

Landkreis Lüchow-Dannenberg

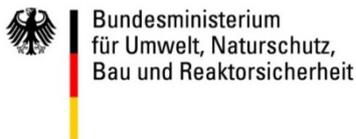


Optimierung des Gashaushalts der Deponie Woltersdorf: Klimaschutz – Nachhaltigkeit – Nachsorgereduzierung

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

FKZ: 03K02364

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



BERICHT

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



Hamburg, 22. September 2016

Optimierung des Gashaushalts der Deponie Woltersdorf: Klimaschutz – Nachhaltigkeit – Nachsorgereduzierung

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

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Veranlassung zur Deponiebelüftung als Klimaschutzmaßnahme 1
2	Bestandsaufnahme der Deponie Woltersdorf 3
2.1	Allgemeine Angaben 3
2.2	Deponiefläche, Form und Volumen, Abfallzusammensetzung 3
2.3	Emissionsverhalten, Emissionserfassung und –behandlung 5
2.3.1	Sickerwasser 5
2.3.2	Deponiegas 7
2.3.3	Deponiegashaushalt 8
2.3.4	Setzungsverhalten 10
3	Potenzialanalyse 11
3.1	Bestimmung des Anteils an bioverfügbarer Organik, Untersuchungen zur Abfallbeschaffenheit und zum Gasbildungspotenzial 11
3.2	Bewertung des Emissionspotenzials 16
3.3	Optimierungspotenziale der bestehenden technischen Einrichtungen 24
3.3.1	Durchführung der Absaug- und Belüftungsversuche 24
3.3.2	Ergebnisse der Absaug- und Belüftungsversuche 30
3.3.3	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Vorversuchen 39
4	Maßnahmenkatalog und Angaben zur technischen Umsetzung der in situ Stabilisierung 40
4.1	Beschreibung des gewählten Verfahrens – der Niederdruckbelüftung 40
4.2	Angestrebtes Behandlungsziel, klimarelevantes Methanreduktionspotenzial 43
4.3	Maßnahmen zur Ertüchtigung des Gaserfassungssystems, Gasbrunnen zur Belüftung und Ablufterfassung 44
4.4	Leitungssystem zur Belüftung und Ablufterfassung, Gasverteilerstation 44
4.5	Belüftungsaggregate und Gasverdichterstation mit Mess- und Regeltechnik 46
4.6	Abluftreinigungsverfahren 47
4.5	Konzept zur Betriebsführung, Bemessung der technischen Anlagen 48
5	Monitoring-Konzept 49

1 Veranlassung zur Deponiebelüftung als Klimaschutzmaßnahme

Die Deponie Woltersdorf im Landkreis Lüchow-Dannenberg wurde von 1975 (Altbereich) bzw. 1993 (Erweiterungsbereich I) bis Mitte 2005 als zentrale Beseitigungsanlage des Landkreises betrieben. Die Deponie gliedert sich in ca. 2 ha Altbereich, der bereits weitgehend mit einer endgültigen Oberflächenabdichtung versehen ist, und einen ca. 3,2 ha Neubereich (Erweiterungsbereich I), der 2007 mit einer temporären Oberflächenabdeckung versehen wurde. Die gesamte Ablagerungsfläche umfasst ca. 5,2 ha. Der Neubereich verfügt über ein Infiltrationssystem zur Optimierung der mikrobiellen Umsetzungsvorgänge und damit zur Intensivierung anaerober Abbauprozesse im Abfallkörper.

Das Deponieverhalten ist wie bei vergleichbaren Siedlungsabfalldeponien nach Abschluss der Verfüllung von einer abnehmenden erfassbaren Deponiegasproduktion gekennzeichnet, die eine wirtschaftliche Verwertung mit einem BHKW derzeit nur noch diskontinuierlich erlaubt und somit zukünftig weiter erschwert bzw. zeitlich befristet. Andererseits wird aus Gründen des Emissionsschutzes weiterhin eine Deponiegaserfassung und –behandlung erforderlich sein, die sich noch über einen längeren Zeitraum erstrecken kann.

Die Gaserfassung erfolgt über vertikale Gasbrunnen, vier Gassammelstationen, eine Gasverdichteranlage und ein BHKW mit Zündstrahlmotor. Eine Notfallfackel steht im Bedarfsfall zur Verfügung.

Die aktuellen chemisch-biologischen Prozesse im Deponiekörper der Deponie Woltersdorf zeigen wie bei vielen vergleichbaren Siedlungsabfalldeponien, 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.

Der Landkreis Lüchow-Dannenberg hat daher diese Potenzialanalyse zur aeroben in situ Stabilisierung der Deponie Woltersdorf durchführen lassen. Die Analyse baut im Wesentlichen auf den Auswertungen zum Deponieverhalten, den Abfallfeststoffprobenahmen vom Juli 2016 und den Funktionsprüfungen sowie Absaug- und Belüftungsversuchen vom August 2016 auf.

Die Potenzialanalyse wurde mit Mitteln aus dem Sondervermögen „Energie- und Klimafonds“ für das Vorhaben „KSI: Einsatz geeigneter Technologien zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen bei stillgelegten Siedlungsabfalldeponien. Deponie Woltersdorf, LK Lüchow-Dannenberg“ gefördert (Förderkennzeichen 03K02364, Zuwendungsbescheid vom 23.07.2015).

Die Erarbeitung der Potenzialanalyse orientiert sich an den Vorgaben des „Merkblatts Erstellung von Klimaschutz-Teilkonzepten“ vom 22.09.2015 des Bundesumweltministeriums (BMU), Kapitel 6.10. Damit werden wie gefordert die spezifische Ausgangssituation der Siedlungsabfalldeponie aufbereitet sowie die technisch und wirtschaftlich umsetzbaren CO₂-Minderungspotenziale durch geeignete Maßnahmen analysiert und ein auf den Standort angepasstes, geeignetes Verfahren konzipiert.

2 Bestandsaufnahme der Deponie Woltersdorf

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

2.1 Allgemeine Angaben

Adresse: Zentraldeponie Woltersdorf
Oerenburger Str. 5
29497 Woltersdorf

Betreiber: Landkreis Lüchow-Dannenberg
Fachdienst 70 (Abfallwirtschaft)
Königsberger Straße 10
29439 Lüchow

Genehmigungs- und Überwachungsbehörde:
Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Lüneburg
Auf der Hude 2
21339 Lüneburg

Kenndaten der Deponie:

Planfeststellungsbeschluss (Neubereich):	12.11.1990
Inbetriebnahme (Alt- / Neubereich):	1975 / 1993
Stilllegung:	31.05.2005
Gesamtfläche Gelände:	10 ha
Gesamtablagerungsfläche (Alt- / Neubereich):	5,2 ha
Gesamtablagerungsmasse genehmigt (Alt- / Neubereich):	800.000 Mg
Gesamtmasse abgelagerter Abfälle (Alt- / Neubereich):	440.000 Mg
Maximale Ablagerungsmächtigkeit:	9 m

2.2 Deponiefläche, Form und Volumen, Abfallzusammensetzung

Die Deponie Woltersdorf wird seit 1975 (Altbereich) bzw. 1993 (Neubereich bzw. Erweiterungsabschnitte EWA I-III) betrieben und befindet sich seit Mitte 2005 in der Stilllegungsphase.

- Altbereich: 1975-1993, ca. 157.000 m³ auf 1,9 ha Grundfläche
- EWA I: 1993-2005, ca. 222.000 m³ auf 2,7 ha Grundfläche
- EWA II: bis 1993, ca. 31.000 m³ auf 0,9 ha Grundfläche

- EWA III: 2000-2005, ca. 30.000 m³ auf 0,8 ha Grundfläche

Die Deponiefläche beträgt insgesamt etwa 5,3 ha. Bei der Deponie handelt es sich um eine Haldendeponie mit einer maximalen Ablagerungsmächtigkeit von ca. 9 m. Die angelieferten Siedlungsabfälle wurden abschnittsweise verdichtet eingebaut. Die verfüllte Abfallmenge beträgt ca. 0,44 Mio. m³.

In allen Verfüllabschnitten wurden Hausmüll, Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle sowie Bauschutt und Bodenmaterial 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 2005 verfüllten Verfüllabschnitten die „gewöhnlichen“ Siedlungsabfälle wie Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle maßgebend sind.

Basisabdichtungssysteme

Während der Erweiterungsabschnitt EWA I über eine TASI-konforme Basisabdichtung verfügt, sind in den übrigen Deponieabschnitten keine Basisabdichtungen vorhanden.

Oberflächenabdeckung/-abdichtung

Im Rahmen der Baumaßnahmen zur Deponiestilllegung wurden die unterschiedlichen Deponieabschnitte mit endgültigen bzw. temporären Oberflächenabdichtungssystemen versehen. Dabei kamen in den Bereichen unterschiedliche Dichtungselemente (Bentonitmatte, tonmineralische Dichtung, 2,5 mm-KDB) zum Einsatz. Die Entwässerung erfolgt in allen Abschnitten mittels Dränmatte. Während der endgültig abgedichtete Altbereich Nord bereits über eine endgültige Oberflächenabdichtung verfügt und mit einer 1,5 m mächtigen Rekultivierungsschicht versehen wurde, verfügten die übrigen Abschnitte nur über eine temporäre Abdichtung mit 30 cm Rekultivierungsschicht. Alle Flächen sind mit Niederbewuchs begrünt.

2.3 Emissionsverhalten, Emissionserfassung und –behandlung

2.3.1 Sickerwasser

Das Deponiesickerwasser aus dem Erweiterungsabschnitt EWA I gelangt von einem Speichertank in eine standorteigene Umkehrosmoseanlage. Das Permeat wird der kommunalen Kläranlage zugeführt. Das Konzentrat wird fachgerecht extern entsorgt.

Die **Rohsickerwasserqualität** kann anhand der Parameter CSB und $\text{NH}_4\text{-N}$ charakterisiert werden. Im Vergleich mit Sickerwasser anderer Siedlungsabfalldeponien sind die Belastungen des Sickerwassers der Deponie Woltersdorf als durchschnittlich einzustufen, was insbesondere in der typischen Zusammensetzung der abgelagerten Abfälle begründet ist. In Abbildung 2.1 ist die zeitliche Entwicklung der beiden Parameter zur Sickerwasserqualität aufgetragen. Dazu wurden die Analyseergebnisse der Eigenüberwachung aus den Jahren 1997 bis 2015 für das Rohsickerwasser aufbereitet.

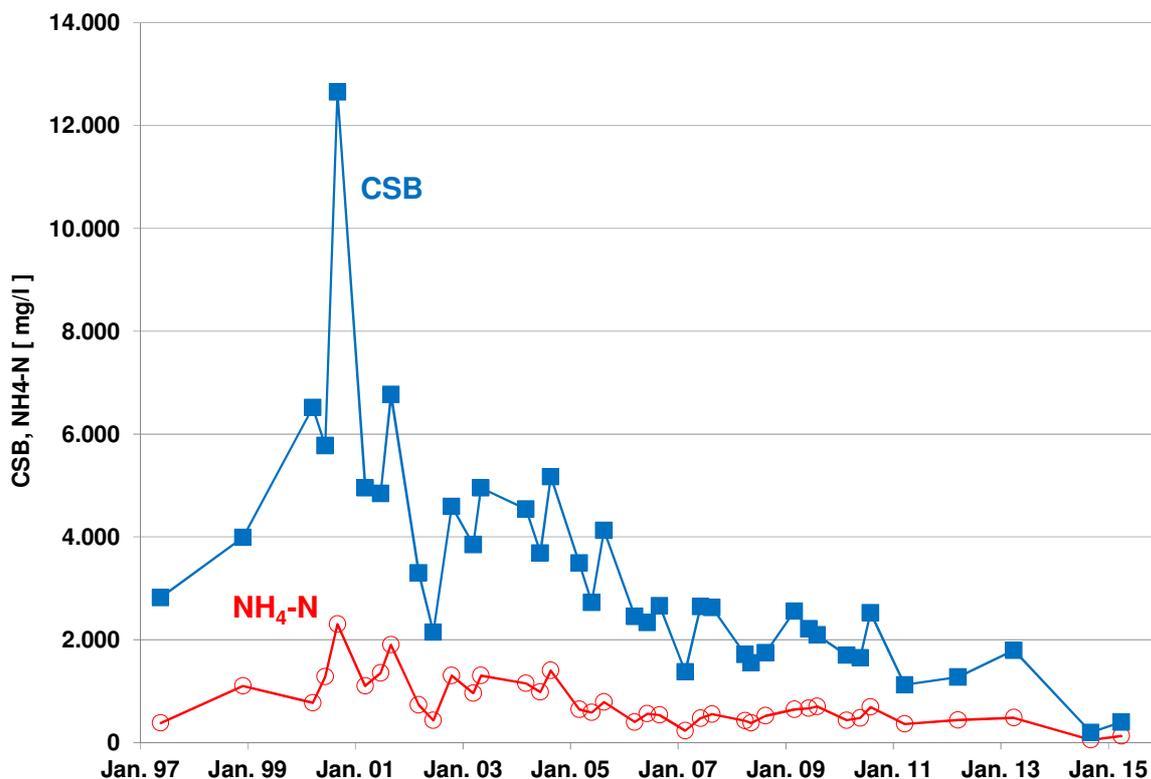


Abb. 2.1: Entwicklung der Rohsickerwasserqualität im Zeitraum 1997-2015 (Deponie Woltersdorf)

Der CSB sank seit Beendigung des Ablagerungsbetriebes Mitte 2005 von einem Jahresdurchschnittswert von 3.500 mg/l auf < 400 mg/l ab. Die Ammoniumkonzentrationen sanken in diesem Zeitraum von einem Durchschnittswert von 670 mg/l auf < 150 mg/l. Das Verhältnis von BSB₅ zu CSB wird als Kriterium zur Einordnung des biochemischen Zustandes einer Deponie lag in obigem Betrachtungszeitraum bei 0,01 bis 0,05. Es ist davon auszugehen, dass der Deponiekörper der Langzeitphase zuzuordnen ist, was auf ausreichende bis befriedigende Milieubedingungen für die biologischen Abbauprozesse hinweist.

Die **Sickerwassermengen** schwankten im Betrachtungszeitraum 1998 bis 2008 in Abhängigkeit der Niederschlagsmengen. Nach Aufbringung der temporären KDF-Oberflächenabdichtung sanken die jährlichen Sickerwassermengen erheblich von ca. ca. 6.800 m³/a auf < 1.500 m³/a ab. Ab 2012 wurde zur Optimierung der Milieubedingungen im KDB-abgedichteten Abfallkörper mit dem Infiltrationsbetrieb begonnen. Dazu wurde kontrolliert Permeat aus der Sickerwasserbehandlungsanlage über das 2008 installierte Infiltrationssystem in den Deponiekörper eingebracht.

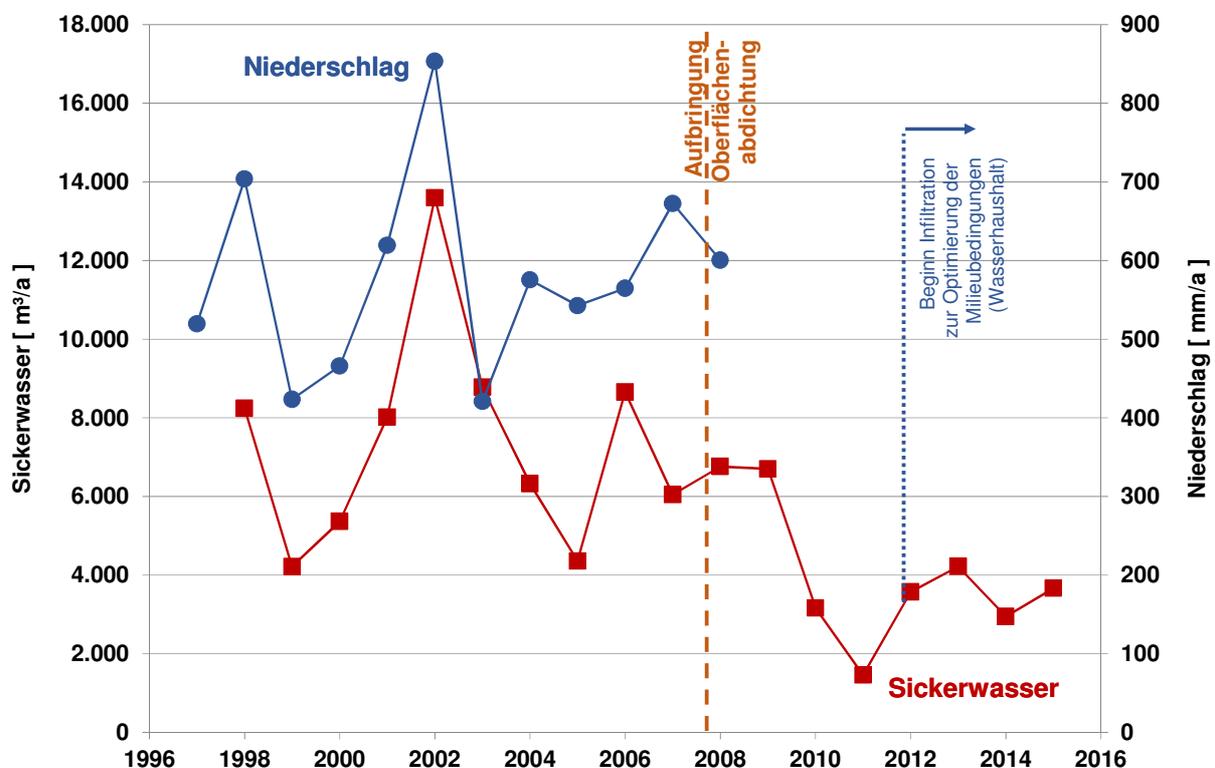


Abb. 2.2: Entwicklung der Rohsickerwassermenge z.T. in Abhängigkeit von der jährlichen Niederschlagsmenge im Zeitraum 1998-2015

2.3.2 Deponiegas

Das derzeitige Gasfassungssystem der Deponie Woltersdorf besteht im Wesentlichen aus 12 vertikalen Gasbrunnen, 5 horizontalen Gasdrainagen, 4 Gassammelstationen und 1 Gasförderaggregat. Die Gasverwertung erfolgt über einen Zündstrahlmotor.

