



Potenzialstudie zur Ermittlung von Treibhausgasemissionen am Standort „Altablagerung Lohmühle“ in der Hansestadt Lübeck

erstellt durch

Ingenieurgesellschaft
Prof. Czurda und
Partner mbH



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

November 2023

Hansestadt LÜBECK 



Umwelt, Natur und Verbraucherschutz
Kronsfordter Allee 2-6, 23539 Lübeck

Potenzialstudie zur Ermittlung von Treibhausgasemissionen am Standort „Altablagerung Lohmühle“ in der Hansestadt Lübeck

Karlsruhe, 30.11.2023

Verfasser:

ICP Ingenieurgesellschaft
Prof. Czurda und Partner mbH
Auf der Breit 11
76227 Karlsruhe

INHALTSVERZEICHNIS

1	VERANLASSUNG	1
2	AUFGABENSTELLUNG	1
2.1	VORBEREITUNG	1
2.2	FESTSTOFFPROBENAHE	1
2.3	FESTSTOFFUNTERSUCHUNGEN MIT RESPIRATIONSTESTS	2
2.3.1	Allgemeine Laboruntersuchungen	2
2.3.2	Respirationstests (Sauerstoffverbrauchsmessungen)	2
2.4	POTENZIALSTUDIE – BEWERTUNG DES EMISSIONSPOTENZIALS	2
2.5	DURCHFÜHRUNG VON BELÜFTUNGS- UND ABSAUGVERSUCHEN	3
2.5.1	Überprüfung der technischen Funktion der bestehenden Gasbrunnen und Bodenluftsonden:	4
2.5.2	Absaug-/Belüftungsversuche an bestehenden Einrichtungen und/oder den neuen Gasmesspegeln:	4
2.6	ERARBEITUNG DER POTENZIALSTUDIE BESTEHEND AUS	4
2.6.1	Bestandsaufnahme	4
2.6.2	Potenzialanalyse	5
2.6.3	Maßnahmenkatalog	5
2.6.4	Monitoring-Konzept	5
3	ZUR VERFÜGUNG GESTELLTE UNTERLAGEN UND LITERATURQUELLEN	5
4	BESCHREIBUNG DES STANDORTS UND AUSGANGSSITUATION (BESTANDSAUFNAHME)	7
5	DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN (ARBEITSPROGRAMM)	9
5.1	GRUNDLAGEN	9
5.2	BOHRUNGEN UND GASBRUNNEN	9
5.2.1	Lage und Ausbau	9
5.2.2	Vermessungsarbeiten	12
5.2.3	Begleitender Arbeits- und Emissionsschutz	12
5.3	ABFALLFESTSTOFFPROBENAHE	13
5.4	ERGEBNISSE DER ABFALLFESTSTOFFANALYSEN (BOHRPROBEN)	13
5.5	RÜCKSCHLÜSSE AUS DEN ABFALLFESTSTOFFBEPROBUNGEN AUF DAS DEPONIE- UND EMISSIONSVERHALTEN, POTENZIALE ZUM KLIMASCHUTZ	14
5.6	ABSAUG- UND BELÜFTUNGSVERSUCHE	14
5.6.1	Grundlagen	14
5.6.2	Durchführung und Ergebnisse	15
5.7	FID BZW. LASER-BEGEHUNG ZUR BEPROBUNG GERINGER METHANGEHALTE UND DIFFUSER AUSGASUNGEN ÜBER DIE OBERFLÄCHENABDICHTUNG	22
6	BEWERTUNG	26

7	POTENZIALANALYSE.....	27
7.1	VERGLICHENE SZENARIEN	27
7.2	PROGNOSE DES GASBILDUNGSPOTENZIALS NACH IPCC	27
7.2.1	Theoretische Grundlagen	27
7.2.2	Anwendung und tatsächliche Verhältnisse an der Deponie Lohmühle	30
7.2.3	Auswahl abzusaugender Gasbrunnen und Erweiterung des Gasbrunnennetzes	31
7.2.4	Prognose des Emissionspotenzials	33
7.3	ERGEBNISSE / SCHLUSSFOLGERUNGEN	36
8	TECHNISCHES KONZEPT FÜR DIE ENTGASUNG UND BELÜFTUNG (MASSNAHMENKATALOG).....	39
8.1	AUSGANGSSITUATION UND MÖGLICHE VORGEHENSWEISE.....	39
8.2	VERFAHREN ZUR AEROBISIERUNG.....	40
8.3	VERFAHREN ZUR METHANOXIDATION UND ABLUFTBEHANDLUNG	40
8.4	ELEMENTE UND GROBLAYOUT DER ANLAGE.....	43
8.5	MONITORINGKONZEPT UND ERGÄNZUNG DER PLANUNGSGRUNDLAGEN	45
8.6	ABSCHLIEßENDE EMPFEHLUNGEN	46
9	ZUSAMMENFASSUNG.....	46

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	Altablagerung Lohmühle – nicht überbauter Kernbereich / Untersuchungsgebiet (Quelle Luftbild: Google Earth)	7
Abbildung 2	Altablagerung Lohmühle mit rot markiertem Untersuchungsgebiet und Ablagerungsmächtigkeiten in m. Plan und Mächtigkeiten Geocontrol 1992.	8
Abbildung 3	Lageplan der Bohrungen (vollständiger Plan in Anlage 4)	11
Abbildung 4	Topografie und aus den Wasserständen in den Gasbrunnen abgeschätzter Verlauf der Grundwassergleichen im April 2023 (4.-13.)	12
Abbildung 5	Langzeitmodell der der Deponiegaszusammensetzung in Deponien für unbehandelte Siedlungsabfälle (Farquhar & Rovers 1973; Franzius, 1981; Rettenberger & Mezger, 1992)	15
Abbildung 6	Leitgase GB 1	16
Abbildung 7	Leitgase GB 2	17
Abbildung 8	Leitgase GB 3	18
Abbildung 9	Leitgase GB 4	19
Abbildung 10	Leitgase GB 5	20
Abbildung 11	Leitgase GB 6	21
Abbildung 12	Leitgase GB 7	22
Abbildung 13	Messprinzip der Laserabsorptionsspektroskopie (Quelle unbekannt)	23
Abbildung 14	GPS vermessener Laufweg der Laser-Oberflächen-Messungen der Altablagerung Lohmühle (Eigenleistung) – Darstellung über „KDE-Marble“ am 27.IV.2023	24
Abbildung 15	Durchschnittliche Gaszusammensetzung an den Messtellen	25
Abbildung 16	Bestehendes Gasbrunnennetz und potenzielle Erweiterungsmöglichkeiten (Erweiterung G8 und G9 als geplant benannt)	32
Abbildung 17	Abzusaugender Bereich; bei technischer Realisierung noch zu errichtender GB in Rot	33
Abbildung 18	Ganglinien der Gasproduktion und grau unterlegt der gerechnete Gasproduktionsbereich mit den angegebenen Parametern (Krümpelbeck, 2000)	35
Abbildung 19	Funktion einer Einkammer-RTO (Quelle HAASE-Energietechnik)	42
Abbildung 20	Verfahrensschema Doppelkammer-RTO der Fa. LAMBDA (Quelle: LAMBDA)	43
Abbildung 21	LAMBDA Doppelkammer-RTO, 100kWth, 400-2.000 m ³ /h	43
Abbildung 22	Aufstell- und Leitungsplan	45

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1	Ausgebaute Gaspegel	10
Tabelle 2	Chemische Analysen der aus den Bohrungen gewonnenen Feststoffproben.	14
Tabelle 3	Bezeichnung der Deponiephasen	15
Tabelle 4	Durchschnittliche Gaszusammensetzung der Messtellen	25
Tabelle 5	Werte Feststoff- und Gasuntersuchungen	26
Tabelle 6	Zusammenfassung Eingangswerte für Emissionsprognose	34
Tabelle 7	Beziehung zwischen FID-Messwerten und Gasboxmesswerten (Flögl, 2002), zitiert bei Fellner et al, 2003 (MetMes-Studie)	36
Tabelle 8	Werte der als künftig abzusaugenden (methanführenden) Gasbrunnen (ohne den noch zu errichtenden G8)	36

