die „passive Belüftungsbrunnen“ und ggf. nicht gedichteten Böschungsflächen in einem Zeitraum von 12 - 15 Jahren (intensiven Betriebsphase) in den Deponiekörper eingetragen werden. Um den Sauerstoffbedarf über die aerobe in situ Stabilisierung mit passiver Belüftung und Übersaugungseffekten erreichen und zeitgleich den bestehenden Gasspeicher erfassen zu können, werden Absaugraten von 300-400 m³/h für die Passivbelüftungs-/Übersaugungsphase empfohlen.

² BMU (2012), Merkblatt – Investive Klimaschutzmaßnahmen, Hinweise zur Antragsstellung vom 16.10.2013

Diese Abschätzung zur sicheren Seite berücksichtigt

- die zum Teil unterschiedlichen Gaswegsamkeiten durch den Verdichtungsgrad und die Auflast. Um auch die unteren Ablagerungsbereiche erreichen zu können, wären eine aktive Belüftung und höhere Volumina notwendig.
- eine ausreichende Aerobisierung im Deponiekörper, so dass möglichst geringe Methangehalte und Geruchsbelastungen in der Abluft enthalten sind
- dass darüber unkontrollierte Gasmigrationsvorgänge weitgehend unterbunden werden
- dass so der gewünschte aerobe Abbau der Restorganik forciert wird
- dass für die erforderliche Unterdrücke zur Gasabsaugung voraussichtlich ohnehin größere Absaugvolumina einzustellen sind

Bei fortgeschrittener Stabilisierung, z.B. nach 5-6 Jahren, kann die Absaugrate ggf. reduziert werden. Die Steuerung und Beurteilung des Stabilisierungsverlaufes erfolgt über ein Monitoringprogramm, welches den aktuellen Stand der Stabilisierung erfasst und erforderliche Anpassungen zur kontinuierlichen Betriebsoptimierung aufzeigt.

Konzept zur Betriebsführung

Die Belüftungsraten sind dem veränderlichen Sauerstoffbedarf in Abhängigkeit des aeroben biologischen Stabilisierungsprozesses anzupassen. Anfänglich ist mit einem höheren Sauerstoffbedarf im Bereich des Bemessungswerts bei nahezu vollständiger Sauerstoffnutzung zu rechnen. Bei fortgeschrittener Belüftung kann die Belüftungsrate i.d.R. reduziert werden.

Stabilisierungsbetrieb, ingenieurtechnische Betreuung

Für die erfolgreiche Ausführung der in situ Stabilisierung ist ein qualifizierter Belüftungsbetrieb und eine ingenieurtechnische Betreuung unerlässlich. Sie umfasst u.a.:

- Erfassung der Betriebswerte, Durchführung von Standard- und Sondermessprogrammen innerhalb des Monitoringprogramms
- Kontinuierliche Dokumentation und Auswertung des Stabilisierungsbetriebs
- Steuerung und Optimierung des Stabilisierungsprozesses z.B. per Datenfernübertragung
- Berichtswesen (u.a. für Genehmigungs- und Überwachungsbehörden)
- Nachsorgekonzeption

Standardtätigkeiten der Betriebsführung und regelmäßige Monitoringmaßnahmen können vom Deponiebetreiber oder beauftragten Dritten ausgeführt werden.

5 Monitoring-Konzept

Für die Belüftungsmaßnahmen sind Erfolgskontrollmaßnahmen in Form eines Monitoringprogramms und eine Dokumentation zur Nachweisführung erforderlich. Das Monitoringprogramm dient sowohl der Optimierung der Anlagentechnik bzw. Betriebsführung als auch für den optimalen Verlauf des in situ Stabilisierungsprozesses. Insbesondere sind Analysen der Abluft, FID-Begehungen und Setzungsmessungen sinnvoll. Ferner sollen die ohnehin bestehenden Monitoringmaßnahmen zum Wasserhaushalt und andere Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen fortgeführt werden.