Im Zuge der Aufbringung der temporären Oberflächenabdichtung im Abschnitt EWA I wurde ein Infiltrationssystem eingerichtet, um eine kontrollierte Befeuchtung des Deponiekörpers zu ermöglichen und somit die Milieubedingungen für die anaerobe Umsetzung der Abfallorganik sicherzustellen. Das Infiltrationssystem besteht aus 8 Infiltrationsschächten, von denen jeweils 2 Infiltrationsrigolen abgehen, über die behandeltes Sickerwasser (Permeat) bedarfsweise infiltriert werden kann.

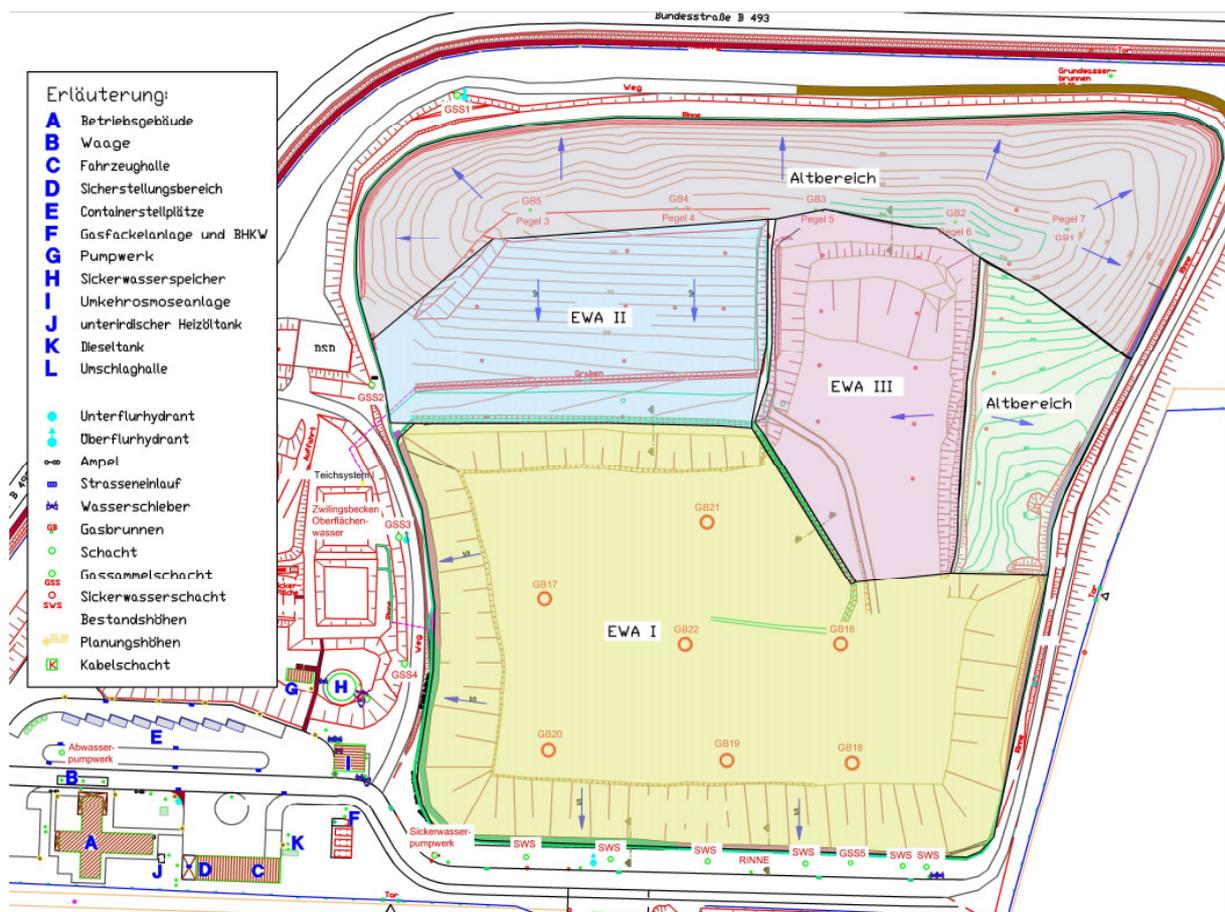


Abb. 2.3: Lage der Deponieabschnitte und Gasbrunnen auf der Deponie Woltersdorf (auf der Grundlage von Wittig, 2005)

Die Lage der Gasbrunnen und des Infiltrationssystems kann Abbildung 2.3 bzw. 3.1 entnommen werden.

2.3.3 Deponiegashaushalt

Die Entwicklung der erfassten Deponiegasproduktionsraten zeigt Abbildung 2.4. Insgesamt ist eine deutliche Abnahme seit 2008 zu erkennen. Lag die Gasausbeute im Zeitraum 2001-2008 in der Regel noch bei 30-38 m³/h, so sank sie in den letzten Jahren ab und liegt nun im Jahresdurchschnitt bei ca. 10 m³/h. Die Tendenz ist weiter abnehmend.

Der Gasabsaugbetrieb wird zur Zeit nach den technischen Mindestvorgaben für den BHKW-Betrieb geregelt, so dass trotz abnehmender Gasproduktion der Methan-gehalt im Deponierohgasstrom immer zwischen 40 und 45 Vol.-% liegt. Dieses führte in den letzten Jahren jedoch zu einem diskontinuierlichen Gaserfassungs- und Gasverwertungsbetrieb.

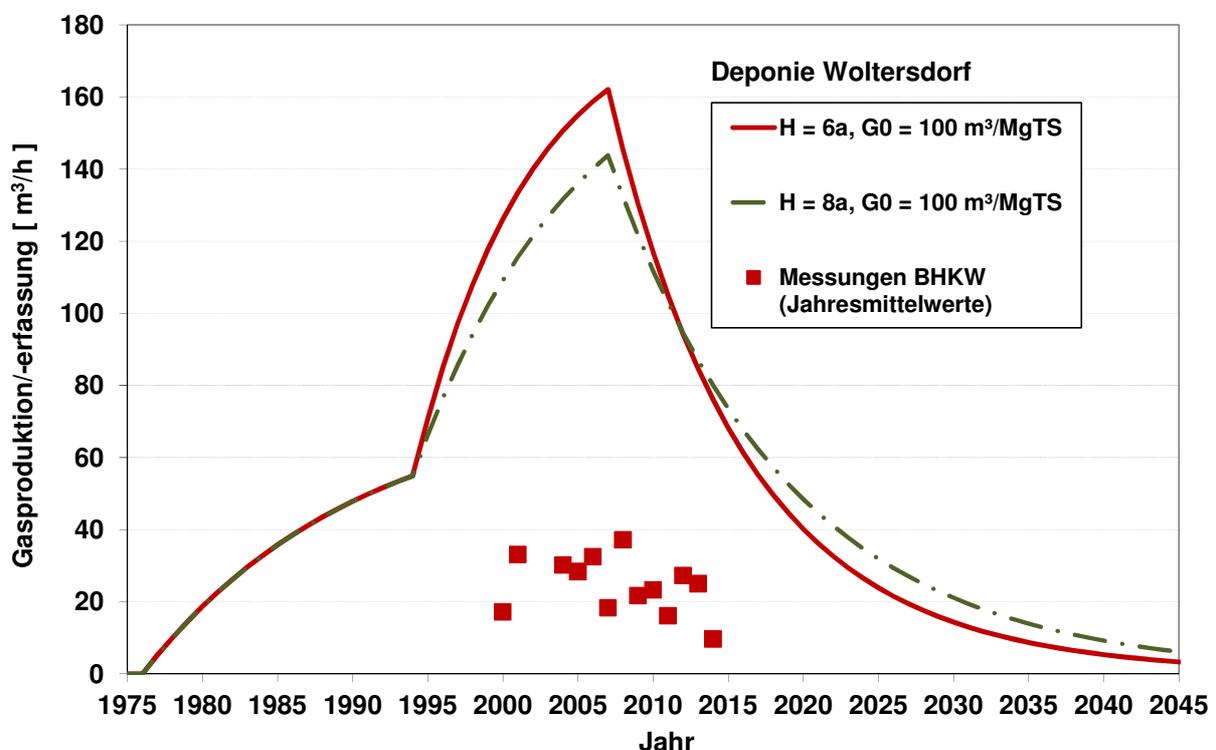


Abb. 2.4: Gasprognose – prognostizierte Gasproduktion seit 1975 und Gasausbeute seit 2000 auf der Grundlage von Ablagerungsmassen von 1975 bis 2005 sowie Annahmen zur Abfallzusammensetzung

Der Gashaushalt zeigt damit:

- Die Abnahme der Gasproduktion ist bedingt durch den fortgeschrittenen Abbau der biologisch verfügbaren organischen Substanzen der bis 2005 abgelagerten Abfälle und den Umstand, dass seitdem keine weiteren organischen Abfälle mehr abgelagert wurden.
- Die Gasproduktion ist mittlerweile 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 auch in diesen Bereichen noch mit einer Deponiegasproduktion über mehrere Jahrzehnte zu rechnen ist, die erhebliche klimarelevante Auswirkungen haben würde.
- Eine Erfassung und Behandlung des so genannten Deponieschwachgases ist für eine kurze Übergangsphase möglich und wird auf der Deponie Woltersdorf auch vorgenommen, wenn das BHKW vorzeitig außer Betrieb genommen werden muss. Dieses Verfahren bietet jedoch nicht die Möglichkeit des beschleunigten Kohlenstoffabbaus im Deponiekörper, was nur mit der aktiven Deponiebelüftung erreicht werden kann.
- Eine erste grob überschlägige Betrachtung aufgrund der Erkenntnisse zum Gashaushalt weist darauf hin, dass der Deponiekörper nach der Gasverwertungsphase noch ein Methanemissionspotenzial von ca. 40.000–50.000 MgCO_{2eq.} aufweisen kann, das mit der Deponiebelüftung soweit wie möglich reduziert werden soll.
- Daher strebt der Landkreis Lüchow-Dannenberg als Deponieinhaber und damit Maßnahmenträger für sämtliche Nachsorgemaßnahmen die Überprüfung der 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

Die letzten Setzungsmessungen im Zeitraum 2013 bis 2015 zeigten maximale Setzungen von 1 cm/a. 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 Setzungen in einem kurzen Zeitraum von einigen Jahren zu erwarten, da die langfristigen Restsetzungen beschleunigt vorweggenommen werden. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Abfallfeststoffuntersuchungen werden in den Böschungs- und Plateaubereichen im Verlauf der aeroben in situ Stabilisierung noch Restsetzungen infolge der Massen- und Volumenreduzierungen aus den biologischen Abbauprozessen sowie der Schwächung des Stützgerüsts zwischen 0,2 und 0,5 m erwartet. Sie hängen folglich von der Abfallbeschaffenheit im jeweiligen Deponiebereich und auch der Ablagerungsmächtigkeit ab.

3 Potenzialanalyse

3.1 Bestimmung des Anteils an bioverfügbarer Organik, Untersuchungen zur Abfallbeschaffenheit und zum Gasbildungspotenzial

Die Bestimmung des Anteils an bioverfügbarer Organik wird für die Deponie Woltersdorf ermittelt aufgrund

- der in Kapitel 2 aufbereiteten verfügbaren Daten und Ergebnisse insbesondere zum Deponieinventar, das nicht exakt bekannt ist,
- von **Abfallfeststoffprobenahmen aus dem Deponiekörper**, die im Juli 2016 dem Deponiekörper im Zuge von Bohrmaßnahmen entnommen wurden.

Im Rahmen der Erkundungsbohrungen wurden an 7 Bohrpunkten 14 Abfallfeststoffproben entnommen. Die Bohrpunkte im Abschnitt EWA I wurden zu Gasmesspegeln ausgebaut, die im Rahmen der Absaug- und Belüftungsversuche intensiv beprobt wurden. Die Lage der Bohransatzpunkte kann Abbildung 3.1 entnommen werden.

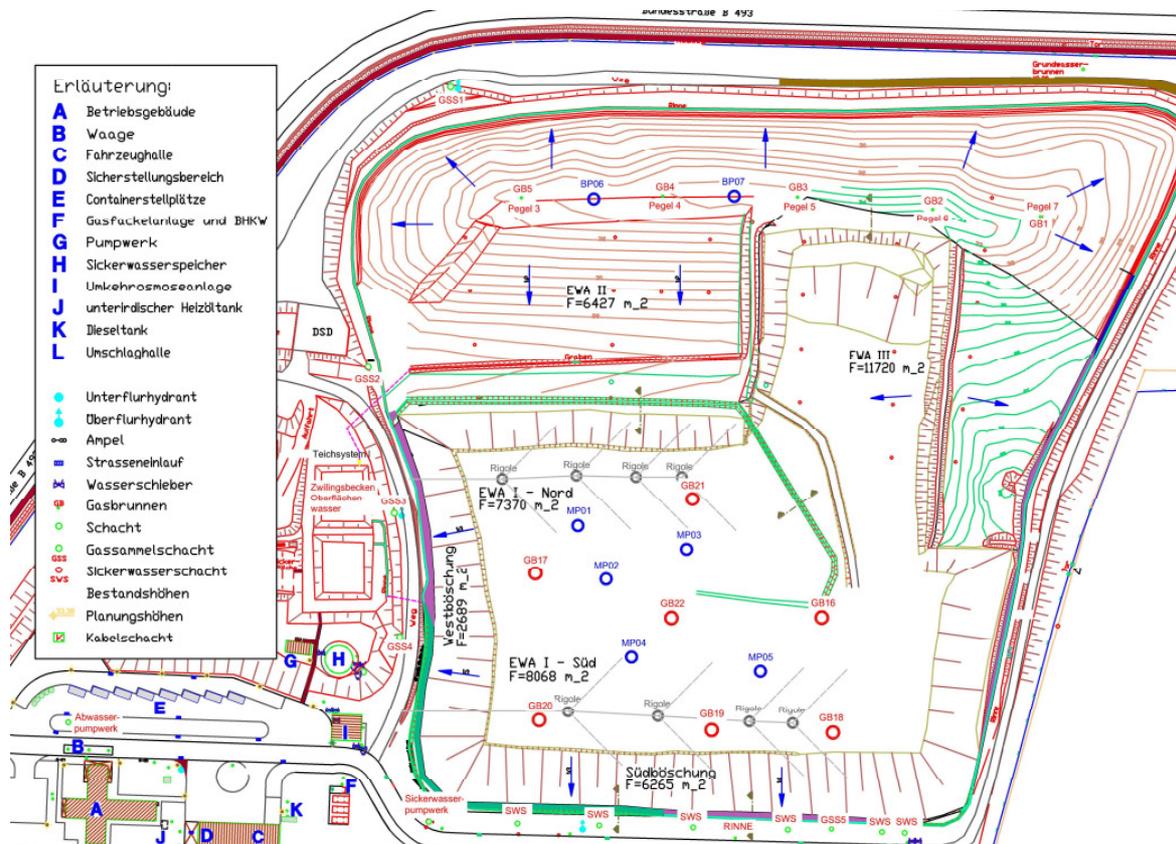


Abb. 3.1: Beprobungspunkte zur Abfallfeststoffprobenahme, MP1-MP5 sowie BP6 und BP7 (Bohrmaßnahme Juli 2016)

Die dem Deponiekörper entnommenen Feststoffproben wurden unmittelbar in 5-Liter Eimern luftdicht verpackt, damit die Abfälle zur weitgehenden Vermeidung von Sauerstoffzutritt und Wasserverdunstung so kurz wie möglich mit der Atmosphäre in Kontakt kamen. Feststoffproben, die nicht am Tag der Entnahme ins Labor gebracht werden konnten, wurden am Standort Woltersdorf in Kühltruhen zwischengelagert, um eine Veränderung der Proben durch biologische Umsetzungsaktivitäten zu vermeiden.