ANLAGEN

- Anlage 1: Bohrprofile**
- Anlage 2: Schichtenverzeichnisse**
- Anlage 3: Laborergebnisse**
- Anlage 4: Lageplan**
- Anlage 5: Beim Gasabsaugversuch verwendete Geräte**
- Anlage 6: Analyse entsorgtes Bohrgut**

VERZEICHNIS DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN

Anh.	Anhang
AT ₄	Atmungsaktivität in 4 Tagen
BauStellV	Baustellenverordnung
BQS	Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard
CH ₄	Methan
DepV	Deponieverordnung
DK	Deponieklasse (gemäß DepV)
FOD	First Order Decay (Abbaukinetik erster Ordnung)
GB	Gasbrunnen
GOK	Geländeoberkante
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GV	Glühverlust
GW	Grundwasser
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KRL	Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld „Kommunalrichtlinie“ im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI)
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
kW	Kilowatt
Kw	Kalenderwoche
kWh	Kilowattstunden
LK	Landkreis
LPB	Landschaftspflegerischer Begleitplan (mit Eingriffs- und Ausgleichsbilanzierung)
MD	Mineralische Dichtung
NHN	Normalhöhennull (Angabe von Höhen über dem Meeresspiegel in Deutschland)
Nr.	Nummer
oTS	Organische Trockensubstanz
QM	Qualitätsmanagement
QM-Plan (QMP)	Qualitätsmanagementplan (für die Fremdprüfung im Rahmen des Deponiebaus)
örE	Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger
SAP	Spezielle artenschutzrechtliche Prüfung
SPT	Standard Penetration Test (Test zur Prüfung der Tragfähigkeit des Untergrunds)
th	thermisch
TM	Trockenmasse
TR	Trockenrückstand
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
TS	Trockensubstanz
UVU	Umweltverträglichkeitsuntersuchung
WG	Wassergehalt

1 VERANLASSUNG

Die untere Bodenschutzbehörde (uBB) der Hansestadt Lübeck beabsichtigte im Zeitraum Dezember 2022 bis September 2023 im Rahmen der nationalen Klimaschutzinitiative eine Potenzialstudie nach 2.12.4 der Kommunalrichtlinie am Standort „Altablagerung Lohmühle“ durchführen zu lassen. In dieser soll das Potenzial einer Aerobisierung mittels Feststoff- und Bodenluftuntersuchungen bestimmt werden. Die Untersuchungen werden gemäß der Kommunalrichtlinie durch das Bundesumweltministerium (BMUV) gefördert. Die Potenzialstudie ist Voraussetzung, um diese Fördermittel erhalten zu können.

Mit den entsprechenden Leistungen wurde nach Ausschreibung die Mull und Partner Ingenieurgesellschaft mbH, M&P, Hamburg beauftragt, die in Zusammenarbeit mit der ICP Ingenieurgesellschaft mbH (Mitglied der M&P Gruppe), Karlsruhe erbracht wurden. Die technische Durchführung der Absaug- und Belüftungsversuche vor Ort erfolgte durch die DAS-IB GmbH, Kiel.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen werden hiermit vorgelegt.

2 AUFGABENSTELLUNG

Zur Bestimmung des Potenzials einer Aerobisierung waren folgende Schritte durchzuführen:

2.1 Vorbereitung

- Standortbeschreibung (Standortcharakterisierung)
- Historische und Ist-Stand Erhebung zur ehemaligen Deponie Lohmühle mit Auswertung verfügbarer Unterlagen und Daten, insbesondere zum Deponiegashaushalt
- Ggf. Nacherhebung von Daten (z.B. Verlauf aller Leitungstrassen, Bohrprofile, etc.)
- Festlegung der Maßnahmen zur Abfallfeststoffprobenahme, insbesondere in den Bereichen, in denen noch der größte Teil des Deponiegases entsteht bzw. vermutet wird
- Abstimmung mit der AG als Deponieverantwortliche und ggf. weiteren Fachinstitutionen oder Behörden (ggf. LLUR Schleswig-Holstein Flintbek zur Anzeige von Maßnahmen)
- Vorlage und Abstimmung des Untersuchungskonzeptes von Erkundungsbohrungen mit Ausbau zu ergänzenden Gaspegeln für Gasabsaugversuche auf den in Frage kommenden Teilflächen mit der AG mit Probenahme- und Bohrplan
- Beauftragung einer Fremdfirma zur Ausführung der Bohrungen mit Ausbau zu Gaspegeln

2.2 Feststoffprobenahme

- Begleitung der Bohrarbeiten mit Installation ergänzender Gaspegel über voraussichtlich 5 Tage, inkl. An-/Abreise
- Feststoffprobenahme: Aufgrund der Größe der Deponie sollen etwa 14 Abfallfeststoffproben aus dem Deponiekörper entnommen werden, um das derzeitige Stoffinventar sowie

Gas-/Methanbildungspotenzial über die Deponieteilbereiche und Ablagerungs-horizonte erfassen zu können.

2.3 Feststoffuntersuchungen mit Respirationstests

2.3.1 Allgemeine Laboruntersuchungen

Parameterumfang: **Beprobungsparameter Abfallfeststoff:**

wEnth.	Wassergehalt bei der Probenahme (% der Feuchtmasse FM)
GV	Glühverlust (% TS)
TOC	organischer Kohlenstoffgehalt (% TS)
N	Stickstoffgehalt (% TS)

2.3.2 Respirationstests (Sauerstoffverbrauchsmessungen)

Diese Tests dienen dazu, die biologische Aktivität der Abfallstoffe bzw. des Deponiekörpers zu erfassen. Die Bestimmung der Atmungsaktivität im Respirometer erlaubt eine Aussage über den Restgehalt und die Verfügbarkeit biologisch abbaubarer Anteile in den Abfallfeststoffproben zur Quantifizierung des Restgasbildungspotenzials (d.h. Methanbildungspotenzial unter anaeroben Milieubedingungen) sowie zur anschließenden Deponiebelüftung (Sauerstoffverbrauch unter aeroben Milieubedingungen):

AT₄ Atmungsaktivität als Summenwert nach 4 Tagen (= AT₄) gemäß DepV an 14 Abfallfeststoffproben:

- Die Bohrpunkte werden zu Gaskontrollpegeln ausgebaut, die im Rahmen anschließender Absaug- und Belüftungsversuche für das Gasmonitoring (und auch langfristig) genutzt werden.
- Einbindung der Ergebnisse zur Absicherung der Prognosen zum Gashaushalt und den Setzungen im Hinblick auf den Klimaschutz infolge der angestrebten Reduzierung der Methanemissionen.
- Einbindung der Ergebnisse der Feststoffprobenahme zur Ableitung von Dimensionierungsvorgaben in der Potenzialstudie zu Kap. 2 „Maßnahmenkatalog“.

2.4 Potenzialstudie – Bewertung des Emissionspotenzials

Im Rahmen der Abfallfeststoffuntersuchung erfolgt eine umfassende Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse als ein wesentlicher Bestandteil der Potenzialstudie. Die Bewertung des Emissionspotenzials erfolgt normalerweise durch die Ermittlung des Gasbildungspotenzials u.a. nach der First Order Decay Methode und dem festzustellenden Gaserfassungsgrad. Im vorliegenden Fall wurde aufgrund des Alters der Altablagerung das Emissionspotenzial mit anderen Methoden abgeschätzt.