Aufgrund der Erfahrungen an anderen Deponiestandorten, an denen die Deponiebelüftung durchgeführt wird, hat sich eine intensive Überwachung der Temperaturen im Deponiekörper als sehr sinnvoll herausgestellt. So können Temperaturmessfühler in ggf. neue und bestehende Gasbrunnen eingebaut werden, über die online die Temperaturentwicklung während des Belüftungsbetriebs erfasst werden kann. Darauf können Übersaugungsraten und Auswahl der Gasbrunnen, über die die Luft zugegeben wird, gesteuert und kontinuierlich angepasst werden.

Zur Erfassung der wesentlichen Parameter werden zum Teil kontinuierlich laufende Messsysteme verwendet, die in die Anlagentechnik mit integriert werden. Diese können online abgerufen und ausgewertet werden.

Über die allgemeinen Anforderungen hinaus, wie sie in der Deponieverordnung (DepV, 2009) in § 25, Absatz (4) dazu festgelegt sind, würden im Monitoringprogramm für die Deponiebelüftung der Deponie Eisenberg daher erfasst:

Gasverdichterstation und Abluftreinigungsstufe:

- Volumina und Drücke im Gasstrom (on-line)
- Ablufttemperatur im Gasstrom (on-line)
- Gaszusammensetzung Abluft im Gasstrom der Gasverdichterstation: CH₄, CO₂, O₂ (on-line), H₂S (diskontinuierlich), CO (diskontinuierlich)

- Abgasqualität nach Abluftreinigungsstufe (gemäß gesetzlicher Anforderungen), Abgastemperatur in Abluftreinigungsstufe (kontinuierlich), Nachweis der Effizienz der Abluftreinigungsstufe
- Stromverbrauch (Sekundäremissionen)

Gasbrunnen, Gassammelstation

- Volumina und Drücke an allen Gasbrunnen bzw. Gasleitungen in den Gassammelstationen (diskontinuierlich wöchentlich bis monatlich) mit regelmäßiger Optimierung
- Gaszusammensetzung Abluft an allen abgesaugten Gasbrunnen: CH₄, CO₂, O₂, H₂S, CO (diskontinuierlich wöchentlich bis monatlich)

Deponiekörper, Deponieoberfläche (über das Überwachungsprogramm der bestehenden Genehmigungsbescheide i.d.R. ohnehin erforderlich)

- Temperaturen im Deponiekörper (zur Beurteilung und Steuerung der biologischen Abbauprozesse sowie zur Früherkennung einer möglichen Deponiebrandentstehung), kontinuierliche Messung in ausgewählten Gasbrunnen
- FID-Begehungen zur Ermittlung diffuser Ausgasungen über die Deponieoberfläche
- Setzungen an ausgewählten oder neu zu errichtenden Messpunkten
- Wasserhaushalt

Im **Berichtswesen** werden alle Ergebnisse dokumentiert und ausgewiesen:

- Kohlenstoffbilanzierung zum Nachweis der vermiedenen CO₂-äquivalenten Methanemissionen
- Qualität Abluft und Abluftreinigung
- Energiebedarf (für Klimaschutzbilanz)
- Jährlicher Nachweis in Berichtsform, um den Beitrag der Deponiebelüftung als Klimaschutzmaßnahme nachvollziehbar bilanzieren zu können.

Mit diesem Monitoringprogramm und der qualifizierten Auswertung und Bewertung der Überwachungsergebnisse kann der Nachweis hinsichtlich des Behandlungsziels

und der realisierten Reduzierung der klimarelevanten Methanemissionen erbracht werden.

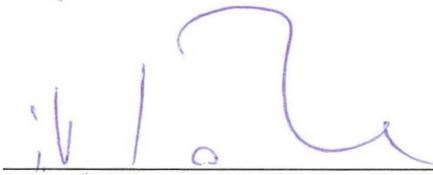
6. Erstellt durch:

Sweco GmbH

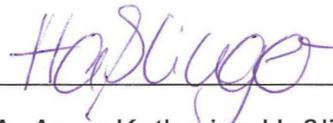
Jakob-Ansatt-Straße 2

55130 Mainz

Mainz, den 17.03.2017



i.V. Heiko Töhne



i.A. Anna Katharina Haßlinger