Zur Bestimmung des Stoffinventars und des noch vorhandenen Emissionspotenzials wurden chemisch-physikalische Untersuchungen an den Feststoffproben durchgeführt. Dazu wurden die getrockneten Originalproben auf einen Durchmesser von $d < 0,25$ mm zerkleinert. Die vor der Aufbereitung entnommenen Störstoffe wurden nach der Menge dokumentiert.

Die entnommenen Feststoffproben wiesen bei der Probenahme ein Ablagerungsalter zwischen

- 14 bis 22 Jahren im Erweiterungsabschnitt EWA I (Gaspegel MP1-MP5)
- 26 bis 36 Jahre im Altbereich Nord (Bohransatzpunkte BP6 und BP7),
auf und zeigten folgende Eigenschaften:
- Über den Ablagerungszeitraum ist erwartungsgemäß bereits eine beträchtliche Abnahme der biologisch abbaubaren Organikanteile eingetreten, die auf durchschnittliche bis gute Milieubedingungen für die biologischen Prozesse in der Vergangenheit schließen lässt.
- Für anaerobe Abbauprozesse sind die Wassergehalte (Bandbreite: 15-43%; Durchschnitt: 28,9%) gut bis ausreichend, können jedoch punktuell bereits limitierend wirken.
- Hinsichtlich der unterschiedlichen Ablagerungshorizonte sind erwartungsgemäß Unterschiede anhand der Organikgehalte der Feststoffproben auszumachen. Hier scheinen sich die Verhältnisse jedoch zunächst anders darzustellen als an anderen Standorten. Unter der Annahme, dass das Ablagerungsalter von oben nach unten zunimmt und damit der Abbaugrad organischer Abfallinhaltsstoffe von oben nach unten steigt, wären die höchsten Organikgehalte und Restgasbildungspotenziale in den oberen Ablagerungshorizonten zu finden. Dieses

bestätigt sich auf der Deponie Woltersdorf nicht. Hier werden in den oberen Ablagerungshorizonten geringere TOC-Gehalte festgestellt als unten, der Anteil an abbaubaren Inhaltsstoffen ist jedoch bei allen Proben in den oberen Horizonten höher als unten. D.h. die Verteilung der abbaubaren Abfallorganik entspricht den Erwartungen, die Verteilung der TOC-/GV-Gehalte jedoch nicht. So scheint in den unteren (älteren) Ablagerungshorizonten das Abbaupotenzial der Abfallorganik trotz höherer TOC-/GV-Gehalte geringer zu sein als in den jüngeren Ablagerungshorizonten. Dieses ist zwar plausibel, wurde so ausgeprägt jedoch selten an anderen Deponiestandorten festgestellt.

- Die Glühverluste (GV) schwanken in einem weiten Bereich von 6 bis 38% der Trockensubstanz (TS) mit einem Durchschnittswert von 20% TS. Beim organischen Kohlenstoffgehalt (TOC) beträgt die Bandbreite 3–22% TS mit einem Durchschnittswert von ca. 11% TS. Das Verhältnis von GV zu TOC ist insgesamt plausibel (Durchschnittswert GV/TOC: 1,8). Sowohl die GV- als auch TOC-Gehalte sind tendenziell in den oberen eher ungesättigten Ablagerungshorizonten geringer als in den unteren Ablagerungshorizonten ca. 2 m über der Basis. Dieses wird auf den weiter fortgeschrittenen Abbau der Abfallorganik bei günstigeren Milieubedingungen zurückgeführt.
- Die Stickstoffgehalte liegen zwischen 0,1–0,7% TS, im Mittel bei 0,5% TS.

Tab. 3.1: Durchschnittliche Analyseergebnisse der Ablagerungshorizonte der Deponie Woltersdorf im Vergleich zu Referenzergebnissen

Ablagerungs- horizont	Anzahl Mess- werte	Wasser- gehalt [% FM]	TS-Gehalt [% FM]	Glüh- verlust [% TS]	TOC [% TS]	N [% TS]
< 3 m über Basis	7	30,0	70,0	22,0	12,3	0,40
5-6 m über Basis	7	27,7	72,3	18,3	9,5	0,55
Mittelwert und Bandbreite aller Abfallproben	14	28,9	71,1	20,1	10,9	0,48
<i>Zum Vergleich^{*)}:</i>						
<i>Hausmüll frisch</i>	-	≈ 30	≈ 70	ca. 52 (41 – 63)	ca. 31 (26 – 36)	ca. 0,9 (0,7 – 1,1)
<i>Hausmüll alt^{*)} (5 – 28 a Ablagerung)</i>	ca. 500	32 (22 – 43)	68 (57 – 78)	25 (11 – 39)	13 (5 – 21)	0,4 (0,1 – 0,7)

^{*)} Datensammlung IFAS

- Die Atmungsaktivitäten (AT_4) liegen bei allen Einzelproben aus den unterschiedlichen Bereichen **zwischen 1,0 und 19,9 mgO₂/gTS (Mittelwert von 14 Proben: 5,2 mgO₂/gTS)**.

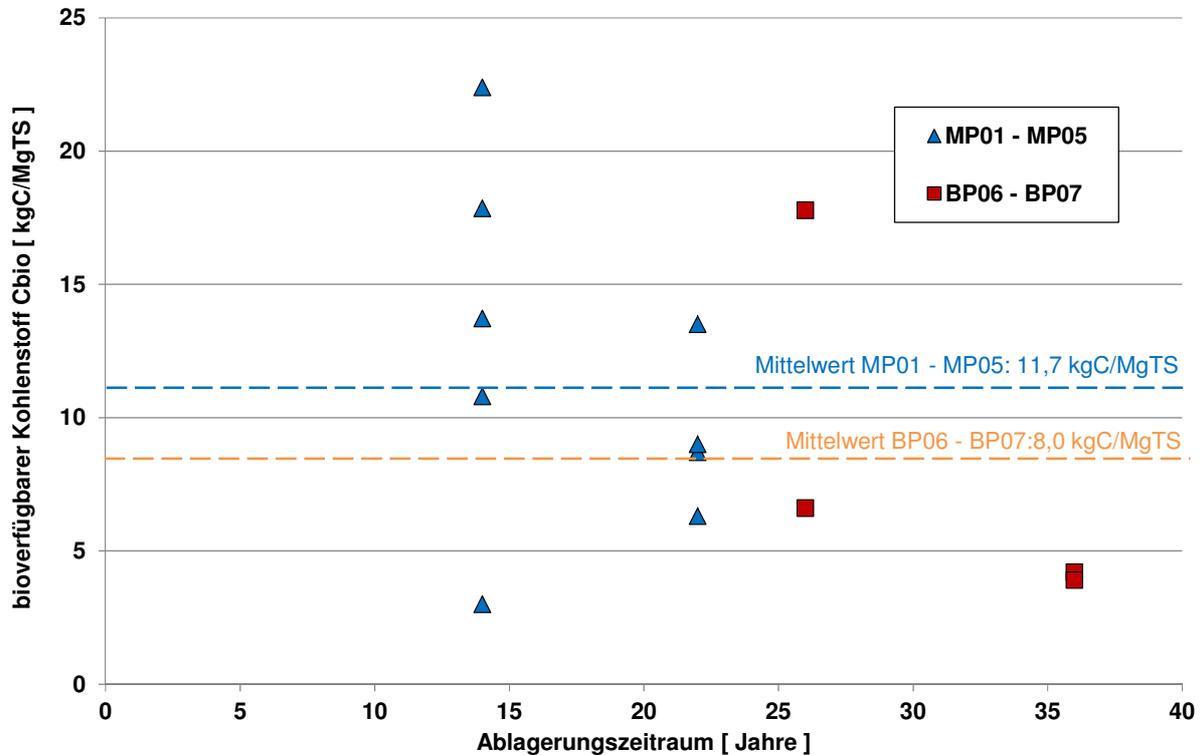


Abb. 3.4: Bioverfügbarer Kohlenstoff C_{bio} der 14 Einzelfeststoffproben aus den Deponieabschnitten Altbereich Nord und EWA I der Deponie Woltersdorf

- Der langfristig biologisch verfügbare Kohlenstoffanteil C_{bio} pro Tonne Trockensubstanz (MgTS), der sich aus den Atmungsaktivitäten ableiten lässt, liegt im Mittelwert bei **10,6 kg C_{bio} /MgTS**, wie es Abbildung 3.4 anhand der 14 Einzelergebnisse zeigt.
Die Streubreite der Ergebnisse ist charakteristisch für Siedlungsabfalldeponien und belegt die Inhomogenität des Deponiekörpers hinsichtlich der abgelagerten Materialien und der Ablagerungsbedingungen. Dieses unterstreicht nochmals die Sinnhaftigkeit bzw. Notwendigkeit der standortspezifischen Untersuchungen zur Bestimmung des biologisch abbaubaren Kohlenstoffanteils bzw. der resultierenden klimarelevanten Methanemissionen.
- 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 22.09.2015 der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Kapitel 3.2).

- Die aus der bioverfügbaren Restorganik abgeleiteten aktuellen Deponiegaspotenziale lassen je nach Ablagerungsdauer und Milieubedingungen auf einen durchschnittlichen Bereich zwischen **5 und 41 m³/MgTS (Durchschnittswert: 20 m³/MgTS)** schließen. Abbildung 3.5 zeigt diese durchschnittlichen Werte für die untersuchten Deponieabschnitte. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass bis zum Beginn der Belüftung weiterhin anaerobe Abbauprozesse ablaufen und das dabei produzierte Deponiegas zumindest teilweise erfasst und thermisch behandelt wird. D.h. bis zum Beginn der Belüftung der Deponie ggf. ab 2018 wird der bioverfügbare Kohlenstoffgehalt im Mittel noch unter den jetzt bestimmten 10,6 kgC_{bio}/MgTS liegen.

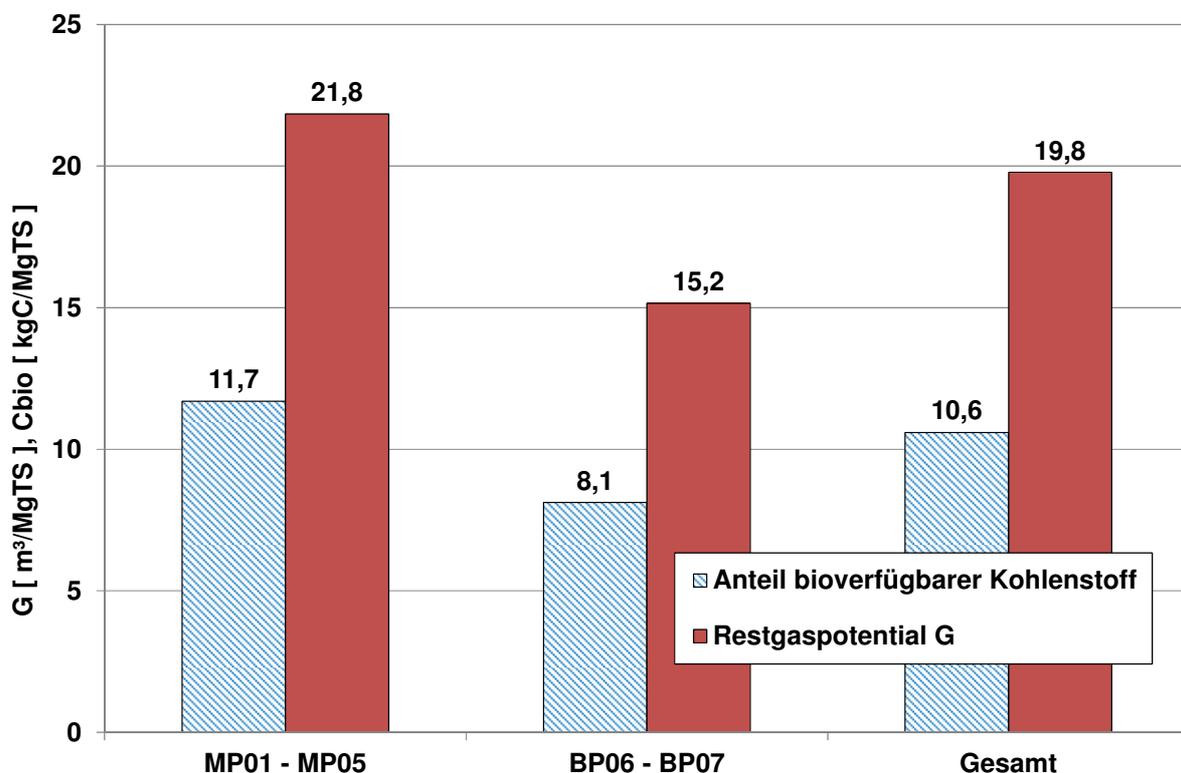


Abb. 3.5: Bioverfügbarer Kohlenstoff C_{bio} und theoretisch resultierendes Restgaspotenzial G als Mittelwerte der beprobten Deponieabschnitte Altbereich Nord und EWA I sowie der gesamten stillgelegten Bereiche der Deponie Woltersdorf

- Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass ca. 75 - 85% der anaerob abbaubaren Organik bereits umgesetzt worden sind.
- Die Abfallbeschaffenheit weist auf zukünftige Restsetzungen in einer Größenordnung bis 0,5 m hin. Dabei können sich punktuell je nach Ablagerungsmächtigkeit noch deutlich stärkere und ungleichmäßige Setzungen entwickeln.
- Insgesamt sind die Ergebnisse der Abfallfeststoffuntersuchungen insbesondere auch unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Gasmonitorings plausibel und erlauben die erläuterten Rückschlüsse auf das Deponieverhalten. Die Ergebnisse sind dabei stets in ihrer Gesamtheit zu betrachten, da einzelne Feststoffproben deutlich von Mittelwerten abweichen können und daher nicht repräsentativ für größere Deponiebereiche sind.
- Die Abfallbeschaffenheit und das resultierende Deponieverhalten sind unter Berücksichtigung der standortbezogenen Randbedingungen mit ähnlich großen Siedlungsabfalldeponien in der Stilllegungsphase vergleichbar.
- Insgesamt sind die Ergebnisse der Abfallfeststoffuntersuchungen auch im Vergleich zu ähnlichen Untersuchungen an anderen Siedlungsabfalldeponien, die u.a. in den BMBF-Vorhaben „Deponiekörper“ und „Aerobe in situ Stabilisierung der Altdeponie Kuhstedt“ sowie im Rahmen von NKI-Potenzialanalysen durchgeführt wurden, plausibel und erlauben die erläuterten Rückschlüsse auf das Deponieverhalten und das klimarelevante Methangaspotenzial.

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, bilden die **Ergebnisse der Abfallfeststoffuntersuchung** die **maßgebenden Eingangswerte** 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

Sie 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 Deponie Woltersdorf zu erläutern und mit den standortspezifischen Untersuchungsergebnissen anzupassen.