Der Berichtsteil der Potenzialstudie (siehe Kap. 1.6) soll mindestens folgende Inhalte aufweisen:

a. Veranlassung und Aufgabenstellung

b. Bestandsaufnahme und Arbeitsprogramm

- Abfallfeststoffprobenahme
- Untersuchungsprogramm für die Abfallfeststoffproben
- Ergänzende Angaben zur Deponie und zum Deponieverhalten

c. Ergebnisse der Abfallfeststoffanalysen

- Feststoffparameter
- Gasbildungspotenzial / Methanbildungspotenzial

d. Rückschlüsse der Abfallfeststoffbeprobungen auf das Deponie- und Emissionsverhalten, Potenziale zum Klimaschutz

- Wasserhaushalt (ergänzend)
- Deponiegashaushalt und Methanemissionen / Anwendung der First Order Decay Methode
- Rückschlüsse der Abfallanalysen hinsichtlich flankierender Maßnahmen zur Verbesserung des Deponieverhaltens in der Nachsorgephase
- Vermeidungspotenzial klimarelevanter Methanemission durch kontrollierten Abbau biologisch verfügbarer organischer Abfallstoffe infolge einer Deponiebelüftung

2.5 Durchführung von Belüftungs- und Absaugversuchen

Das Ziel von Belüftungs- und Absaugversuchen der ehemaligen Deponie Lohmühle ist die Klärung folgender Fragestellungen:

- Welchen Zustand weisen einige ältere bestehende Bodenluftsonden und Gasbrunnen hinsichtlich ihrer technischen Funktion auf?
- Ist es technisch möglich, über bestehende Einrichtungen und ggf. zu ergänzende Gasbrunnen ausreichende Luftmengen in den Deponiekörper einzubringen bzw. ausreichende Mengen Deponiegas/Abluft im Hinblick auf einen gesteuerten Belüftungs- und Absaug-/Übersaugungseffekt zu erfassen?
- Wie groß ist der Einflussradius der bestehenden Einrichtungen und neuen Gaspegel im Deponiekörper?
- Wie breitet sich die eingebrachte Luft im Deponiekörper aus? Welchen Einflussradius hat die Belüftung mit einer intensivierten Abluftefassung / Übersaugung?
- Welche ersten Auswirkungen hat die Luftzugabe auf den Gashaushalt des Deponiekörpers zur angestrebten Reduktion der klimarelevanten Methanemissionen?
- Wie sind die maßgebenden technischen Einrichtungen standortbezogen zu dimensionieren?

Zusätzlich wurde eine FID-/ Laserbegehung durchgeführt.

2.5.1 Überprüfung der technischen Funktion der bestehenden Gasbrunnen und Bodenluftsonden:

- kurzzeitige Belüftungs-/absaugversuche über ca. 2 Tage, um den technischen Zustand der bestehenden Einrichtungen, insbesondere deren Gaswegigkeit im Hinblick auf zuführbare Luftvolumina und absaugbare Gasvolumina zu überprüfen
- Aufnahme von Messwerten von Belüftungsdrücken im Verhältnis zu Belüftungsvolumina bzw. Unterdrücken im Verhältnis zu den Absaugvolumina
- Überprüfung im diskontinuierlichen Tagbetrieb. Referenzmessungen an den neuen Gaspegeln

2.5.2 Absaug-/Belüftungsversuche an bestehenden Einrichtungen und/oder den neuen Gasmesspegeln:

- Durchführung von Belüftungs-/Absaugversuchen an ausgewählten Gasbrunnen / Gaspegeln (insgesamt über ca. 8 Arbeitstage im diskontinuierlichen Tagbetrieb)
- Nutzung der Gaspegel zur Erfassung der Druckverhältnisse im Umfeld der belüfteten bzw. stark abgesaugten Pegel sowie der Veränderung der Gaszusammensetzung im Deponiekörper
- Dokumentation, Auswertung und Bewertung der Belüftungs-/absaugversuche
- Verbesserung und Absicherung der bisher getroffenen Aussagen zum zukünftigen Emissions- und Setzungsverhalten mit und ohne Belüftung in Verbindung mit den Ergebnissen gemäß Kap. 1.3.
- Ableitung von Bemessungsvorgaben

2.6 Erarbeitung der Potenzialstudie bestehend aus

Die Erarbeitung der Potenzialstudie erfolgt auf der Grundlage:

- des Merkblatts „Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten“. Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen im Rahmen der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Hinweise zur Antragstellung.
- der Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld "Kommunalrichtlinie" im Rahmen der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Hinweise zur Antragstellung.

2.6.1 Bestandsaufnahme

- U.a. Integration der Ergebnisse der Abfallfeststoffprobenahmen aus dem Deponiekörper zur Ableitung des bioverfügbaren Kohlenstoffanteils, dessen anaerober Abbau zu den klimarelevanten Methanemissionen führt.
- Nachweis, dass der Deponiekörper einen bioverfügbaren organischen Kohlenstoffgehalt von maximal 12 kg/tTS nicht überschreitet.
- Angaben zum Deponieverhalten, wie z.B. der Deponiegasemissionen und standortbezogen genauere Ermittlung des in der Deponie gebildeten Methans.

2.6.2 Potenzialanalyse

- Bewertung des Emissionspotenzials durch Ermittlung des Gasbildungspotenzials mit den Ergebnissen der Abfallfeststoffuntersuchung als maßgebende Eingangswerte für die Ermittlung des Gasbildungspotenzials.
- Vertiefte Betrachtung, dass mit einer angepassten aktiven Deponiebelüftung oder modifizierten Übersaugung der beschleunigte Abbau der bioverfügbaren Restorganik erzielt werden kann, was zu der nachhaltigen Vermeidung klimarelevanter Methanemissionen führt.
- Prüfung und Nachweis der Förderbedingung für die Investitionsförderung, dass die Treibhausgasemissionen um mindestens 50% über den gesamten Bilanzzeitraum (bis zum vollständigen Abklingen der durch Methanbildung zu erwartenden Emissionen) reduziert werden.

2.6.3 Maßnahmenkatalog

Bei der Entwicklung des Maßnahmenkatalogs werden die technischen Anforderungen bezüglich des Einsatzes der Deponiebelüftung einbezogen.

2.6.4 Monitoring-Konzept

Bei der Entwicklung des Monitoring-Konzepts werden ebenfalls die standortbezogenen Anforderungen bezüglich der Überwachungsmaßnahmen bei Einsatz der Deponiebelüftung einbezogen. Ferner werden ausgewiesen:

- Kostenrahmen (Grobkostenschätzung, da noch keine Planung)
- Meilensteinplanung, Zeitrahmen, Dauer der Stabilisierungsmaßnahme

3 ZUR VERFÜGUNG GESTELLTE UNTERLAGEN UND LITERATURQUELLEN

Folgende Unterlagen zum Standort wurden verwendet oder gesichtet:

Geocontrol (1996): Prüfbericht Nr. 140913.2: Einrichtung und Beprobung von Bodenluftmessstellen im Bereich des Hausmeisterhauses, Altablagerung Nr. 20 - Deponie Lohmühle. 13.3.1996. Datei *Einrichtung und Beprobung Bodenluftmessstellen Hausmeisterhaus.pdf*

Geocontrol (1994): Gutachten Nr. 179008: Gastechische Untersuchung auf der Altablagerung Nr. 20 - Deponie Lohmühle. 17.1.1994. Datei *Gastechische Untersuchung Altablagerung Nr 20.pdf*

Geocontrol (1993): Gutachten Nr. 170801: Altablagerung Nr. 20, Bodenluftuntersuchungen, Deponie Lohmühle. 26.1.1993. Datei *Bodenluftuntersuchungen Altablagerung Nr 20.pdf*

Geocontrol (1992): Gutachten Nr. 180113: Altablagerung Nr. 20, Deponie Lohmühle. 18.9.1992. Datei *Altablagerung Nr 20 Deponie Lohmühle.pdf*

Hansestadt Lübeck, Umweltamt (1990): Stellungnahme zu den Gasmessungen im Bereich der geplanten Großsporthalle BSZ Lübeck und Empfehlungen zur Bauausführung vom 30.7.1990. Entwurfsaufsteller Ingenieurbüro Prof. Hoins und Partner GmbH (IHP). Datei *Stellungnahme Gasmessungen Großsporthalle.pdf*

Hansestadt Lübeck, Umweltamt (1989): Stellungnahme zu den Gasmessungen am Hausmeisterhaus Berufsbildendes Schulzentrum Lübeck-Lohmühle vom 11.10.1989. Entwurfsaufsteller Ingenieurbüro Prof. Hoins und Partner GmbH (IHP). Datei *Stellungnahme Gasmessungen Hausmeisterhaus.pdf*

Kowalski, O. (2023), NordGeo: Angepasste Sanierungsuntersuchung zum Emissionsschutz des ehem. Park&Ride Parkplatzes in Lübeck, Altablagerung Lohmühle. 30.1.2023. Datei *K1903-Sicherungsuntersuchung-ESA2.pdf*

Aktuellstes Gutachten, hinsichtlich Standortdaten und Entgasung der umliegenden Bereiche wichtigste Unterlage für den Start des vorliegenden Projektes.