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 standortspezifischen Ergebnisse ersetzt werden. Tier 3 basiert

- auf einer guten Qualität landesspezifischer (in diesem Fall entsprechend standortspezifischer) Daten z.B. zu den abgelagerten Abfallmengen (1975-1993: ca. 10.000 Mg/a; 1993-2005: ca. 21.000 Mg/a – Summe 1975-2005: 440.000 Mg)
- auf der Anwendung des FOD-Ansatzes mit den deponiespezifisch abgeleiteten Schlüsselparametern, die auf Messungen und daraus abgeleiteten Abschätzungen aufbauen

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:

CH ₄ -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 (DDOCm bzw. C_{bio.}) abgeleitet werden. Für die Deponie Woltersdorf wurde dieser Anteil direkt aus den Untersuchungsergebnissen der 14 Einzelfeststoffproben ermittelt (Kap. 3.1). Das Methanbildungspotenzial L₀ steht nach dem IPCC-Ansatz mit dem bioverfügbaren organischen Kohlenstoffanteil in folgendem Verhältnis (Gleichung 3.2):

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

mit:

L ₀	Methanbildungspotenzial [Mg oder Gg CH ₄]
DDOCm	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):

$$\text{DDOCm} = \text{DDOCm}_0 * e^{-k*t} \quad (\text{Gl. 3.3})$$

mit:

DDOCm	Masse des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs, der unter anaeroben Bedingungen über die Zeit t abgebaut wird [Mg oder Gg]
-------	--

DDOCm ₀	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 Deponie Woltersdorf bedeutet dies in der konkreten Umsetzung:

- Es mussten für die Parameter DDOCm₀, 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 DDOCm bzw. C_{bio.} zu ermitteln, da DDOCm direkt aus den Untersuchungsergebnissen zur biologischen Aktivität der Feststoffproben abgeleitet werden konnte.
- Gemäß Merkblatt „Investive Klimaschutzmaßnahmen“, Hinweise zur Antragstellung, Fassung vom 22.09.2015 der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit ist in Kapitel 3.2 ausgeführt: *„Voraussetzung für eine Förderung ist, dass die Treibhausgas-Emissionen der Deponie durch die Stabilisierung gegenüber einem Vergleichsszenario mit klassischer Deponiegasfassung und Behandlung (entsprechend Anhang 5, Nummer 7 der Deponieverordnung) um mindestens 50% gemindert werden; dabei sind die über den gesamten Bilanzzeitraum bis zum vollständigen Abklingen der durch Methanbildung zu erwartenden Emissionen einzubeziehen.“*

Standortspezifische Werte der Deponie Woltersdorf:

DDOCm	=	10,6 kgC _{bio.} /MgTS zu Beginn der Deponiebelüftung
F	=	0,5 (50% Methananteil im Deponiegas)
L ₀	=	7,1 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	=	6,4 kgCH ₄ /MgTS zum Beginn der Deponiebelüftung (Gl. 3.1 mit Bezug auf 1 Mg Abfall)

Gesamtabfallmasse mit organischen Anteilen:	440.000 Mg anrechenbare Feuchtmasse
Wassergehalt bei der Einlagerung:	ca. 30 %
Massenverlust seit Beginn der Ablagerung und Inertanteil:	ca. 25 %
Gesamtabfallmasse mit organischen Anteilen:	231.000 Mg Trockensubstanz

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

$$\text{CH}_4\text{-Emissionen}_{\text{ges.}} = 6,4 \text{ kgCH}_4/\text{MgTS} * 231.000 \text{ MgTS (Gl. 3.1)}$$

$$\text{CH}_4\text{-Emissionen}_{\text{ges.}} = 1.478 \text{ MgCH}_4 \text{ (Gl. 3.1 mit Bezug auf Gesamtabfallmasse)}$$

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

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

$$1.478 \text{ MgCH}_4 * 28 = 41.395 \text{ MgCO}_{2\text{eq.}}$$

Der aktuelle Gaserfassungsgrad auf der Deponie Woltersdorf kann auf ca. 15-25 % abgeschätzt werden, wie es der Vergleich der bisher erfassten Gasproduktionsrate¹ mit einer Gasprognoserechnung nach dem IPCC Ansatz zeigt (Abbildung 3.6). Dieser Gaserfassungsgrad ist typisch für vergleichbare Deponiestandorte. Gemäß den Angaben des Umweltbundesamts und des Statistischen Bundesamts wird der durchschnittliche Gaserfassungsgrad für alle deutschen Siedlungsabfalldeponien lediglich im Bereich von 22% eingestuft wird (Nationaler Inventarbericht Deutschland 2014, Umweltbundesamt).

¹ Dabei wurde der mittlere Methangehalt im erfassten Rohgasstrom berücksichtigt. Hinweis: Bei der Gasprognoserechnung wird von einem Methangehalt von 50% ausgegangen.

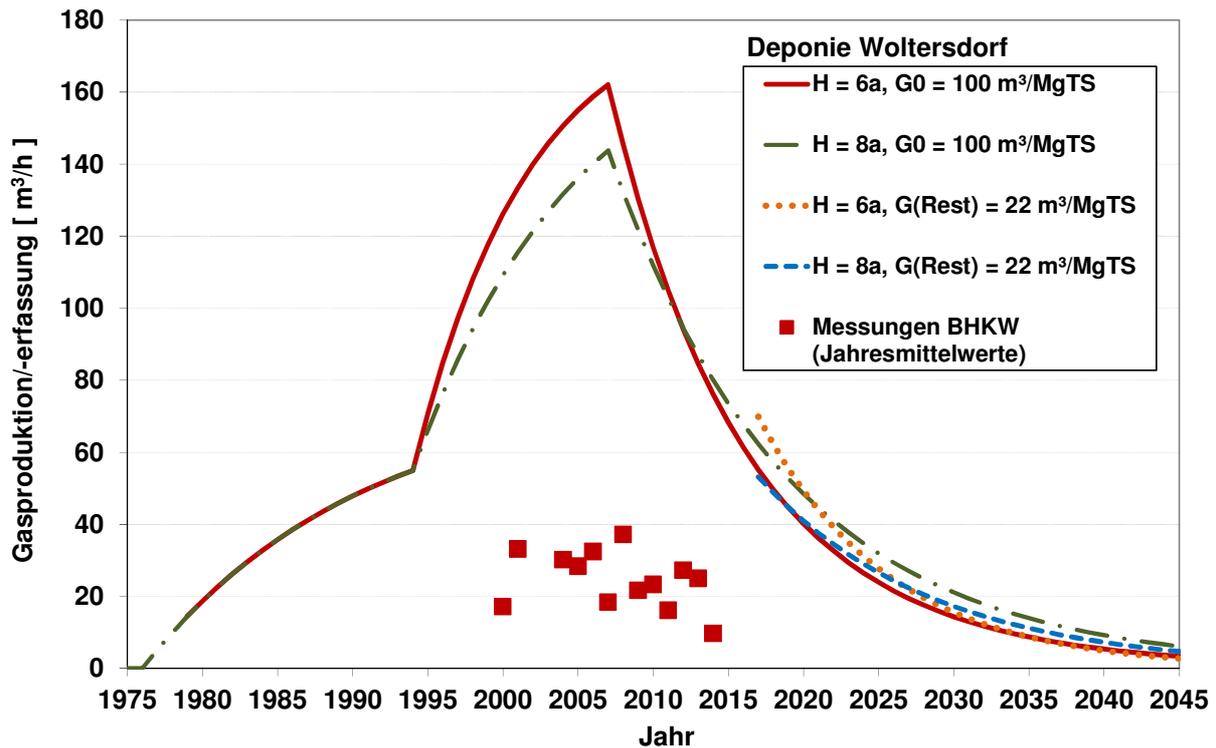


Abb. 3.6: Deponiegasproduktion der Deponie Woltersdorf, erfasste Gasproduktion und Gasprognose aufgrund der Ergebnisse der Abfallfeststoffuntersuchungen 2016

Eine Steigerung des Gaserfassungsgrades wäre am Standort Woltersdorf nur durch eine angepasste Gasbehandlungstechnik bzw. Betriebsweise und ggf. mit Erweiterung des Gaserfassungssystems möglich. Es ist grundsätzlich bei der Auswahl einer geeigneten Anlagentechnik zu thermischen Gasbehandlung zu beachten, dass die herkömmlichen Verfahren zur Deponiegasverwertung und auch die Schwachgasbehandlung technisch bedingt nur über einen befristeten Zeitraum betrieben werden können, aber nicht über 30–40 Jahre, solange die Deponieschwachgasproduktion der Deponie Woltersdorf noch in emissions- und klimarelevanter Größenordnung anhalten kann.

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

$$\Rightarrow 41.395 \text{ MgCO}_{2\text{eq}} \times 0,75 = \mathbf{31.046 \text{ MgCO}_{2\text{eq}}}$$

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

Als **Zielwert der Deponiebelüftung** leitet sich daraus folglich ab, dass davon mindestens 50% oder ca. **15.500 MgCO_{2eq.}** infolge der Deponiebelüftung beschleunigt und kontrolliert reduziert werden.

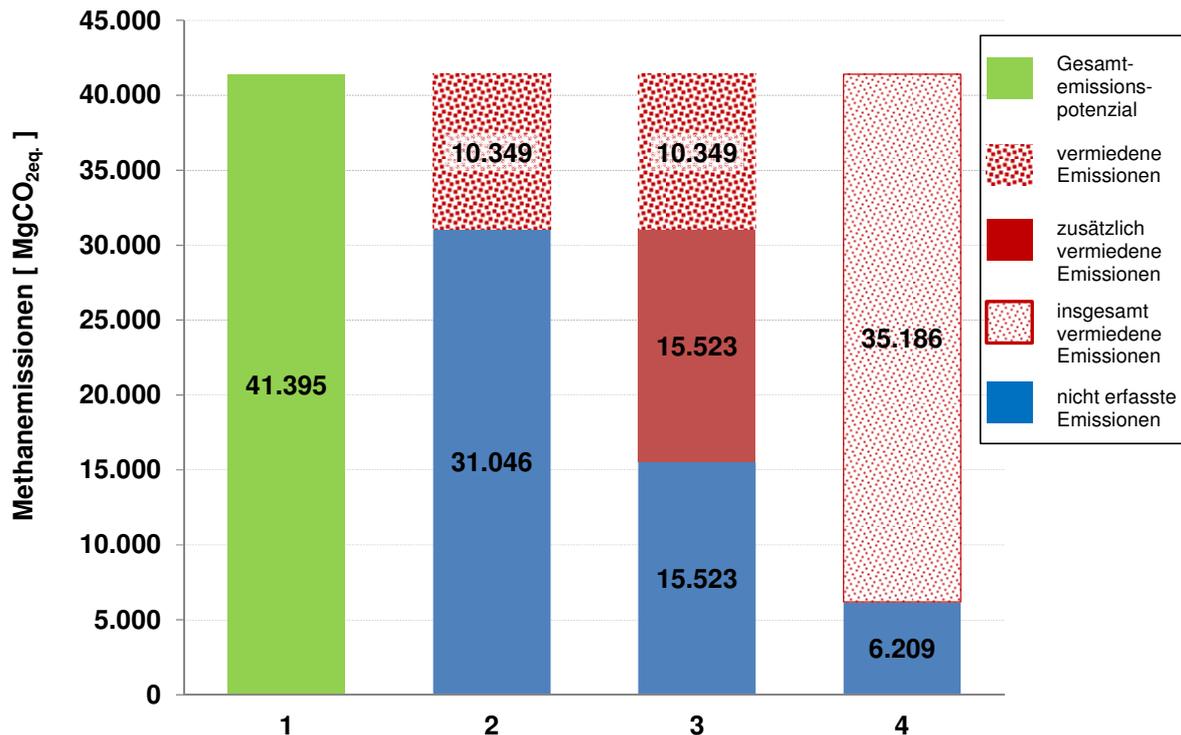
Erfahrungen bei der **Deponiebelüftung** mit der Niederdruckbelüftung wie im BMBF-Vorhaben „Deponiebelüftung der Altdeponie Kuhstedt“ und an weiteren Deponien haben gezeigt, dass eher **80 – 90% der klimarelevanten Methanemissionen** (Gesamtmethanemissionspotenzial: 41.395 MgCO_{2eq.}) infolge der Deponiebelüftung **vermeidbar** sind, d.h. **33.000 – 37.000 MgCO_{2eq.}**, da

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

In dieser Abschätzung sind die Sekundäremissionen durch den Stromverbrauch der Belüftungseinrichtungen bereits berücksichtigt. Sie betragen für die Deponiebelüftung der gesamten Deponie Woltersdorf voraussichtlich:

Betriebszeitraum Deponiebelüftung:	6-8 Jahre bzw. 45.000-60.000 Bh
Energiebedarf durchschnittlich:	ca. 30 kW (bei aktiver Belüftung)
Sekundäremission Stromproduktion:	ca. 0,6 kgCO _{2eq.} /kWh
max. Sekundäremission gesamt:	810-1.080 MgCO _{2eq.}

In Abbildung 3.7 sind die aufsummierten Emissionen und Emissionsminderungen als Balkendiagramme dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die erzielbaren Emissionsminderungen infolge einer Belüftungsmaßnahme in Szenario 3 und 4 mindestens der Anforderung der NKI-Klimaschutzinitiative entsprechen (**50% zusätzliche Emissionsminderung im Vergleich zum Referenzszenario**) und voraussichtlich deutlich übertreffen (Szenario 4).



- 1) Gesamtemissionspotenzial der Deponie Woltersdorf ab 2018
- 2) Vergleichsszenario mit „klassischer“ Gaserfassung und Beseitigung
- 3) Szenario Deponiebelüftung mit Vermeidung von mindestens 50% der Methanemissionen bezogen auf das Vergleichsszenario
- 4) Szenario Deponiebelüftung mit angestrebter Vermeidung von ca. 85% der Methanemissionen bezogen auf das Gesamtemissionspotenzial (Referenzerfahrungen belüfteter Deponien mit der Niederdruckbelüftung)

Abb. 3.7: Potenziale der Treibhausgas-Emissionsminderung auf der Deponie Woltersdorf bei der aeroben in situ Stabilisierung und einem Referenzszenario

Die o.g. Förderungsvoraussetzung hinsichtlich der geforderten Emissionsreduzierung um mindestens 50% wird damit sicher erfüllt. Um den hohen Reduktionsgrad von 80 – 90% der klimarelevanten Methanemissionen zu gewährleisten, wurde als Annahme zu sicheren Seite von ca. 8 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 unter dem Aspekt der zukünftigen Deponiebelüftung und zur Entwicklung eines standortbezogen angepassten Deponiebelüftungsverfahrens wurden im Sommer 2016 umfangreiche Absaug- und Belüftungsversuche zur aeroben in situ Stabilisierung auf der Deponie Woltersdorf durchgeführt. Damit sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- Ist es technisch möglich, über die bestehenden und ggf. zu ergänzende neue Gasbrunnen ausreichende Zuluftvolumina in den Deponiekörper einzubringen?
- Wie breitet sich die eingebrachte Luft im Deponiekörper aus?
- Welche ersten Auswirkungen hat die Luftzugabe auf den Gashaushalt des Deponiekörpers im Hinblick auf den Klimaschutz?
- 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 Durchführung der Absaug- und Belüftungsversuche

Als Belüftungsbrunnen wurden die im Juli 2016 im Erweiterungsbereich EWA I niedergebrachten Gaspegel MP01-MP05 sowie die Gasbrunnen GB22, GB21 und GB20 genutzt. (Lage: s. Abbildung 3.8).

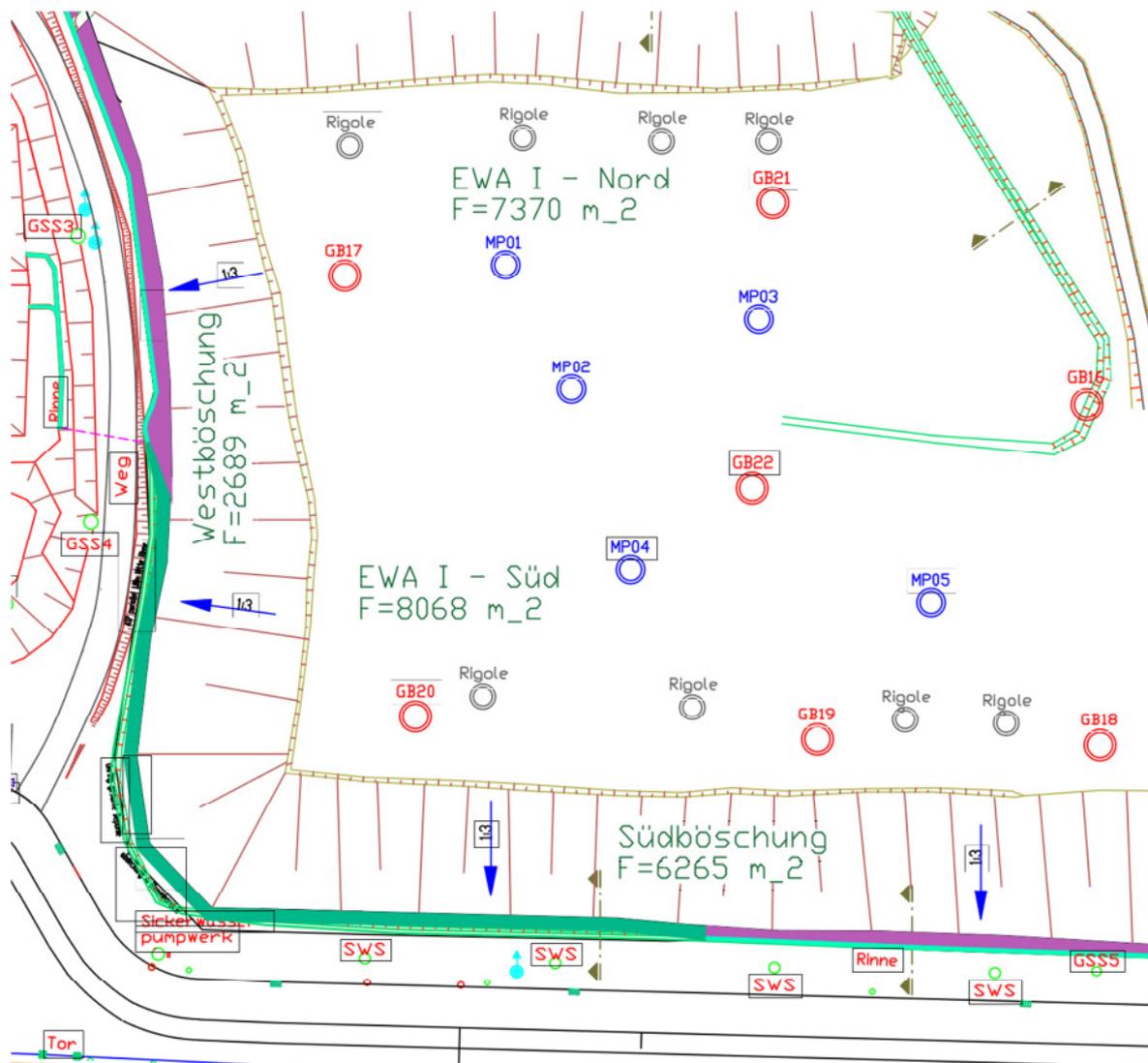


Abb. 3.8: Lage der Gaspegel MP01-MP05 und der Gasbrunnen GB22, GB21 und GB20 sowie der Gassammelstationen GSS 3, GSS 4 und GSS 5 auf der Deponie Woltersdorf

In der ersten Phase wurden die Gaspegel bzw. der Gasbrunnen zunächst abgesaugt und anschließend in der zweiten Phase im Tagbetrieb belüftet. Da die auf dem Standort vorhandene Gasverwertungsanlage im Untersuchungszeitraum zeitweise außer Betrieb war, konnte das Untersuchungsprogramm bis zur maximalen Belastungsstufe des Verdichters auch an den Bestandsgasbrunnen durchgeführt werden.

Bei den Untersuchungen wurden die Alt- und Erweiterungsbereiche EWA II und EWA III nicht untersucht (Hinweis: EWA II und EWA III ohne Klimarelevanz, da nur mit mineralischen Abfällen verfüllt bzw. für die Untersuchung explizit ausgeschlossen

worden). Die Altbereiche sind bereits mit einer endgültigen Oberflächenabdichtung versehen und sollen im Rahmen einer möglichen Deponiebelüftungsphase nur soweit abgesaugt werden, wie dieses unter emissionstechnischen und klimaschutztechnischen Gesichtspunkten erforderliche ist.

Um das Ausbreitungsverhalten der eingebrachten Luft zu untersuchen, wurden im Umfeld der jeweils abgesaugten bzw. belüfteten Gaspegel/-brunnens die umliegenden Gaspegel und Gasbrunnen in das Messprogramm mit einbezogen. Dieses erfolgte entweder direkt an den Gaspegeln und Gasbrunnen oder über die Gasmessstellen in den Gassammelstationen GS 4 und GS 5 im Westen und Süden der Deponie.

Die Versuche wurden mit einem umfangreichen Monitoringprogramm begleitet. Die betreffenden Gasbrunnen wurden (oder waren aufgrund geringer Gasproduktionsraten) während des Versuchs vom Gesamtentgasungssystem getrennt. Die Absaugung und Belüftung erfolgte mittels einer mobilen Belüftungsanlage.

Zusätzlich wurde an allen vertikalen Gasbrunnen und horizontalen Gasdrainagen, die an den Gassammelstationen GSS 3, GSS 4 und GSS 5 angeschlossen sind, die Gaszusammensetzung gemessen und der Zustand der Brunnen visuell geprüft.



Abb. 3.9: Anschluss temporäre Gasleitung zum Absaug- und Belüftungsversuch am Messpegel (links) und am Gasbrunnen (rechts)

Der Anschluss der temporären Gasleitungen der mobilen Absaug- und Belüftungsanlage an den Gasmesspegel und den Gasbrunnen erfolgte direkt am Pegelkopf oder über den vorhandenen Leitungsstutzen am Gasbrunnenkopf (Abbildung 3.9).

Versuchsanlage

Die mobile Anlage zur Absaugung und Belüftung (Abbildung 3.10, Verfahrensfließbild: Abbildung 3.11) ist auf einem Anhänger montiert und besteht im Wesentlichen aus:

- frequenzgesteuertem Seitenkanalverdichter (Volumenstrom: max. 150 m³/h)
- Stromanschluss 400 V
- Gassammelbalken mit 3 Anschlüssen sowie diversen Messstutzen
- Steuereinheit/Frequenzumrichter (FU)
- einer weiteren Messstrecke, jeweils direkt am zu beprobenden Gasmesspegel
- diversen Anschlüssen und Schläuchen/temporären Gasleitungen
- Stromaggregat zur netzunabhängigen Erzeugung der notwendigen Stromversorgung (400 V)

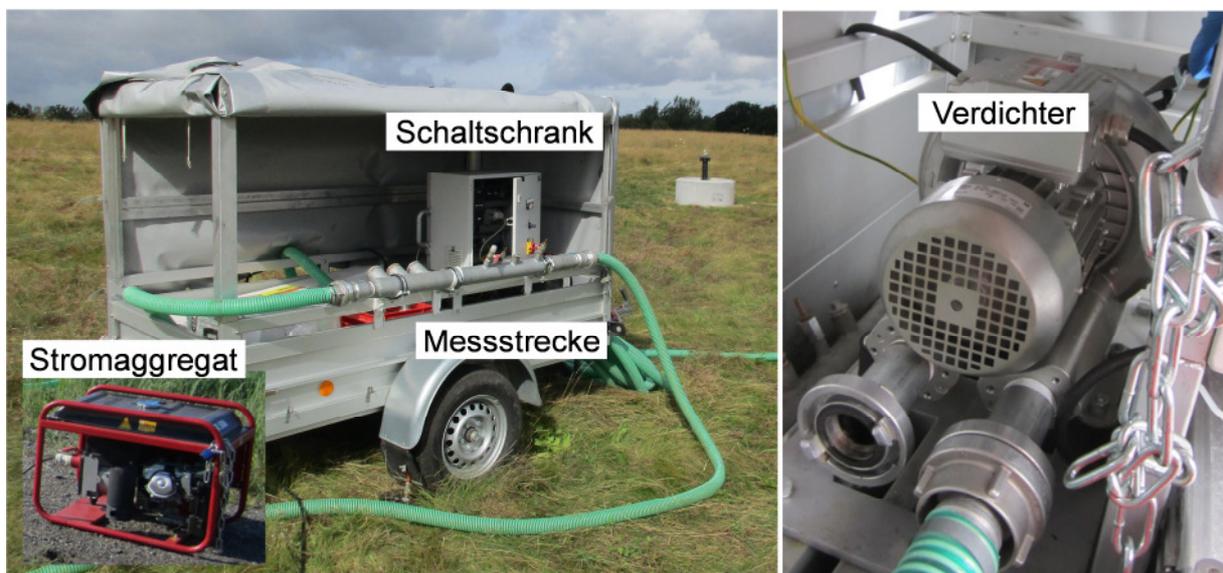


Abb. 3.10: Mobile Absaug- und Belüftungsanlage

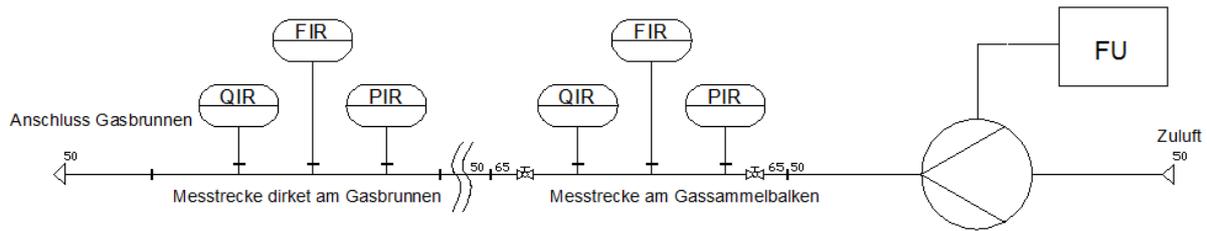


Abb. 3.11: Verfahrensfliessbild (R&I Schema) mobile Absaug- und Belüftungsanlage; hier Darstellung Belüftungsmodus

Für die Funktionsprüfung (kurzzeitige Absaug- und Belüftungsversuche) wurde für jeden Gasmesspegel und die Gasbrunnen ein Protokoll erstellt, in dem folgende Daten festgehalten sind:

- Datum/Uhrzeit
- meteorologische Rahmenbedingungen: p_{ATM} [hPa bzw. mbar], rF [%]
- Deponiegas- und Abluftzusammensetzung CH_4 , CO_2 , O_2 [in Vol.-%] sowie H_2S und CO [in ppm], gemessen an der Messstrecke direkt am Gasmesspegel
- Über- oder Unterdruck p [hPa bzw. mbar], gemessen an der Messstrecke direkt am Gasmesspegel
- Belüftungs- und Absauggeschwindigkeit v [m/s] zur Bestimmung des Absaug- und Belüftungsvolumens Q [m^3/h] am abgesaugten bzw. belüfteten Gasmesspegel, bestimmt an der Messstrecke direkt am Gasmesspegel
- Lichtlot- und Temperaturmessungen

Die Messungen wurden mit Hilfe einer Messstrecke „gasbrunnennah“ durchgeführt, um die Verhältnisse am Gasmesspegel/Gasbrunnen direkt zu ermitteln.

Beschreibung der Gasprobenahme und Analysenmethoden

In Tabelle 3.1 ist die im Rahmen der Absaug- und Belüftungsversuche eingesetzte Messtechnik zusammengefasst.

Tab. 3.1: Eingesetzte Messtechnik

Messgerät / Messgröße	Typ / Messprinzip	Hersteller
Mobile Gasmessgeräte für CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S, CO	SR2DO Wärmeleitfähigkeit für CH ₄ , CO ₂ elektrochemische Messzelle für O ₂ , H ₂ S, CO	Sewerin
	BM5000 Infrarot für CH ₄ , CO ₂ elektrochemische Messzelle für O ₂ , H ₂ S, CO	Ansyco
Flammenionisationsdetektor (FID), kalibriert auf CH ₄	PORTAFID M3: Flammenionisation mit Brenngas: 1 – 21.000 ppm	Sewerin
Druck in hPa	Druckmessdose 0,1 – 100 hPa (Über- und Unterdruck)	Testo
	Druckmessgerät mit Rohrfeder -1 – 0 mbar (Unterdruck)	WIKA
Gasvolumenstrom in m/s Meteorologische Daten	Flügelradanemometer bis 40 m/s	Testo
	Temperatur: Pt1000 Feuchte: kapazitiver Feuchtesensor Luftdruck: piezoresistiver Sensorhybrid	Greisinger

Mit den eingesetzten mobilen Gasanalysegeräten (SR2DO, Fa. Sewerin; BM5000, Fa. Ansyco) werden die Konzentrationen der Deponiegasanteile Methan, Kohlendioxid und Sauerstoff sowie der Spurenstoffe H₂S und CO gemessen. Vor Inbetriebnahme der Messeinrichtung wurden die Geräte gegen die unbelastete Umgebungsluft kalibriert. Die Beprobung der Messstellen erfolgte jeweils bis zur Messwertkonstanz.

Bei dem verwendeten **Flammen-Ionisations-Detektor** FID (Firma Hermann Sewerin) handelt es sich um ein tragbares Gasspürgerät mit eigener Stromversorgung, das die Gasproben mittels Pumpe ansaugt und auf **Kohlenwasserstoffe** KW, in diesem Fall auf die Deponiegashauptkomponente Methan, analysiert.

Zusätzlich wurde an allen vertikalen Gasbrunnen, die über Messstutzen am Brunnenkopf direkt beprobt werden konnten, die Gaszusammensetzung sowie Gasdrücke gemessen und der Zustand der Brunnen im Einflussbereich der Maßnahme visuell geprüft.

3.3.2 Ergebnisse der Absaug- und Belüftungsversuche

Im Rahmen der Untersuchungen sollte zunächst geklärt werden, inwieweit in den untersuchten Ablagerungsbereichen die Gaswegigkeiten des Deponiekörpers für eine Belüftung geeignet sind. Hierfür wurden kurzzeitige Absaug-/Übersaug- und Belüftungsversuche durchgeführt. Zur Beurteilung der Gaswegigkeit wurden während der Versuche die Absaug- und Belüftungsvolumina sowie die zugehörigen Drücke aufgezeichnet.

Kurzzeitversuche: Aufnahme von Pegel- und Brunnenkennlinien

Zur Vergleichbarkeit der Gaspegel/Gasbrunnen untereinander und zur Abdeckung des gesamten möglichen „Leistungsspektrums“ wurde die Drehzahl des frequenzgesteuerten Verdichters in 5 Hz-Schritten von 5 Hz bis auf 50 Hz erhöht. So konnten an den Gaspegeln MP01-MP05 und den Gasbrunnen GB20-GB22 Volumenströme bis 110 m³/h bei der Absaugung und bis 130 m³/h bei der Belüftung realisiert werden (Abbildung 3.12 und 3.13).

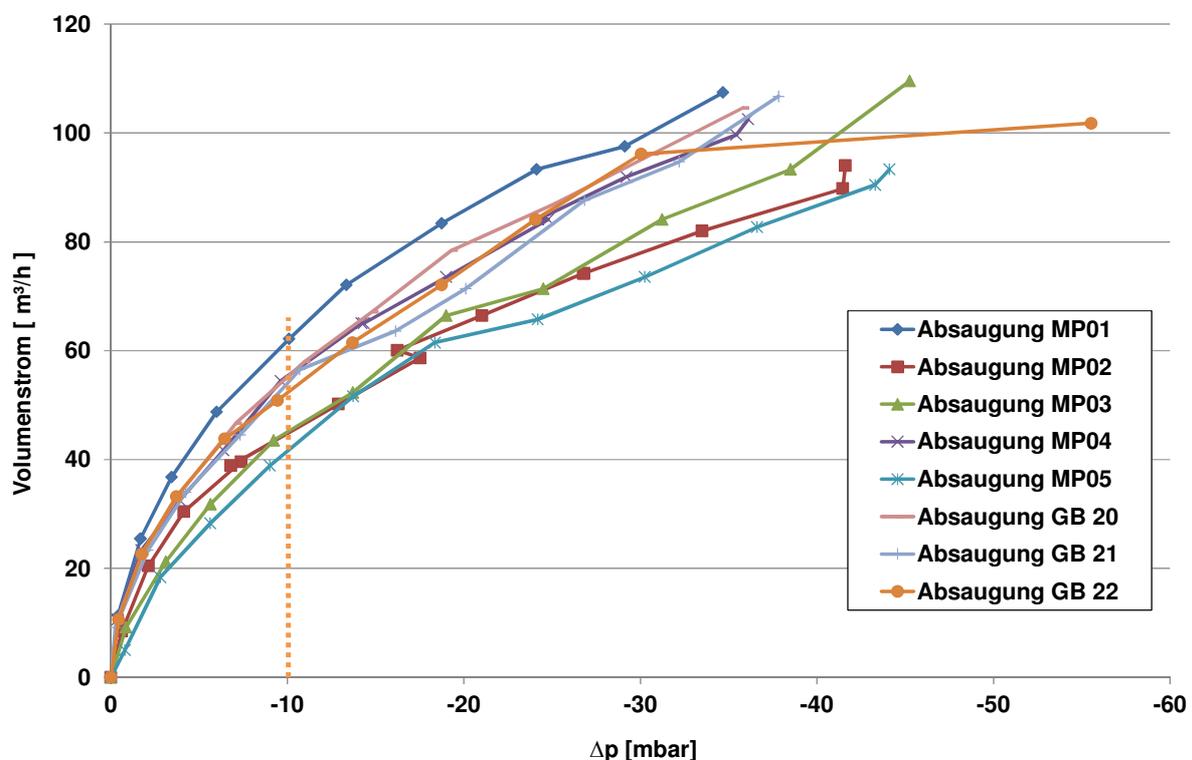


Abb. 3.12: Realisierbare Absaugvolumenströme je Gaspegel/-brunnen in Abhängigkeit des Saugdruckes (Unterdruckes) im Rahmen der Absaugversuche 2016 auf der Deponie Woltersdorf