Kowalski, O.; Buß, R. (2022), NordGeo: Emissionsschutzmessung Struckbachhalle in Lübeck, Georg-Kerschensteiner-Str. 25a – Dokumentation Gasmessungen 2021. 13.1.2022. Datei *Emissionsschutzmessung Struckbachhalle Doku Gasmessungen.pdf*

Kowalski, O. (2021), NordGeo: Angepasste Sanierungsuntersuchung zum Emissionsschutz der Struckbachhalle in Lübeck, Altablagerung Lohmühle. 3.3.2021. Datei *angepasste Sanierungsuntersuchung Emissionsschutz der Struckbachhalle Altablagerung Lohmühle.pdf*

Kowalski, O. (2021), NordGeo: Sanierungsaudit Emissionsschutzanlage ESA 2 in Lübeck, Altablagerung Lohmühle, Bereich ehem. P&R Parkplatz. 20.10.2021, Datei *Sanierungsaudit Emissionsschutzanlage ESA 2 P R Parkplatz .pdf*

Kowalski, O. (2020), NordGeo: Sanierungsaudit Emissionsschutzanlage ESA 1 in Lübeck, Altablagerung Lohmühle, Bereich Struckbachhalle. 24.8.2020, Datei *Sanierungsaudit Emissionsschutzanlage Bereich Struckbachhalle.pdf*

Kowalski, O. (2013), Bürogemeinschaft Oliver Kowalski, Dr. Ernst Preuß: Emissionsmonitoring, Lübeck, Deponie Lohmühle (Altablagerung Nr. 20). 17.12.2013. Datei *Konzept für Sicherheitsuntersuchung bzgl Deponiegas.pdf*

N.N. (undatiert): Anlage 32, Zusammenstellung der Ergebnisse der Wasseruntersuchungen 1988 und 1989. Datei *Zusammenstellung Wasseruntersuchungen.pdf*

Sachverständigen-Ring Dipl.-Ing. H.-U. Mücke GmbH (2021): Prüfbericht Nr.: 2003 143.1: Messungen von Deponiegasen an einer Gasabsauganlage im Rahmen eines Monitorings. 4.2.2021. Datei *Messungen Deponiegasen Gasabsauganlage Monitoring.pdf*

Sachverständigen-Ring Dipl.-Ing. H.-U. Mücke GmbH (2019): Prüfbericht Nr.: 1905 116: Messungen von Deponiegasen an einer Gasabsauganlage. 28.5.2019. Datei *Messungen Deponiegasen Gasabsauganlage.pdf*

Sachverständigen-Ring Dipl.-Ing. H.-U. Mücke GmbH (2019): Prüfbericht Nr.: 1908 110: Methan-Messungen in der Struckbachhalle. 30.8.2019. Datei *Methan Messungen Struckbachhalle.pdf*

Folgende Literatur wurde verwendet:

Fellner, J., Schöngrundner, P., Brunner, P.H., (2003) Methanemissionen aus Deponien – Bewertung von Messdaten (METMES), im Auftrag des Bundesmin. für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2003

Krümpelbeck, I. (2000) Untersuchungen zum langfristigen Verhalten von Siedlungsabfalldepo-
nien, Diss. BUG Wuppertal, Fachbereich Bauingenieurwesen

4 BESCHREIBUNG DES STANDORTS UND AUSGANGSSITUATION (BESTANDSAUF- NAHME)

Die Altablagerung Nr. 20, besser bekannt als Deponie Lohmühle, wurde ursprünglich als Hangdeponie ohne Basisabdichtung angelegt. Das Gebiet Lohmühle hat eine Fläche von etwa 20 Hektar (Geocontrol 1992 und Kowalski, 2023) und die Altablagerung hat ein Gesamtvolumen von rund 1.000.000 Kubikmetern. In der Zeit von 1915 bis 1963 wurden hier von der Hansestadt Lübeck Haus- und Gewerbeabfälle, Bauschutt und Bodenaushub abgelagert. Die Deponie erreicht an einigen Stellen eine maximale Tiefe von bis zu 10 Metern (GEOCONTROL, 1992).

Die Deponiefläche wird derzeit für verschiedene Zwecke genutzt, darunter städtische Sportplätze, die Struckbachhalle, Parkplätze (Park and Ride - P&R) und öffentliche Schulen wie die Emil-Possehl- und Friedrich-List-Schule. Seit 1998 erfolgt eine regelmäßige Überwachung der Deponie, anfangs jährlich und später in größeren Zeitabständen. Das letzte Grundwassermonitoring wurde im Jahr 2022 durchgeführt. Zudem wird im Bereich der Struckbachhalle und des P&R-Parkplatzes eine Bodenluftüberwachung durchgeführt

Das in dieser Potenzialstudie betrachtete Gebiet umfasst allerdings nur den nicht überbauten / genutzten Kernbereich im Osten der Deponie mit einer Fläche von ca. 3ha.



Abbildung 1 Altablagerung Lohmühle – nicht überbauter Kernbereich / Untersuchungsgebiet
(Quelle Luftbild: Google Earth)

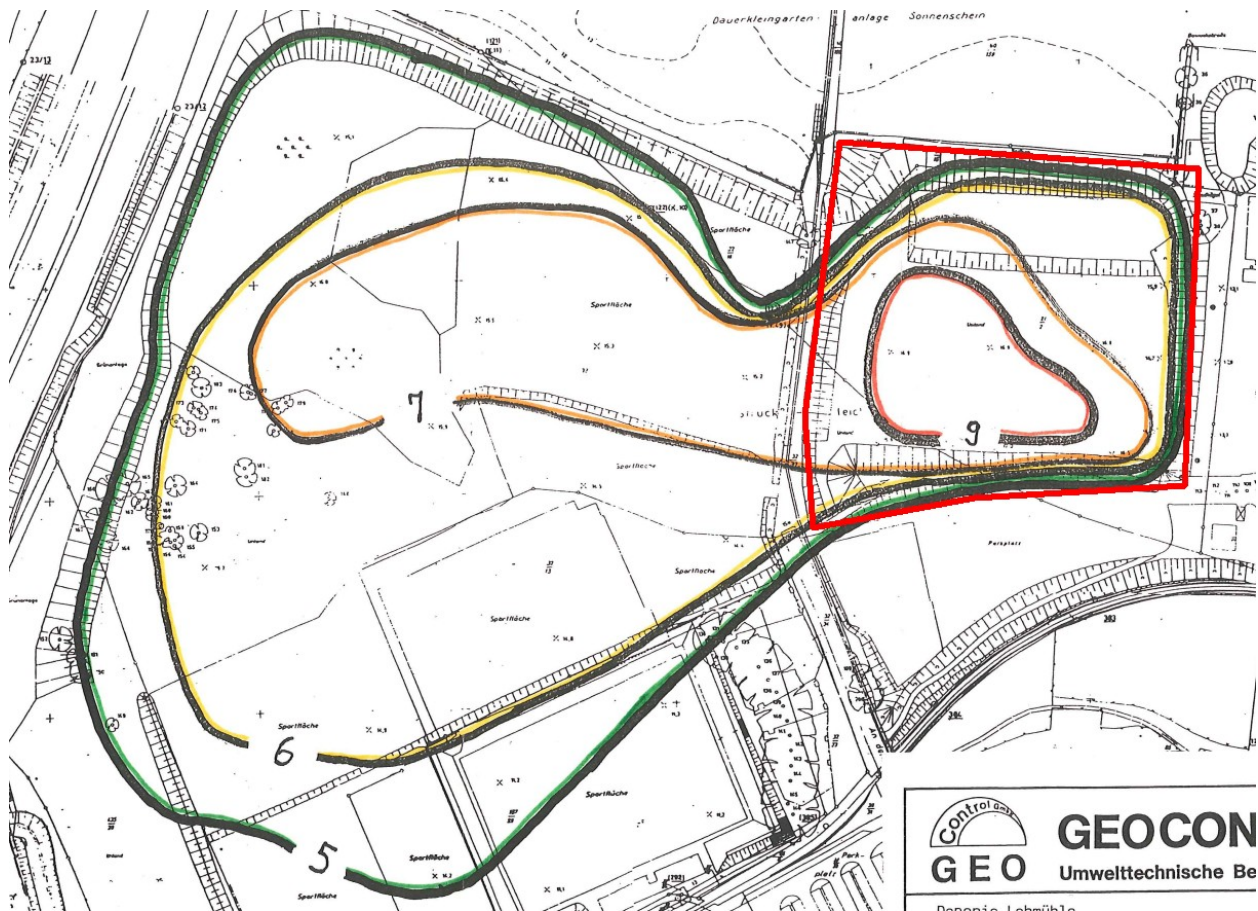


Abbildung 2 Altablagerung Lohmühle mit rot markiertem Untersuchungsgebiet und Ablagemächtigkeiten in m. Plan und Mächtigkeiten Geocontrol 1992.