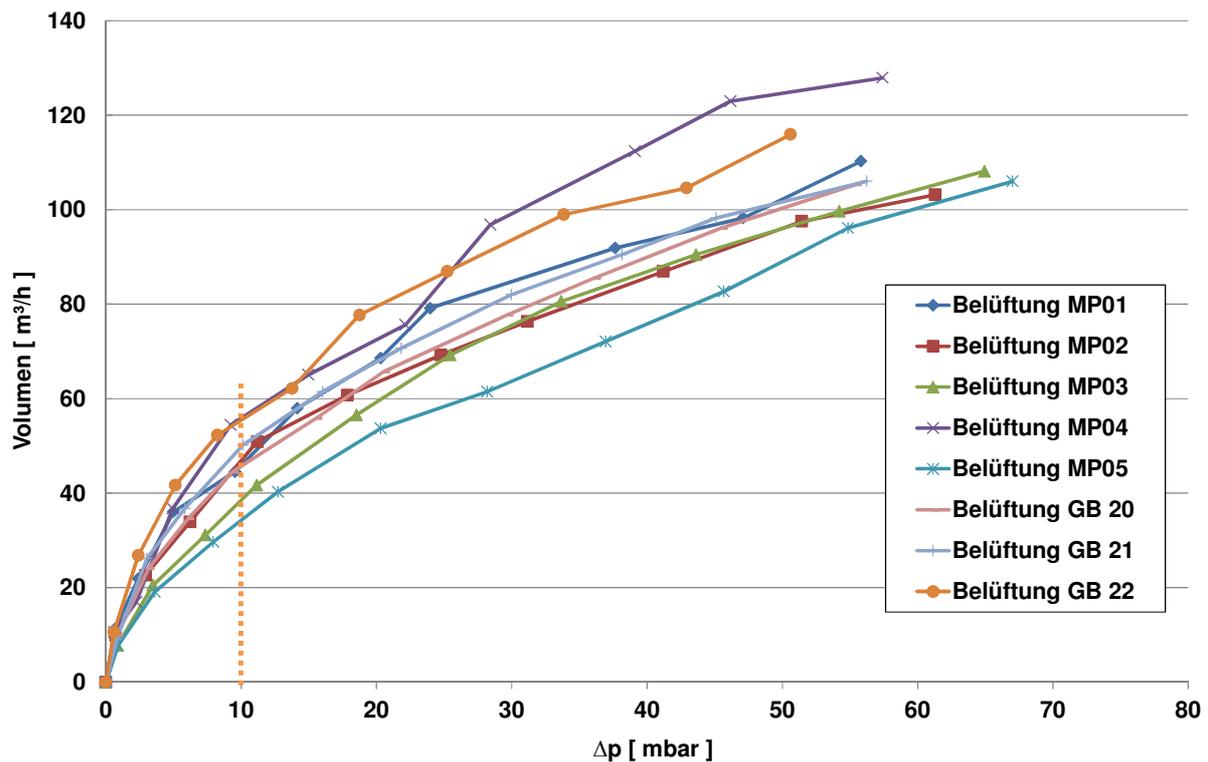


Abb. 3.13: Realisierbare Belüftungsvolumenströme je Gaspegel/-brunnen in Abhängigkeit des Belüftungsdruckes im Rahmen der Belüftungsversuche 2016 auf der Deponie Woltersdorf

Die Abbildungen 3.12 und 3.13 zeigen die Entwicklung der Absaugvolumina in Abhängigkeit von den Unter- bzw. Überdrücken an den abgesaugten bzw. belüfteten Saugpegeln und Gasbrunnen:

- Mit zunehmenden Drücken steigen die Absaugvolumina erwartungsgemäß an.
- Die Unterschiede zwischen den untersuchten Gaspegeln und -brunnen sind insgesamt gering. Dieses ist aufgrund der Standortbedingungen (geringe Ablagerungsmächtigkeit, geringe Wassergehalte in den Abfallfeststoffproben, ähnliche Ausbautiefen der Gaspegel und -brunnen) nachvollziehbar. In ähnlicher Form konnte dieses auch an anderen vergleichbaren Deponiestandorten festgestellt werden.
- Unter Berücksichtigung eines „Vergleichsdrucks“ von 10 mbar (Unter- bzw. Überdruck) ist für alle Gaspegel und Gasbrunnen zu erkennen, dass unter Berücksichtigung der Randbedingungen in den Ablagerungsbereichen bei etwa 40-60 m³/h während der Absaugversuche und 35-55 m³/h während der Belüftungsversuche realisiert werden konnten.

Insgesamt zeigten bereits die Ergebnisse der Kurzzeitversuche, dass der untersuchte Ablagerungsbereich eine gute bis sehr gute Gaswegigkeit aufweist und somit für eine Deponiebelüftungsmaßnahme gut geeignet ist.

Verteilung der eingebrachten Luft im Deponiekörper

Die Verteilung der eingebrachten Luft im Deponiekörper konnte anhand der Überdruckbildung sowie an der Veränderung der Gaszusammensetzung an den Gaspegeln/-brunnen bestimmt werden. Folgende Entwicklung war zu erkennen:

- Durch die Absaugung und Belüftung der Gaspegel MP01–MP05 und der Gasbrunnen GB20–GB22 konnte bei nahezu allen Pegeln/Brunnen bereits innerhalb weniger Stunden eine Veränderung der Gaszusammensetzung direkt an der abgesaugten bzw. belüfteten Messstelle beobachtet werden (Ausnahme MP04-MP05).
- Im Rahmen der Absaugversuche konnten gewisse Unterschiede der Auswirkungen zwischen dem nördlichen und südlichen Ablagerungsbereich festgestellt werden:
 - Im nördlichen Teil des Erweiterungsbereichs EWA I ließ sich eine Abnahme der Methan- und Kohlendioxidgehalte beim Absaugversuch beobachten (MP01 – MP03). Exemplarisch werden in Abbildung 3.14 die Ergebnisse des Absaugversuchs am Gaspegel MP02 dargestellt. Hier nahm sowohl der Methan- (von 65 auf 47 Vol.-%) als auch der Kohlendioxidgehalt (von 26 auf 17 Vol.-%) im abgesaugten Deponiegas ab.
 - Im südlichen Teil des Erweiterungsbereichs EWA I konnten während der Absaugphase keine nennenswerten Veränderungen der Methan- und Kohlendioxidgehalte festgestellt werden (MP04, MP05 und GB20). Die Ergebnisse werden in Abbildung 3.15 exemplarisch für den Absaugversuch am Gaspegel MP05 dargestellt. Sowohl der Methan- als auch der Kohlendioxidgehalt blieben während des kurzzeitigen Absaugversuchs nahezu konstant.

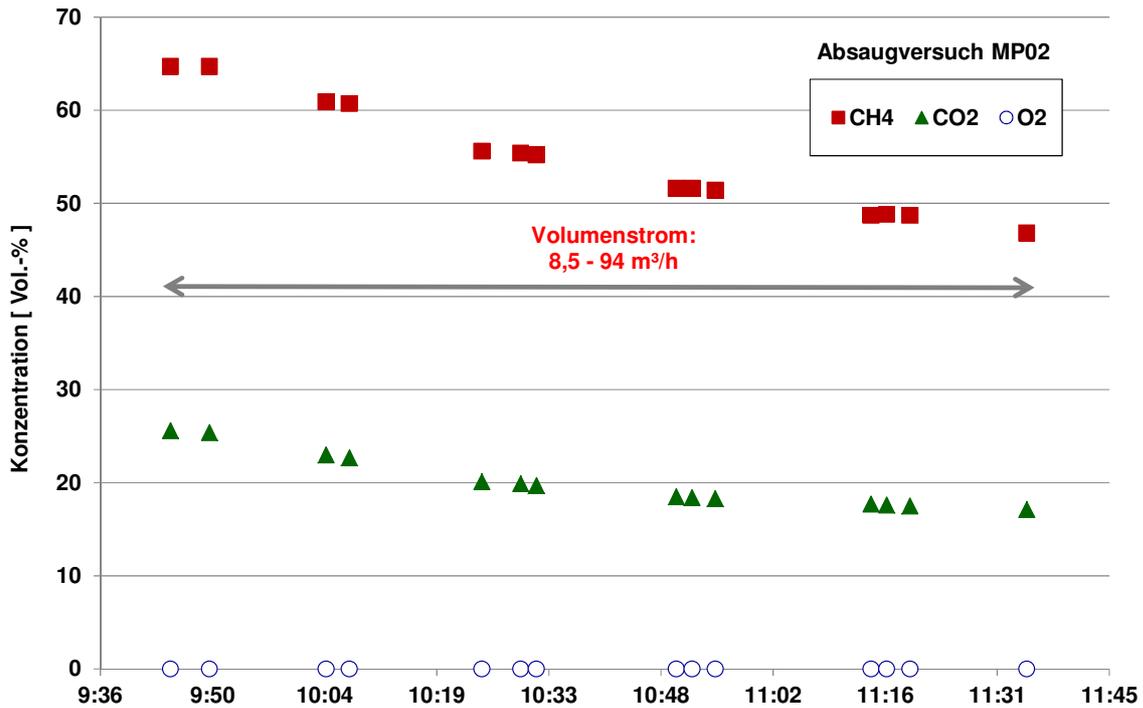


Abb. 3.14: Veränderung der Gaszusammensetzung während des Absaugversuchs am Gaspegel MP02 (Deponie Woltersdorf, 10.08.2016)

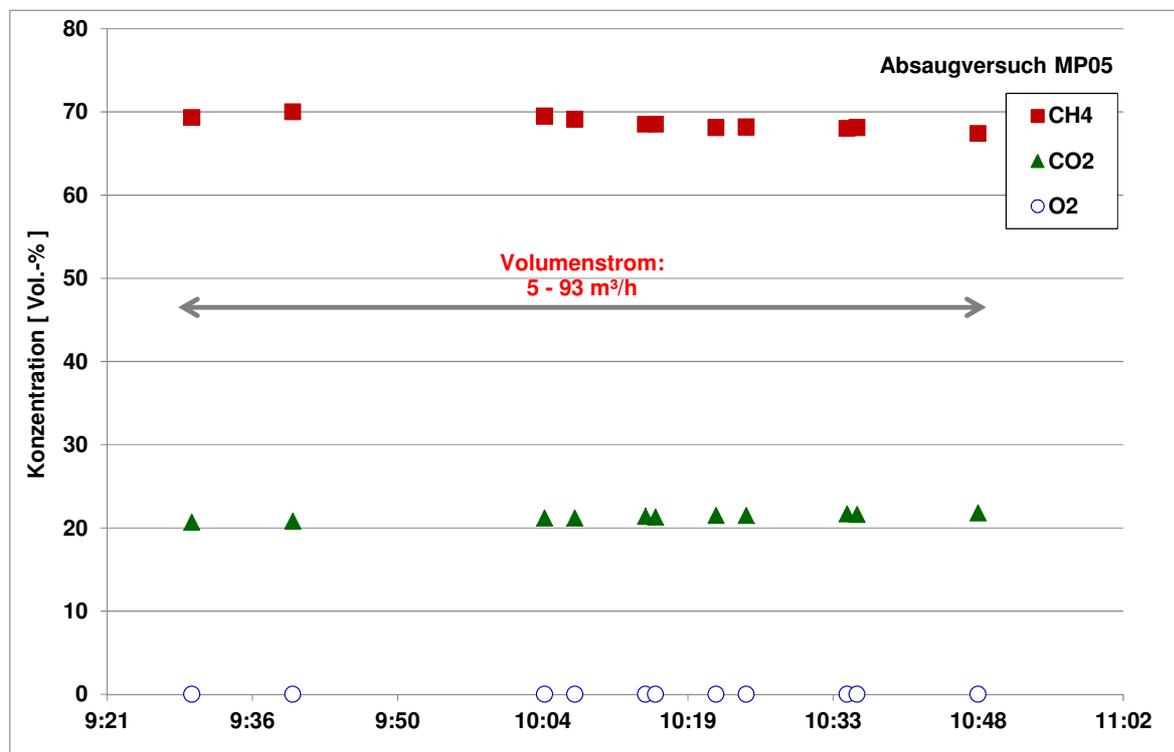


Abb. 3.15: Veränderung der Gaszusammensetzung während des Absaugversuchs am Gaspegel MP05 (Deponie Woltersdorf, 11.08.2016)

- Eine Zunahme des Methan- und Kohlendioxidgehaltes konnte bei den Gasbrunnen GB20 und GB22 beobachtet werden. Exemplarisch werden hier die Ergebnisse vom Gasbrunnen GB22 dargestellt, bei dem der Methan- (von 36 auf 43 Vol.-%) sowie der Kohlendioxidgehalt (von 15 auf 17 Vol.-%) zunahm (Abbildung 3.16). Nach der zwischenzeitlichen Belüftungsphase und der wiederholten Absaugung lässt sich eine deutliche Senkung der Methan- und Kohlendioxidgehalte erkennen. Während der anschließenden erneuten Absaugung stiegen die Methan- (von 9 auf 17 Vol.-%) und Kohlendioxidgehalte (von 4 bis 8 Vol.-%) wieder an. Zudem lässt sich beobachten, dass das CH_4/CO_2 -Verhältnis insgesamt von ca. 2,5 auf 2,0 abgesunken ist.

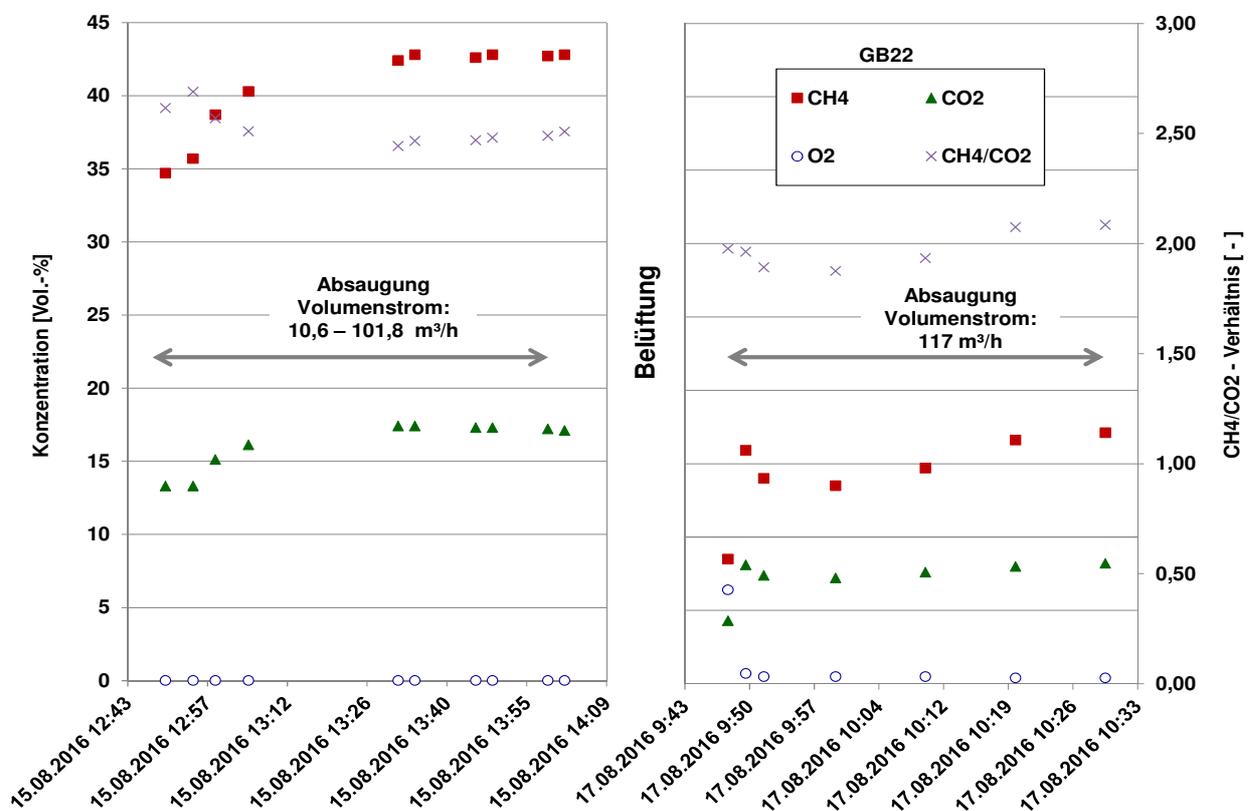


Abb. 3.16: Veränderung der Gaszusammensetzung während des Absaugversuchs mit anschließender Belüftung und weiterer Absaugung am Gasbrunnen GB22 (Deponie Woltersdorf, 15.08.2016 – 17.08.2016)

- Die Belüftung hatte in Abhängigkeit der Entfernung und des angelegten Drucks (bzw. Volumenstroms) bei allen Messstellen in der Umgebung des jeweiligen Belüftungspegels/-brunnens einen Anstieg des Drucks (Überdruck) zur Folge.

Exemplarisch wird dieses für den Belüftungsversuch am Gaspegel MP02 in Abbildung 3.17 dargestellt. Im Rahmen des Belüftungsversuchs nahmen Gasdrücke an den umliegenden Gasmessstellen/Gasbrunnen MP01, MP03, MP04, MP05, GB17 und GB22 in Abhängigkeit der Belüftungsdrücke zu.