Zusammengefasst lässt sich der in dieser Potenzialstudie betrachtete Ablagerungsbereich folgendermaßen charakterisieren:

- Fläche ca. 3 ha
- Mächtigkeit bis zu 10 m, mittlere Mächtigkeit ca. 7 m
- Abfallvolumen ca. 210.000 m³
- Ablagerungszeitraum 1915 -1963
- Keine Basisabdichtung
- Keine Oberflächenabdichtung

5 DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN (ARBEITSPROGRAMM)

5.1 Grundlagen

Die Untersuchungen umfassten zunächst Bohrungen mit Ausbau als Gaspegel, um den Aufbau und das Inventar der Deponie weiter zu erkunden und technische Voraussetzungen für Gasabsaug- und Deponiebelüftungsversuche zu schaffen. Feststoffproben aus den Bohrungen wurden im Labor insbesondere auf ihr biologisches Abbau- bzw. Gasbildungspotenzial untersucht.

5.2 Bohrungen und Gasbrunnen

5.2.1 Lage und Ausbau

Bei einer ersten Ortsbegehung am 02. Februar 2023 wurden die festgelegten Untersuchungspunkte für die geplanten Gasbrunnen zusammen mit den Verantwortlichen am Standort begangen und markiert. Die Ansatzpunkte mussten aufgrund der örtlichen Gegebenheiten (starker Bewuchs, Pfade für Mountainbikefahrer) nur leicht angepasst werden.

Mit Schreiben des Bereiches Umwelt-, Natur- und Verbraucherschutz der Hansestadt Lübeck „Anzeige von Erdaufschlüssen“ vom 22.02.2023 wurde eine maximale Bohrtiefe von 8,0 m unter Gelände vorgeschrieben.

Im Zuge der Geländearbeiten vom 04.04.2023 bis zum 13.04.2023 wurden im Untersuchungsgebiet insgesamt sieben Trockenbohrungen (Hohlbohrschneckensystem, Innendurchmesser ≥ 100 mm) bis 8,0 m u. GOK abgeteuft und durchgängig mittels Rammkernrohr beprobt (s. Tabelle 1). Die Bohransatzpunkte mussten dabei im Vorwege der Arbeiten teilweise freigeschnitten werden. Da ein Antreffen von unterirdischen Leitungen nicht vollkommen auszuschließen war, wurden die Bohrungen bis max. 1,5 m Tiefe als Handschachtung durchgeführt. Die Durchführung der Trockenbohrungen erfolgte gemäß DIN EN ISO 22475-1. Die geologische Beschreibung der angetroffenen Sedimente erfolgte nach DIN ISO 14688-1 und -2 bzw. nach dem Schichtenerfassungsprogramm des Landes Niedersachsen (SEP).

Im Anschluss wurden die Ansatzpunkte zu Gasbrunnen ausgebaut. Der Ausbau erfolgte nur oberhalb des Grundwassers. Die Errichtung der Gasbrunnen erfolgte durch die Fa. ASBT Umwelt GmbH & Co. KG unter Begleitung der Mull und Partner Ingenieurgesellschaft mbH. Die Gasbrunnen wurden wie folgt ausgebaut:

Tabelle 1 Ausgebaute Gaspegel

GB	Bohrtiefe (m u. GOK)	Ausbautiefe (m u. GOK)	Durchm. Bohrloch (mm)	Filterrohr m u. GOK	Vollrohr	Filterkies 1,2-2,0 mm (m u. GOK)	Tonsperre (m u. GOK)
G1	8,0	5,0	230	4,5-1,0	1,0 m u. GOK- 0,5 m ü. GOK	5,0-0,8	0,3 m - 0,8
G2	8,0	5,0	230	4,5-1,0	1,0 m u. GOK- 0,5 m ü. GOK	5,0-0,8	0,3 m - 0,8
G3	8,0	5,0	230	4,6-1,1	1,1 m u. GOK- 0,4 m ü. GOK	5,0-0,8	0,3 m - 0,8
G4	8,0	5,0	230	4,4-0,9	0,9 m u. GOK- 0,6 m ü. GOK	5,0-0,8	0,3 m - 0,8
G5	8,0	8,0	230	7,4-0,9	0,9 m u. GOK- 0,6 m ü. GOK	8,0-0,8	0,3 m - 0,8
G6	8,0	5,5	230	4,9-0,9	0,9 m u. GOK- 0,6 m ü. GOK	5,5-0,8	0,3 m - 0,8
G7	8,0	5,5	230	4,9-1,0	1,0 m u. GOK- 0,5 m ü. GOK	5,5-0,8	0,3 m - 0,8

m u. GOK: Meter unter Geländeoberkante

m ü. GOK: Meter über Geländeoberkante

Filterrohr HDPE 2", Langlöcher mit Schlitzweite 0,3mm

Vollrohr HDPE 2"

Abschluss Stahlschutzrohr mit Sebakappe 5"

Für die im Anschluss durchzuführenden Belüftungs- und Absaugversuche wurden Kugelhähne an den AG sowie an die die Arbeiten durchführende Firma übergeben.

Die detaillierten Bohr- und Ausbaupläne der einzelnen Gasbrunnen sind der Anlage 1 zu entnehmen, die dazugehörigen Schichtenverzeichnisse Anlage 2. Die Lage der Bohransatzpunkte ist Abbildung 3 sowie der Anlage 4 zu entnehmen.

Die Probenahme erfolgte absprachegemäß für jede Bohrung jeweils von 1,0 (bzw. 1,1) bis 4,5 m u. GOK sowie von 4,5 bis 8,0 m u. GOK. Insgesamt wurden somit 14 Mischproben gewonnen. Die Proben des Bodenmaterials wurden in 5l Plastikeimer abgefüllt.

Das Bohrgut wurde im Container gelagert, am 13.04.2023 beprobt und als MP Bohrgut Container gemäß LAGA TR Boden Tab.II.1.2-1 und Ergänzungsparameter gemäß Deponieverordnung durch das Labor Eurofins Umwelt Nord GmbH analysiert und durch die ASBT Umwelt GmbH & Co. KG fachgerecht entsorgt. Der Laborprüfbericht, in denen auch die Analysemethoden und Bestimmungsgrenzen bezeichnet sind, ist in Anlage 6 beigelegt.