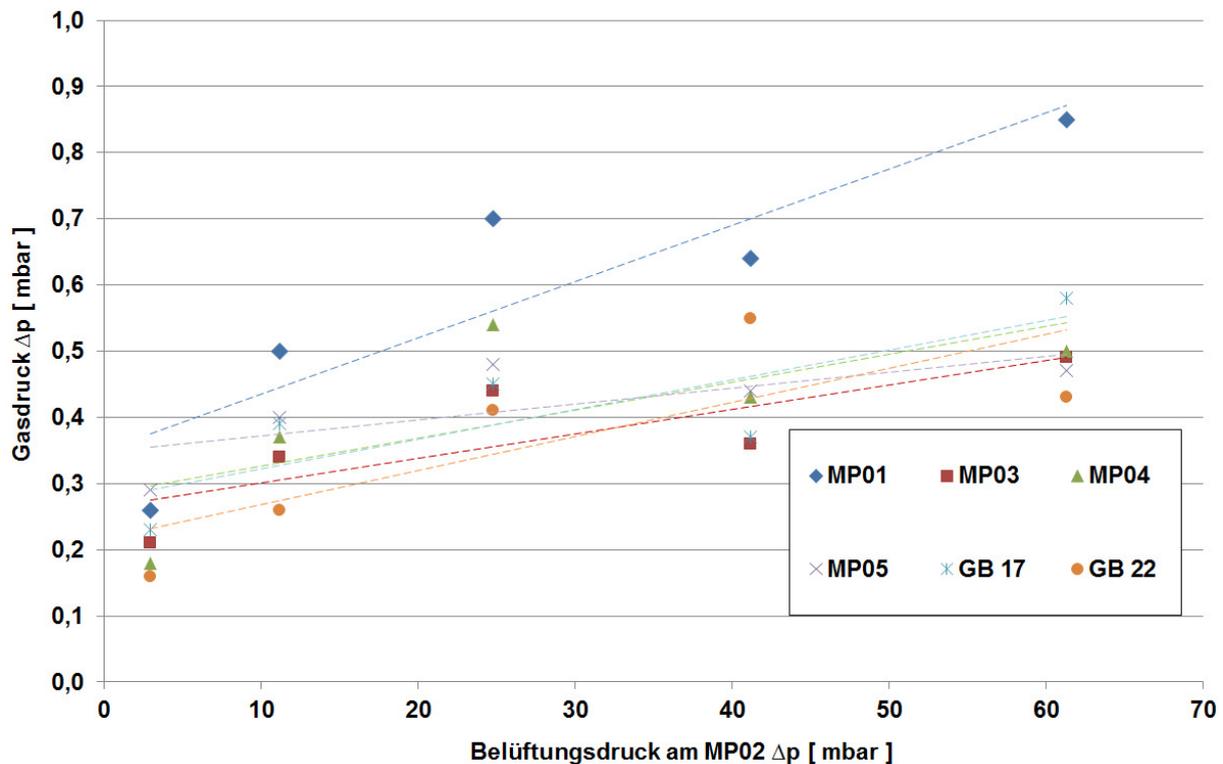


Abb. 3.17: Veränderung der Gasdrücke an den Gasmessstellen/Gasbrunnen MP01, MP03, MP04, MP05, GB17 und GB22 während des Belüftungsversuches an Gaspegel MP02 (Deponie Woltersdorf am 10.08.2016)

- Auch diese Versuche bestätigen, dass der Deponiekörper eine gute und gleichmäßige Gaswegigkeit aufweist.
- Nach Beginn der Belüftung bzw. Veränderung der Belüftungsleistung dauerte es in Abhängigkeit der Entfernung nur wenige Minuten, bis die Auswirkungen auf die Druckverhältnisse messtechnisch erfasst werden konnten.
- Eine Beeinflussung der Druckverhältnisse oder Gaszusammensetzungen über eine längere Distanz von mehr als 40-50 m war an den Messstellen nicht festzustellen. Eine Übersicht der Einflüsse der Druckverhältnisse bzw. Gaszusammensetzungen zwischen Gaspegeln und Gasbrunnen zeigt Abbildung 3.18.

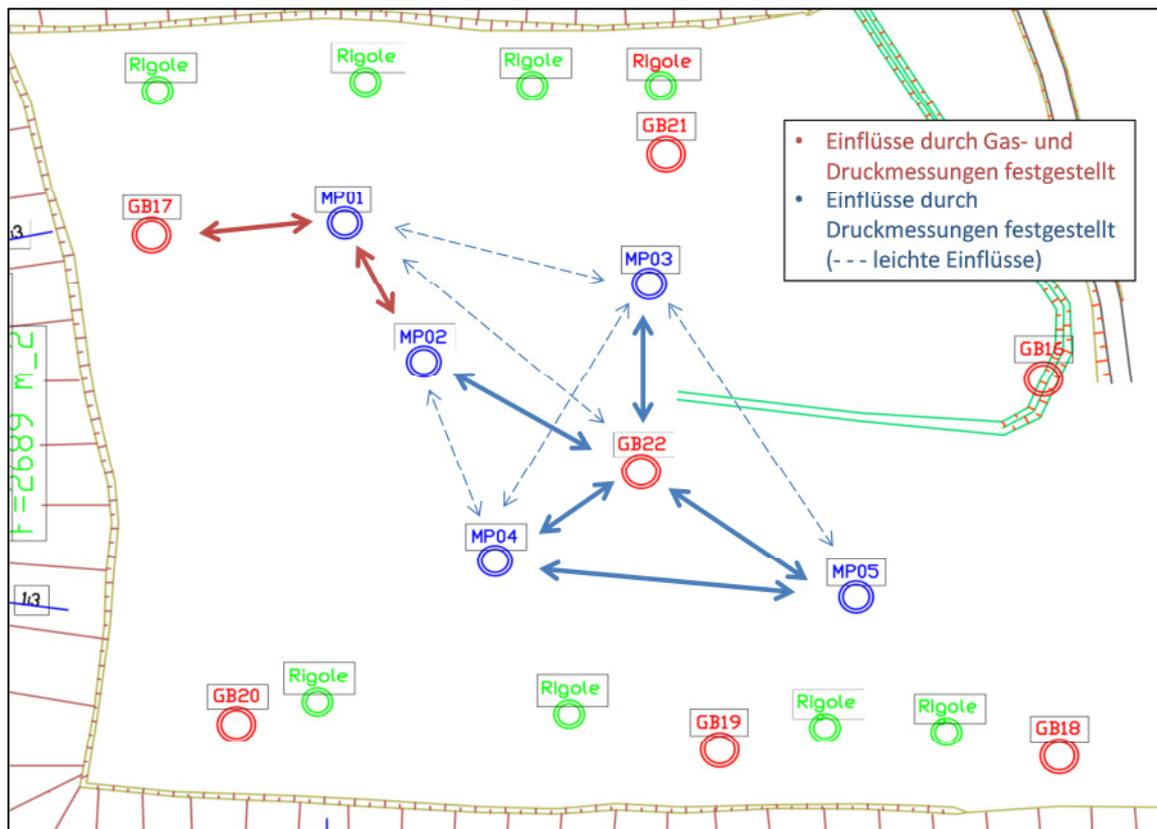


Abb. 3.18: Übersicht der Einflüsse der Druckverhältnisse bzw. Gaszusammensetzungen zwischen Gaspegeln und Gasbrunnen auf der Deponie Woltersdorf

Auswirkungen der Absaugung und Belüftung auf die Gaszusammensetzung im Deponiekörper

Insgesamt konnte im Rahmen der kurzzeitigen Absaug- und Belüftungsversuche am Gasmesspegel MP01 bereits eine Beeinflussung der Gaszusammensetzung an den umliegenden Gasmesspegel MP02 und dem Gasbrunnen GB17 festgestellt werden. Diese war zwar weniger ausgeprägt als die Beeinflussung, die anhand der Druckmessungen festgestellt wurden, aber dennoch ist eine Abnahme der Methangehalte an den Messpegel MP01 und MP02 sowie GB17 während des ca. 26 Stunden andauernden Absaugversuchs bereits bei einem Absaugvolumenstrom am MP01 von ca. 66 m³/h messbar (Abbildung 3.19).

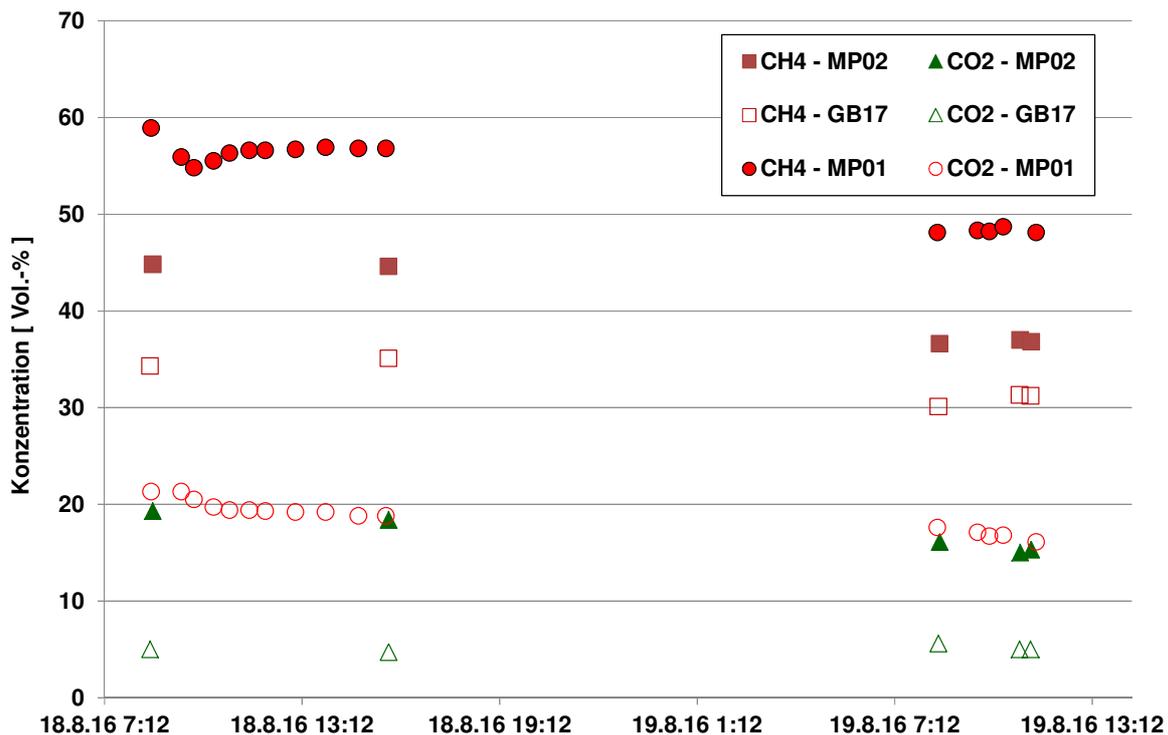


Abb. 1.19: Veränderung der Gaszusammensetzung an den Gasmesspegeln MP01 und MP02 sowie am Gasbrunnen GB17 während der Absaugphase am Gaspegel MP01 bei einem Absaugvolumenstrom von ca. 66 m³/h (Deponie Woltersdorf)

Diese unterschiedlichen Auswirkungen der Absaugung und Belüftung auf die umliegenden Gaspegel und Gasbrunnen sind am Standort Woltersdorf vornehmlich auf die Entfernung der jeweiligen Messstellen von den Absaug- bzw. Belüftungsstellen zurückzuführen, d.h. mit zunehmender Entfernung sinkt die Beeinflussbarkeit (s.o.).

Hinweise: Im Versuchsbetrieb wurden auch die Temperaturen und Kohlenmonoxidgehalte überwacht, wobei sich keine unerwarteten Anomalien zeigten.

Ergänzende Untersuchungen am Gaserfassungssystem

Alle Gasbrunnen und Gasbrunnenköpfe machen visuell einen guten Eindruck und befinden sich in einem insgesamt guten und weitgehend funktionstüchtigen Zustand. Die Gassammelstationen zeigen einen befriedigenden bis guten Zustand.

Unkontrollierte Gasemissionen während der Belüftungsphase

Um mögliche Deponiegasemissionen über die Oberfläche zu ermitteln, wurde mit einem Flammen-Ionisations-Detektor (FID) beim Belüftungsversuch am Gasbrunnen GB22 bei moderaten bis erhöhten Belüftungsdrücken (20-50 mbar) eine Begehung der angrenzenden Oberflächen durchgeführt. Die Messungen wurden bei Trockenwetter vorgenommen.

Während der Belüftung bestand im Deponiekörper ein erhöhter Gasdruck, was im Vergleich zum ungestörten Zustand bzw. während des normalen Gaserfassungsbetriebes zu einem erhöhten Gasaustausch über die Oberfläche führt („worst case“-Bedingungen). Auf diese Weise sollte aufgrund des höheren Innendrucks im Deponiekörper aufgezeigt werden, wo potenzielle Gasaustrittsstellen liegen und wie sich die Ausgasung in den unterschiedlichen Bereichen quantitativ verteilt. Die FID-Begehung erfolgte nicht als reine Rasterbegehung, sondern es wurden vor allem potenziell bevorzugte Gasaustrittspunkte (Durchbrüche der Gaspegel und Gasbrunnen, Randabschlüsse etc.) im Plateau- und Böschungsbereich überprüft.

Es konnten bei den FID-Begehungen keine unkontrollierten, flächigen Methanemissionen festgestellt werden. Punktuell waren leicht erhöhte Methanfreisetzungen insbesondere im Bereich um einzelne Gaspegel und Gasbrunnen messbar. Diese unterschieden sich von den Ergebnissen der FID-Begehung während der Kontrollmessungen. Ferner konnten punktuelle Methanfreisetzungen im Übergangsbereich zwischen der KDB und dem Oberflächenentwässerungsgraben festgestellt werden.

Grundsätzlich ist zu erwähnen, dass während des Belüftungsversuchs über nur einen Gasbrunnen während der FID-Begehungen ca. 66 m³/h Luftvolumen in den Deponiekörper eingeblasen wurde, während zeitgleich keine Gasabsaugung erfolgte. Hierdurch war zu erwarten, dass infolge des Überdrucks an Stellen mit erhöhter Gaswegigkeit Austritte festzustellen sind, die jedoch nicht den späteren Regelbetrieb zur Deponiebelüftung abbilden. Zur Vermeidung unkontrollierter Emissionen über die Oberfläche wird bei einer späteren in situ Stabilisierung mehr Abluft abgesaugt als über die Belüftung zuströmt. Dadurch ist der Emissions- und Klimaschutz gewährleistet.

3.3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Vorversuchen

Die Untersuchungen im Sommer 2016 bestätigen, dass eine Stabilisierung der Deponie Woltersdorf durch die in situ Belüftung zur Verbesserung des Emissionsverhaltens geeignet und technisch durchführbar ist. Die Deponiebelüftung trägt insbesondere zur beschleunigten wie nachhaltigen Reduzierung von klimarelevanten Methanemissionen bei.

Die Prüfung der Bestandsgasbrunnen ergab, dass sich diese in einem guten technischen Zustand befinden. Bei der Absaugung und Belüftung der Gaspegel und Gasbrunnen konnten in den betreffenden Deponiebereichen gute bis sehr gute Gaswegigkeiten im Deponiekörper ermittelt werden.

Die Niederdruckbelüftung stellt sich aufgrund der Vorversuche für die Deponie Woltersdorf als grundsätzlich gut einsetzbar heraus. Folgende standortspezifischen Randbedingungen sind für dieses Verfahren zu berücksichtigen:

- 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 Behandlungsanlage gereinigt werden, um insbesondere dem Aspekt des Klimaschutzes (Vermeidung unkontrollierter und langanhaltender Methanemissionen in die Atmosphäre) gerecht zu werden.
- Das Niederdruckbelüftungsverfahren ist besonders geeignet, da mit diesem Verfahren gezielt und regelbar Luftsauerstoff in den Deponiekörper eingeblasen werden kann. Dieses ist aufgrund der Abdichtungssituation von besonderer Bedeutung.
- Alternativ könnte auch ein Verfahren zur passiven Belüftung mittels kontrollierter Übersaugung am Standort zum Einsatz kommen. Diese Alternative ist in den weiteren Planungsphasen näher zu betrachten, da hier der Beschleunigungseffekt eines Niederdruckbelüftungsverfahrens (bzw. eines Belüftungsverfahrens mit aktiver Luftzugabe) deutlich gemindert wäre.

4 Maßnahmenkatalog und Angaben zur technischen Umsetzung der in situ Stabilisierung

4.1 Beschreibung des gewählten Verfahrens – die Niederdruckbelüftung

Die Voruntersuchungen haben gezeigt, dass die Deponiebelüftung zur biologischen Stabilisierung der Deponie Woltersdorf 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 zu reduzieren sowie vor allem auch die Hauptsetzungsphase vor Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung beschleunigt vorwegzunehmen. Durch die Potenzialanalyse konnte nachgewiesen werden, dass diese Maßnahme das Emissionsverhalten der Deponie Woltersdorf nachhaltig positiv beeinflusst.

Bei den Voruntersuchungen zur aeroben in situ Stabilisierung hat sich der Einsatz der **Niederdruckbelüftung** als ein Druck-Saugverfahren als standortbezogen geeignet herausgestellt. Die Niederdruckbelüftung bietet im Vergleich zu anderen Verfahren u.a. 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 Süpplingen, 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

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. Sie sind bei den drei erstgenannten Standorten mittlerweile erfolgreich abgeschlossen worden. 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.

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 Schwachgasfackeln und bei geringen Methangehalten autotherme Hochtemperatur-Oxidationsverfahren (sog. regenerative thermische Oxidation RTO oder ähnliche Verfahren) eingesetzt werden.

Es hat sich zudem gezeigt, dass sich zur optimalen Verteilung des Sauerstoffs und einem sehr weitgehenden kontrollierten Abbau eine längere Belüftungsdauer bei geringeren Belüftungsraten vorteilhaft auswirkt. Unter Berücksichtigung der Kubatur und des Verfüllvolumens sowie einer sukzessive Belüftung der Teilbereiche wird für die Deponie Woltersdorf von einer Belüftungsdauer von 6-8 Jahren ausgegangen.

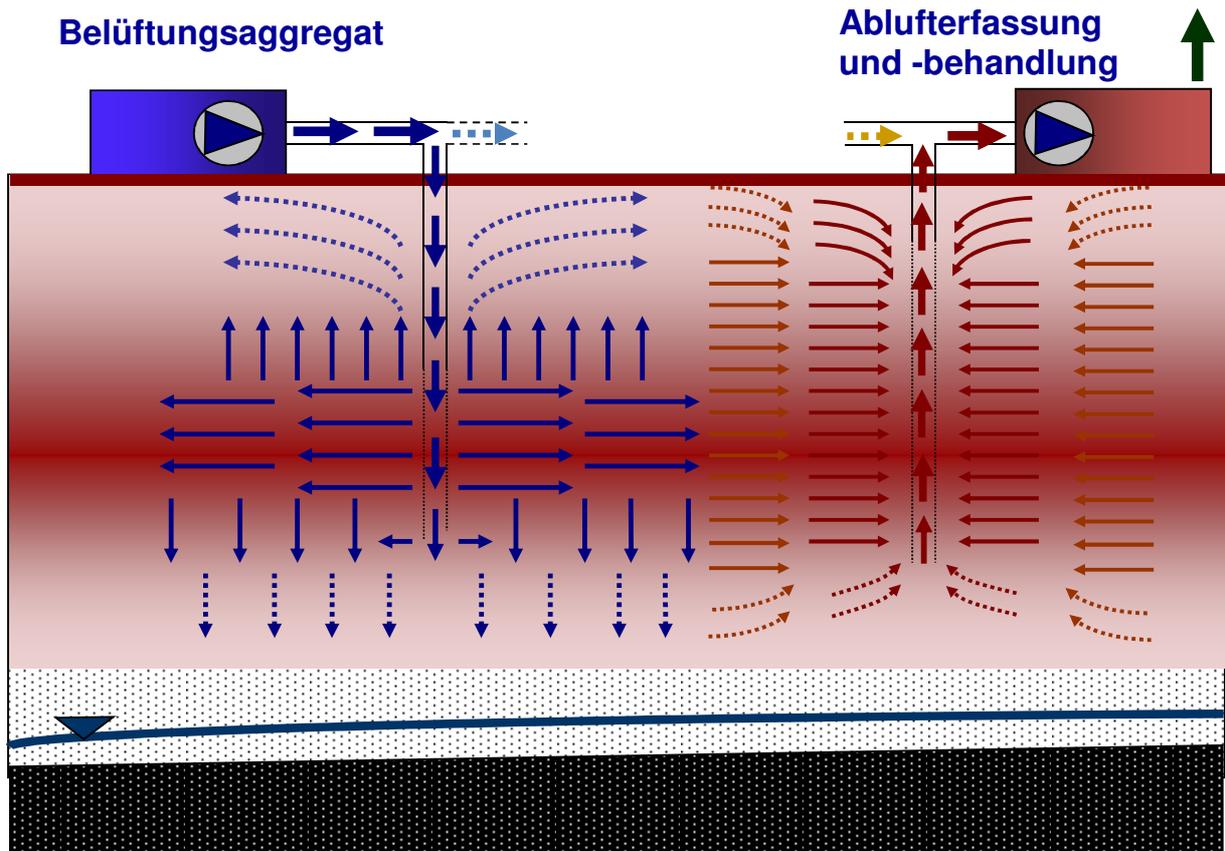


Abb. 4.1: Grundkonzept der in situ Stabilisierung durch Belüftung auf der Deponie Woltersdorf

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.

Die weiteren technischen Erläuterungen werden im Hinblick auf den standortspezifischen Einsatz der Niederdruck-Belüftung durchgeführt. Die technischen Angaben und skizzierten Möglichkeiten haben einen vorläufigen und z.T. beispielhaften Charakter, da sie erst in der weiteren Planung detailliert festgelegt werden.

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
- vor dem Hintergrund der standortbezogenen Voruntersuchungen und der Referenzerfahrung mit der Niederdruckbelüftung möglichst um 80 – 90% zu reduzieren

Die Bewertung des Emissionspotenzials für die Deponie Woltersdorf gemäß IPCC-Ansatz hat an Methanemissionen ergeben:

$$\text{CH}_4\text{-Emissionen}_{\text{ges.}} = 1.478 \text{ MgCH}_4$$

Mit dem GWP-Wert von 28 für Methan entspricht dies folglich $1.478 \text{ MgCH}_4 * 28 =$
41.395 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:

$$\Rightarrow 41.395 \text{ MgCO}_{2\text{eq.}} * 0,75 = \mathbf{31.046 \text{ MgCO}_{2\text{eq.}}}$$

als verbleibende **klimarelevante langfristige Methanemissionen**

Als **Zielwert der Deponiebelüftung** leitet sich daraus folglich ab, dass davon mindestens **15.523 MgCO_{2eq}** (bzw. maximal 31.046 MgCO_{2eq} bezogen auf die gesamten Methanemissionen unabhängig vom Vergleichsszenario) infolge der Deponiebelüftung beschleunigt und kontrolliert reduziert werden.

4.3 Maßnahmen zur Ertüchtigung des Gaserfassungssystems, Gasbrunnen zur Belüftung und Ablufferfassung

Die Untersuchungen auf der Deponie Woltersdorf und Erfahrungen an anderen Standorten haben gezeigt, dass eine Niederdruckbelüftung über herkömmliche Gasbrunnen wie die bereits bestehenden Gasbrunnen geeignet ist. Nach den Ergebnissen der Voruntersuchungen liegt der Einzugsradius der Belüftungsbrunnen für eine intensive Sauerstoffversorgung und Ablufferfassung bei etwa 25 m, wobei es bereichsweise Unterschiede gibt, was die Funktion und mithin den Einflussradius der Gasbrunnen anbetrifft.

Aufgrund der Erkenntnisse der Absaug- und Belüftungsversuche ist eine Verdichtung des Gasbrunnennetzes um 4-6 Brunnen im Plateaubereiche notwendig, um zum einen eine ausreichende Luftversorgung in allen Bereichen des Deponiekörpers während der Belüftungsphase sicher zu stellen und zum anderen die Abluft (eventuelle Restgasemissionen) zu erfassen und behandeln zu können.

Die Voruntersuchungen haben gezeigt, dass zur optimierten Stabilisierung der Deponie Woltersdorf aufgrund der geringen Ablagerungsmächtigkeit die vorhandenen Ausbautiefe der Bestandsgasbrunnen ausreicht. Alle Gasbrunnen können langfristig genutzt oder nach Abschluss der aktiven Belüftungsmaßnahme so umgerüstet werden, dass eine passive Gasbehandlung ermöglicht wird, indem eventuelle Restgasemissionen gefasst und z.B. über Gasdrainagen in die Rekultivierungsschicht der Oberflächenabdichtung zur Methanoxidation abgeleitet werden.

4.4 Leitungssystem zur Belüftung und Ablufferfassung, Gasverteilerstation

Die Belüftungsmaßnahme sollte mit einer großen Flexibilität ausgeführt werden, d.h. jeder Brunnen sollte sowohl zur Belüftung als auch zur Ablufferfassung eingesetzt werden können. Dieses ist am Standort Woltersdorf erst durch das Aufstellen von Gasverteilerstationen möglich. Hier sind alle bestehenden und neu nieder-

zubringenden Gasbrunnen an sog. Verteilerbalken bzw. Gastransportleitungen für die Belüftung und Ablufferfassung anzuschließen.



Abb. 4.2: Ausführungsbeispiel eines Belüftungs- und Gasfassungssystems in einer Gasverteilerstation auf einem Deponiestandort in Niedersachsen

Die Gasleitungen zwischen Gasbrunnen und Gasverteilerstationen können unter der Geländeoberkante (in der Rekultivierungsschicht) in einem Graben verlegt werden, um:

- Unfallgefahren zu vermeiden,
- die Beanspruchung und Gefahr der Beschädigung des Leitungssystems deutlich zu reduzieren als bei einer freien Verlegung auf der Oberfläche und
- Witterungseinflüsse (insbesondere gegen UV-Strahlungen) weitgehend ausschließen zu können.

4.5 Belüftungsaggregate und Gasverdichterstation mit Mess- und Regeltechnik

Zur Absaugung und Belüftung muss eine neue Gasverdichterstation mit den Aggregaten zur Absaugung und Belüftung installiert werden.

Die Aggregate für die Luftzufuhr sind im Allgemeinen ähnlich wie für die Abluftabsaugung. Es können u.a. Seitenkanalverdichter, Drehkolbenverdichter, Vakuumpumpen oder Ventilatoren eingesetzt werden.

Weiterhin werden Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MSR) auf die Belüftungsverfahren sowie die Ablufferfassung angepasst. Die Belüftungsrate soll bei der Deponiebelüftung wie erläutert so eingestellt werden, dass eine optimale Sauerstoffnutzungsrate erzielt wird und kaum noch anaerobe Zonen auftreten.

Die gesamten Verdichteranlagen zur Belüftung und Ablufferfassung einschließlich Schalt- und Steuerschränken können in einem mobilen Container am Deponierand bzw. im Bereich der vorhandenen Gasbehandlungsanlage (BHKW) installiert werden. Sämtliche Anlagen und Anlagenbereiche werden entsprechend den Sicherheits- und Explosionsschutzanforderungen gestaltet.

Die Kontrolle der Funktionsfähigkeit aller technischen Einrichtungen und betriebliche Grundleistungen wie die Einstellung von Gasbrunnen auf der Deponie können regelmäßig über den Deponiebetreiber erfolgen.

In Abbildung 4.3 ist die bauliche Ausführung einer Verdichterstation zur Belüftung und Ablufferfassung schematisch dargestellt.

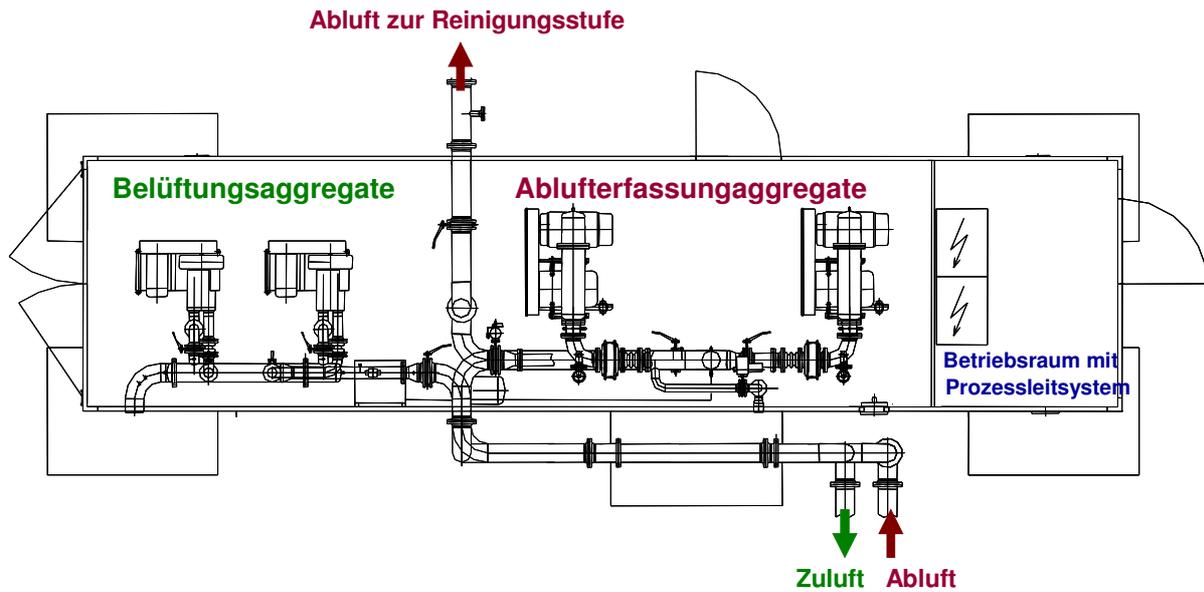


Abb. 4.3: Grundriss der Verdichterstation zur Belüftung und Ablufferfassung (beispielhaft, nach Angaben der Firma BMF Haase Energietechnik GmbH)

4.6 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.

In der ersten Phase der aeroben in situ Stabilisierung kann bei Methangehalten bis ca. 12 Vol.-% eine Schwachgasfackel eingesetzt werden.

In der zweiten Stabilisierungsphase, wenn die Abluftbelastungen infolge einer ersten Aerobisierung des Deponiekörpers soweit abgenommen haben, dass nur noch geringe Restmethangehalte in der erfassten Abluft vorhanden sind, wird häufig ein

² BMU (2015), Merkblatt – Investive Klimaschutzmaßnahmen, Hinweise zur Antragsstellung vom 22.09.2015

nichtkatalytisches, autothermes Oxidationsverfahren (RTO = Regenerative Thermische Oxidation) zur Abluftreinigung eingesetzt.

4.7 Konzept zur Betriebsführung, Bemessung der technischen Anlagen

Bemessung der technischen Anlagen

Zur aeroben Stabilisierung des Deponiekörpers wurden über die Feststoffproben aktuell erforderliche Luftvolumina von durchschnittlich ca. 112 m³/MgTS Abfall ermittelt. Unter Berücksichtigung der weiter fortschreitenden mikrobiellen Umsetzung der Abfallorganik bis zur möglichen Inbetriebnahme der aktiven Belüftungsmaßnahme im Jahr 2018 reduziert sich der Sauerstoffbedarf und somit die erforderlichen Luftvolumina auf ca. 100 m³/MgTS.

Für die Deponie Woltersdorf mit einer Gesamtmasse organikhaltiger Abfälle von ca. 231.000 Mg TS (s. Kap. 3.2) lassen sich bei einer aktiven Aerobisierungsdauer von bis zu 8 Jahren durchschnittliche Belüftungsraten von ca. 330 m³Luft/h und bei einem Sauerstoffnutzungsgrad von 60–80% als Bemessungshöchstwert 400 m³Luft/h abschätzen.

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. Die Ermittlung des Stabilisierungsverlaufes erfolgt über ein Monitoringprogramm, welches den aktuellen Stand der Aerobisierung erfasst und erforderliche Änderungen zur kontinuierlichen Betriebsoptimierung erkennen lässt (siehe Kapitel 5).

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 (u.a. Abstimmung mit Aufbringung der Oberflächenabdichtung) zum Abschluss der in situ Stabilisierung

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 neue und bestehende Gasbrunnen eingebaut werden, über die online die Temperaturentwicklung während des Belüftungsbetriebs erfasst werden kann. Darauf können Belüftungsraten und Auswahl der Gasbrunnen, über die die Luft zugegeben wird, gesteuert und kontinuierlich angepasst werden. In diesem Zusammenhang erfolgt ergänzend eine Überwachung der Kohlenmonoxidgehalte, um eine mögliche

Beeinträchtigung der biologischen Abbauprozesse oder Schwelbrandrisiken rechtzeitig zu erkennen.

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 Woltersdorf daher erfasst:

Gasverdichterstation und Abluftreinigungsstufe:

- Volumina und Drücke im Gasstrom Zuluft/Abluft (on-line)
- Ablufttemperatur im Rohgasstrom (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, Gasverteilerstation

- Volumina und Drücke Zuluft/Abluft an allen Gasbrunnen (diskontinuierlich wöchentlich / vierzehntägig) mit regelmäßiger Optimierung
- Gaszusammensetzung Abluft an allen abgesaugten Gasbrunnen: CH₄, CO₂, O₂, H₂S, CO (diskontinuierlich wöchentlich / vierzehntägig)

Deponiekörper, Deponieoberfläche

- 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 Messpunkten
- Wasserhaushalt (über das Überwachungsprogramm der bestehenden Genehmigungsbescheide ohnehin erforderlich)

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.

Erarbeitung der Potenzialanalyse durch:

Dr.-Ing. Karsten Hupe
Dr.-Ing. Kai-Uwe Heyer
Prof. Dr.-Ing. Rainer Stegmann

Tel.: 040 / 77 11 07 41
Tel.: 040 / 77 11 07 42

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

Fax: 040 / 77 11 07 43
Email: info@ifas-hamburg.de

Hamburg, 22. September 2016