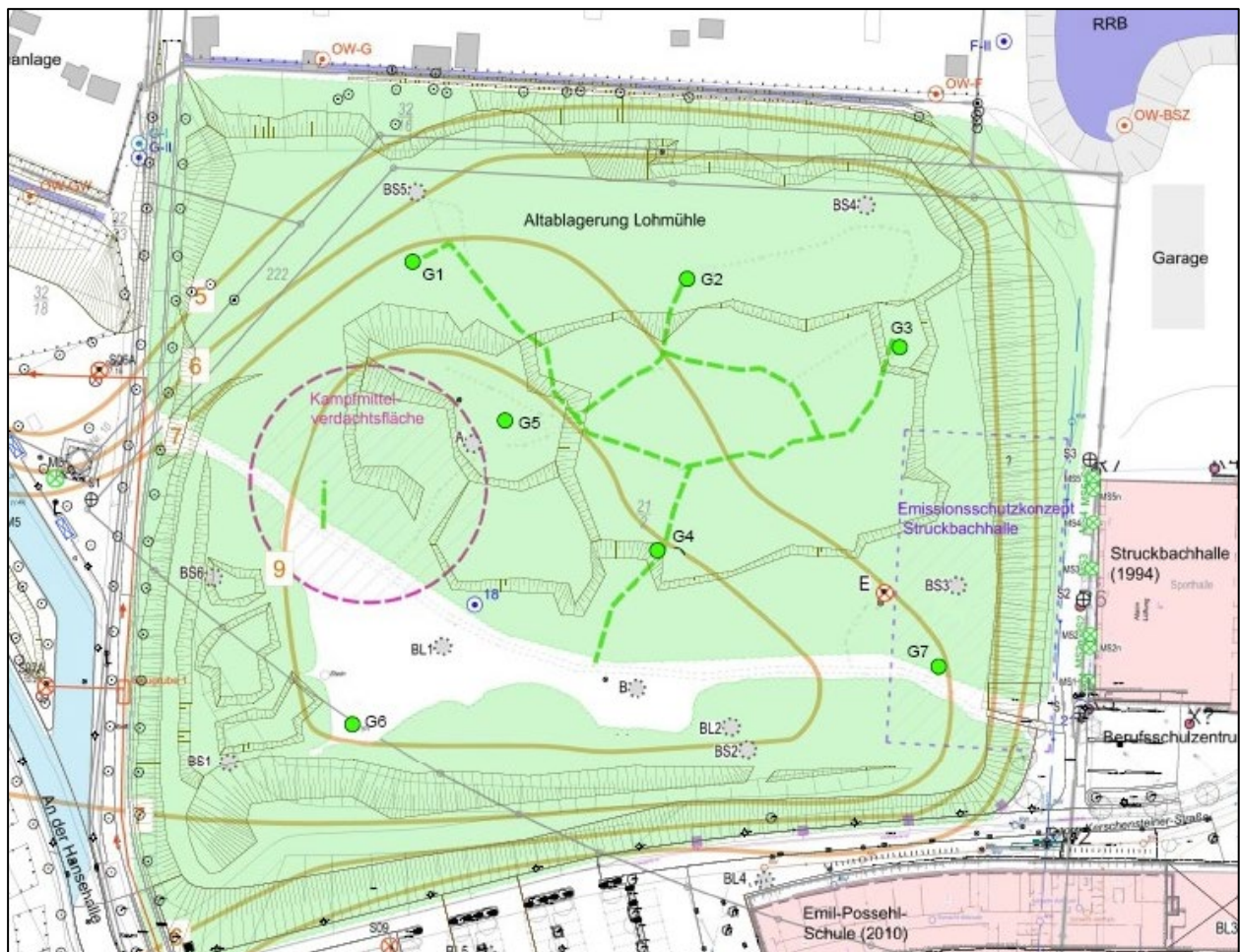


Abbildung 3 Lageplan der Bohrungen (vollständiger Plan in Anlage 4)

Bei den neu angelegten Bohrungen wurden Abfälle / Auffüllungen bis in folgende Tiefen unter GOK angetroffen:

Bohrung: G 1/22:	≥ 8 m, Grundwasser ab 5,1 m u. GOK
Bohrung: G 2/22	5,80 m, Grundwasser ab 5,7 m u. GOK
Bohrung: G 3/22	7,00 m, Grundwasser ab 6,9 m u. GOK
Bohrung: G 4/22	≥ 8 m, Grundwasser ab 6,5 m u. GOK
Bohrung: G 5/22	≥ 8 m, kein Grundwasser
Bohrung: G 6/22	≥ 8 m, Grundwasser ab 5,3 m u. GOK
Bohrung: G 7/22	≥ 8 m, Grundwasser ab 5,8 m u. GOK

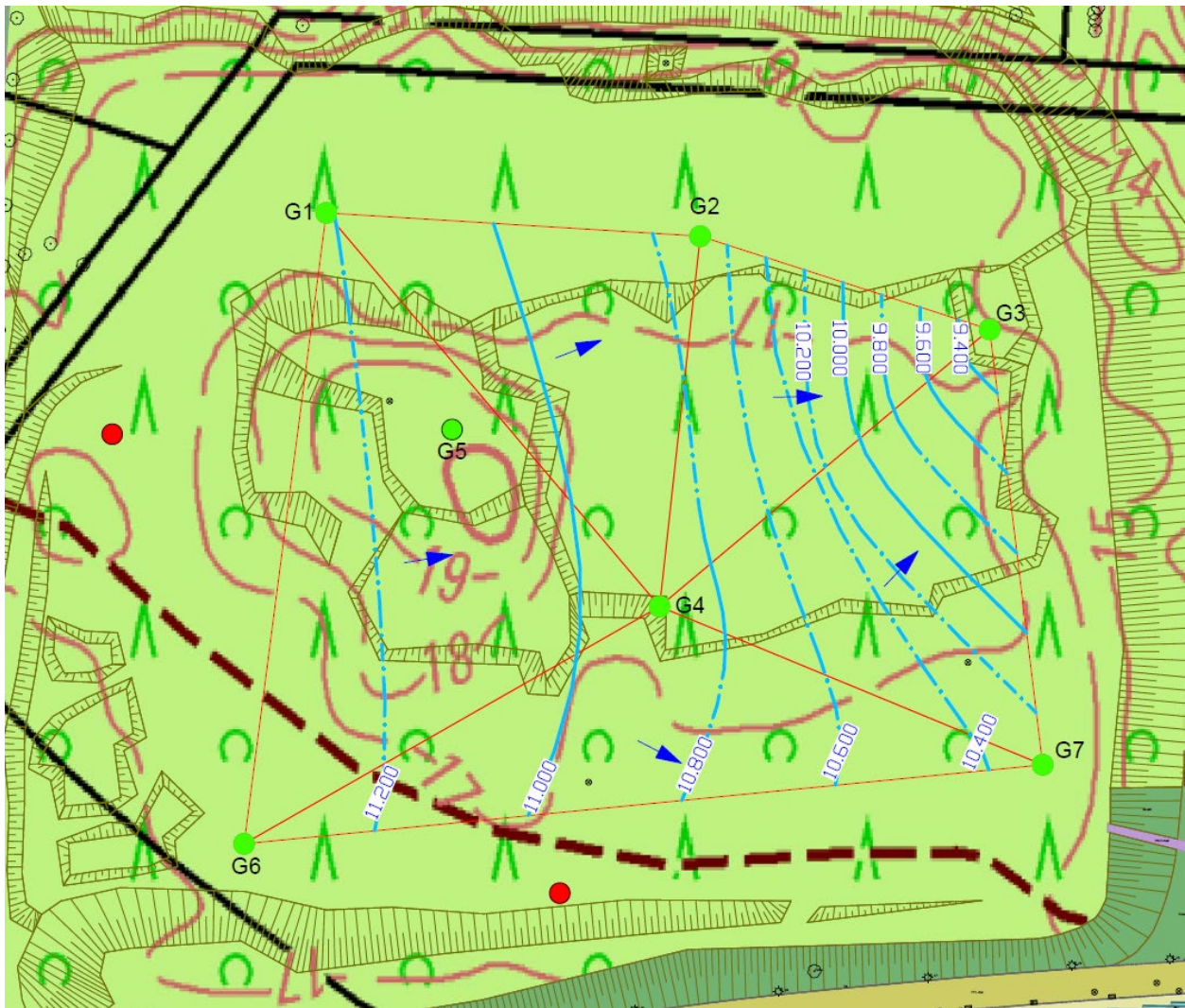


Abbildung 4 Topografie und aus den Wasserständen in den Gasbrunnen abgeschätzter Verlauf der Grundwassergleichen im April 2023 (4.-13.)

5.2.2 Vermessungsarbeiten

Das lage- und höhenmäßige Einmessen der Bohransatzpunkte G1 bis G7 im Gelände erfolgte mittels STONEX S800 GNSS System. Die Koordinaten der Untersuchungspunkte können den Bohrprofilen in Anlage 1 entnommen werden.

5.2.3 Begleitender Arbeits- und Emissionsschutz

Der Arbeits- und Emissionsschutz wurden gem. DGUV Regel 101-004 „kontaminierte Bereiche“ durchgeführt. Dementsprechend wurde ein Gasspürgerät eingesetzt, eine Bewetterungsanlage vorgehalten und eine Schwarz-Weiß-Anlage mit Frisch- und Abwasserbehälter eingerichtet. Das Personal wurde zu Arbeitsbeginn entsprechend eingewiesen.

Vor Beginn der Untersuchungen wurden die Kabel- und Leitungspläne bei den örtlichen Versorgungsunternehmen angefordert und bei der Auswahl der Bohransatzpunkte berücksichtigt.

Eine Überprüfung auf Kampfmittelbelastung wurde im Vorwege der Arbeiten durch die AG beim Kampfmittelräumdienst des Landes S.-H. durchgeführt (Stand 30.06.2020). Der überwiegende

Teil des Untersuchungsgebietes stellt keine Kampfmittelverdachtsfläche dar. Die Ausnahme bildet eine kleine Verdachtsfläche im westlichen Bereich (siehe Lageplan). Innerhalb des Verdachtsbereiches wurden keine Eingriffe in den Untergrund vorgenommen.

5.3 Abfallfeststoffprobenahme

Die Probenahme erfolgte absprachegemäß für jede Bohrung jeweils von 1,0 (bzw. 1,1) bis 4,5 m u. GOK sowie von 4,5 bis 8,0 m u. GOK. Insgesamt wurden somit 14 Mischproben gewonnen. Die Proben des Bodenmaterials wurden in 5l Plastikeimer abgefüllt.

Das Bohrgut wurde im Container gelagert, am 13.04.2023 beprobt und als MP Bohrgut Container gemäß LAGA TR Boden Tab.II.1.2-1 und Ergänzungsparameter gemäß Deponieverordnung durch das Labor Eurofins Umwelt Nord GmbH analysiert und durch die ASBT Umwelt GmbH & Co. KG fachgerecht entsorgt.

Die chemische Analytik der Bodenproben erfolgte durch das Labor Gesellschaft für Bioanalytik mbH (GBA). Die Laborprüfberichte, in denen auch die Analysemethoden und Bestimmungsgrenzen bezeichnet sind, sind in Anlage 3 beigelegt.

Die 14 Mischproben wurden jeweils auf folgende Parameter untersucht:

- Wassergehalt (% der Feuchtmasse FM)
- Glühverlust (% TS)
- organischer Kohlenstoffgehalt (% TS)
- Stickstoffgehalt (% TS)
- Bestimmung des Sauerstoffbedarfs und der biologischen Aktivität über 4 Tage (AT₄) gemäß Deponieverordnung

5.4 Ergebnisse der Abfallfeststoffanalysen (Bohrproben)

Die untersuchten Proben weisen einen sehr niedrigen Organikgehalt auf, also wenig Material, das durch einen biologischen Abbau weiter stabilisiert werden könnte. Die Ergebnisse der Feststoffanalytik sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Zwei Leitparameter sind hier besonders wichtig:

AT₄: Atmungsaktivität in 4 Tagen (biologischer Sauerstoffverbrauch): Alle Proben wiesen einen Wert von unter 1mg/g TM auf. Zum Vergleich wird der Grenzwert für heutige Deponien der Klasse II herangezogen, die i.d.R. aufgrund des vorbehandelten Inputs keine aktive Entgasung haben / benötigen. Er beträgt für die Ablagerung von mechanisch-biologisch behandelten Restabfällen, die ein intensives, biologisches Behandlungsverfahren durchlaufen haben, seit Juni 2005 5mg. Werte von unter 1mg/g TM sprechen zunächst für kein sinnvoll forciert abbaubares, organisches Material. Dementsprechend bestünde auch nur wenig Methanbildungspotenzial.

Der Glühverlust repräsentiert den Gehalt an organischem Material in der Probe. Er erfasst jedoch nicht nur das biologisch abbaubare organische Material, sondern auch biologisch nicht / kaum abbaubare Materialien wie Kunststoffe, die oft schon die Hälfte der Organik ausmachen. In der Ablagerungsphase 1915 - 1963 waren Kunststoffe noch nicht weit verbreitet und werden nur einen sehr geringen Anteil des Abfalls ausgemacht haben. Der organische Kohlenstoff wird also weitgehend aus kaum noch biologisch abbaubaren Holz- bzw. Ligninanteilen bestehen. Er steht also nicht im Widerspruch zum geringen AT₄. Das Gleiche gilt für den TOC im Feststoff.

Für die anschauliche Einordnung der Glühverlustwerte kann wieder die DepV herangezogen werden. Um eine weitreichende Mineralisierung (also Inertheit) der abgelagerten Abfälle sicherzustellen und für Hausmüll einen ausreichenden Ausbrand in der Müllverbrennung, ist in der DepV für die Deponieklasse II, abgesehen von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen, für die die Grenzwerte beim TOC im Feststoff sowie alternativ dem oberen Heizwert festgelegt sind, beim Glühverlust ein Grenzwert von 5% vorgesehen. Die in den Feststoffproben vorgefundenen Glühverluste liegen zwischen 2,8 und 10,8%.

Tabelle 2 Chemische Analysen der aus den Bohrungen gewonnenen Feststoffproben.

Probe	Tiefenbereich	Trockenrückst.	Wassergehalt	Atmungsaktivität (AT ₄)	Glühverlust (550°C)	TOC	Stickstoff ges.
	m u. Ansatz	Masse-%	Masse-%	mg O ₂ /g TM	Masse-% TM	Masse-% TM	mg/kg TM
MPG1/1	1,0-4,5	86,5	15,6	<1,0	2,8	1,0	520
MPG1/2	4,5-8,0	73,8	35,6	<1,0	8,2	3,9	1.900
MPG2/1	1,0-4,5	85,5	16,9	<1,0	4,5	4,0	700
MPG2/2	4,5-8,0	78,2	27,9	<1,0	4,7	1,8	1.500
MPG3/1	1,0-4,5	83,6	19,7	<1,0	10,8	7,0	2.700
MPG3/2	4,5-8,0	84,5	18,4	<1,0	6,2	4,6	1.400
MPG4/1	1,1-4,5	88,3	13,3	<1,0	3,9	3,0	430
MPG4/2	4,5-8,0	83,1	20,4	<1,0	7,4	5,4	910
MPG5/1	1,0-4,5	85,7	16,7	<1,0	5,1	3,6	790
MPG5/2	4,5-8,0	85,7	16,7	<1,0	7,4	4,7	1.000
MPG6/1	1,0-4,5	84,3	18,7	<1,0	4,7	2,8	630
MPG6/2	4,5-8,0	78,4	27,5	<1,0	10,7	9,3	1.100
MPG7/1	1,0-4,5	85,0	17,7	<1,0	6,9	4,4	1.600
MPG7/2	4,5-8,0	79,0	26,6	<1,0	8,1	4,2	1.600

5.5 Rückschlüsse aus den Abfallfeststoffbeprobungen auf das Deponie- und Emissionsverhalten, Potenziale zum Klimaschutz

Die Feststoffanalytik spricht zunächst nicht für ein nennenswertes Potenzial zur Entstehung von Methan in der ehemaligen Deponie. Dies ist mit der lange zurückliegenden Ablagerungszeit und für den biologischen Abbau förderlichen Bedingungen in diesem Zeitraum zu erklären.

Die in Kapitel 5.6 beschriebenen Absaugversuche belegen jedoch, dass zumindest kurzfristig an einigen Gasbrunnen eine relevante Menge Deponiegas mit Methangehalten von ca. 14-72% abgesaugt werden kann, die relevante Treibhauswirksamkeit hat.

5.6 Absaug- und Belüftungsversuche

5.6.1 Grundlagen

Die Abbauprozesse im Deponiekörper verlaufen in Phasen, die u.a. durch eine Veränderung der Gas- und Sickerwasserbeschaffenheit gekennzeichnet sind. Abbildung 5 zeigt den phasenweisen Wechsel der Zusammensetzung des Deponiegases aus Ablagerungen mit unbehandelten Abfällen. Die Phasen I - IV basieren auf Farquhar & Rovers (1973) sowie Franzius (1981) und die nachfolgenden Phasen V – IX auf Rettenberger & Mezger (1992). Die Phasen werden gemäß Tabelle 3 bezeichnet.

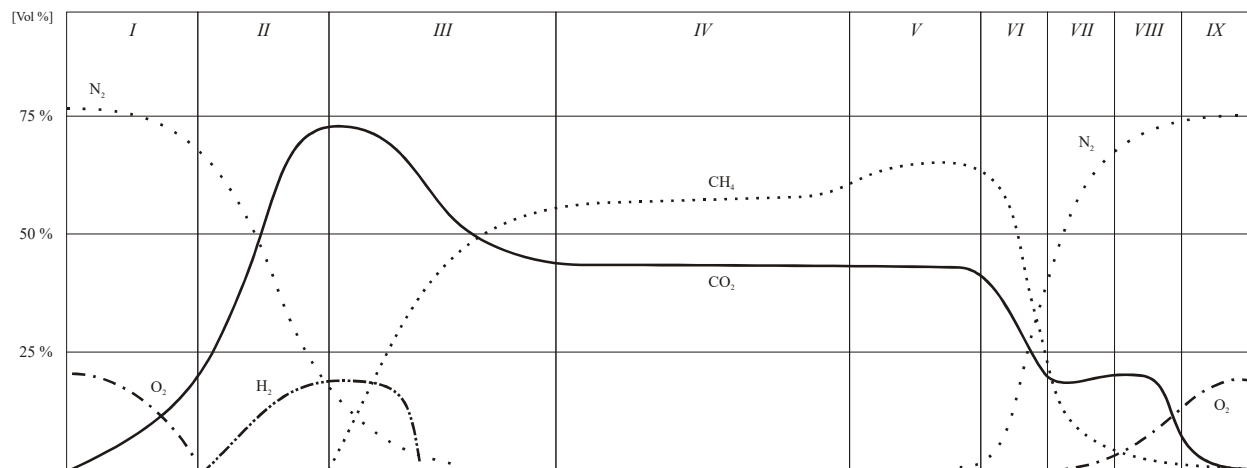


Abbildung 5 Langzeitmodell der der Deponiegaszusammensetzung in Deponien für unbehandelte Siedlungsabfälle (Farquhar & Rovers 1973; Franzius, 1981; Rettenberger & Mezger, 1992)

Tabelle 3 Bezeichnung der Deponiephasen

I	Aerobe Phase	VI	Lufteindringphase
II	Saure Phase	VII	Methanoxidationsphase
III	Instabile Methanphase	VIII	Kohlendioxidphase
IV	Stabile Methanphase	IX	Luftphase
V	Langzeitphase		

5.6.2 Durchführung und Ergebnisse

Die Absaug- und Belüftungsversuche sowie die Oberflächenmessung wurden in der 16. KW 2023 einschließlich Wochenende durchgeführt.

Nachfolgend werden nur wesentliche Ausschnitte der aufgenommenen Datenmengen in den gezeigten Diagrammen dargestellt, damit wesentliche Fakten deutlich dargestellt werden und die notwendige Übersichtlichkeit gewahrt bleibt. Insgesamt wurden ca. 14.500 Messpunkte (teilweise kontinuierlich auf Datenträger) aufgenommen.

Insgesamt wurde in der Kw 16 / 2023 eine Gasmasse von ca. 4.100 kg aus der Altablagerung abgesaugt. Dieses Deponiegas besaß eine Feuerungswärmeleistung (FWL) von ca. 12.000 kWh_{th}. Für eine Altablagerung dieses Alters erscheint dies zunächst als viel.

Auf Grund der kurzen Dauer der Besaugungen spiegeln die Gaswerte allerdings das über lange Zeit angesammelte und anstehende Gas im Porenraum des Deponiekörpers wider.

Die Auswertung der Gasbrunnen GB 1 – GB 7 im Einzelnen:

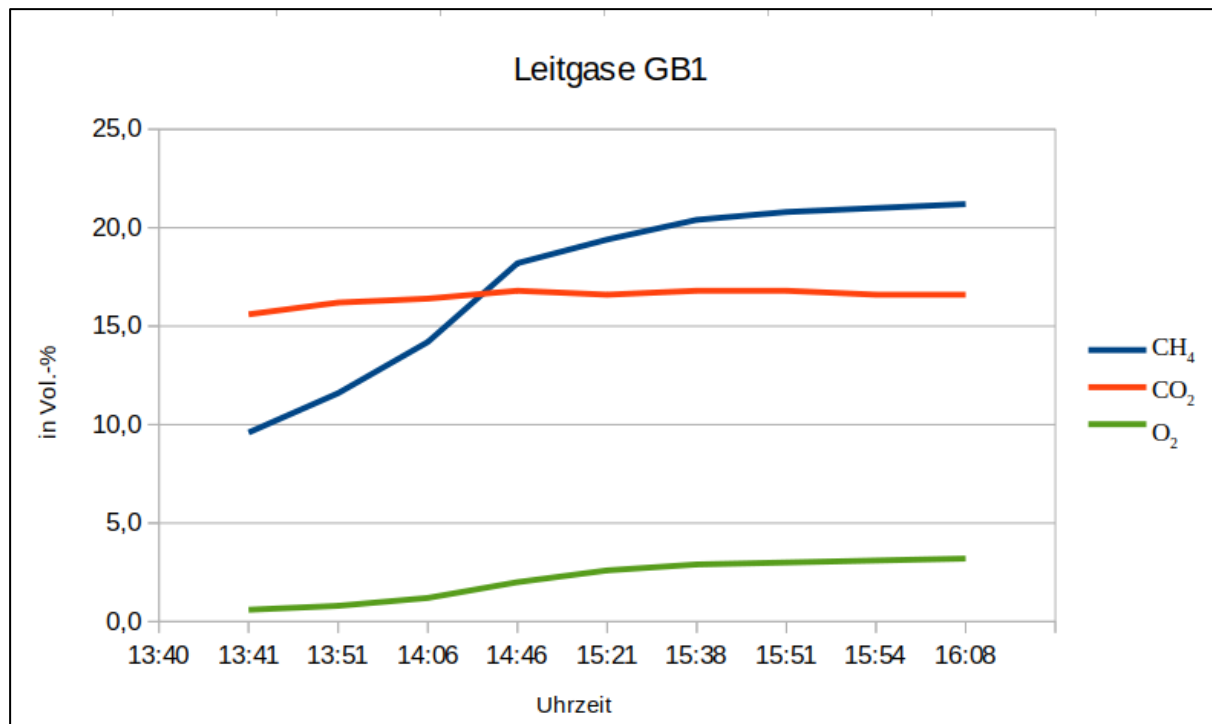


Abbildung 6 Leitgase GB 1

- Leichter Anstieg des Sauerstoffgehaltes im abgesaugten Deponiegas
- Anstieg Methan auf einen Spitzenwert von ca. 21,2 Vol. - %
- Volumenstrom zwischen ca. 180 m³/h und ca. 200 m³/h
- Saugdruck ca. -95 mbar zum Atmosphärendruck
- Wir konnten kein Druckgefälle auf andere Gasbrunnen feststellen
- Vermutlich Anstieg des Sauerstoffgehaltes durch Sauerstoff im sog. Porenvolumen der Altablagerung durch atmosphärische Luftdruckschwankungen
- Verhältnis CH₄ / CO₂ (ca. 1,3) spricht für eine funktionierende Biologie mit ausreichender Organik für die angetroffene Gasproduktion
- Rein aufgrund der abgesaugten Gasmengen und Gaszusammensetzung vermuten wir ein geringes Neubildungspotenzial. Typische Zusammensetzung für alte Ablagerungen mit geringer Gasneubildung in Phase VII gemäß Abb. 5.

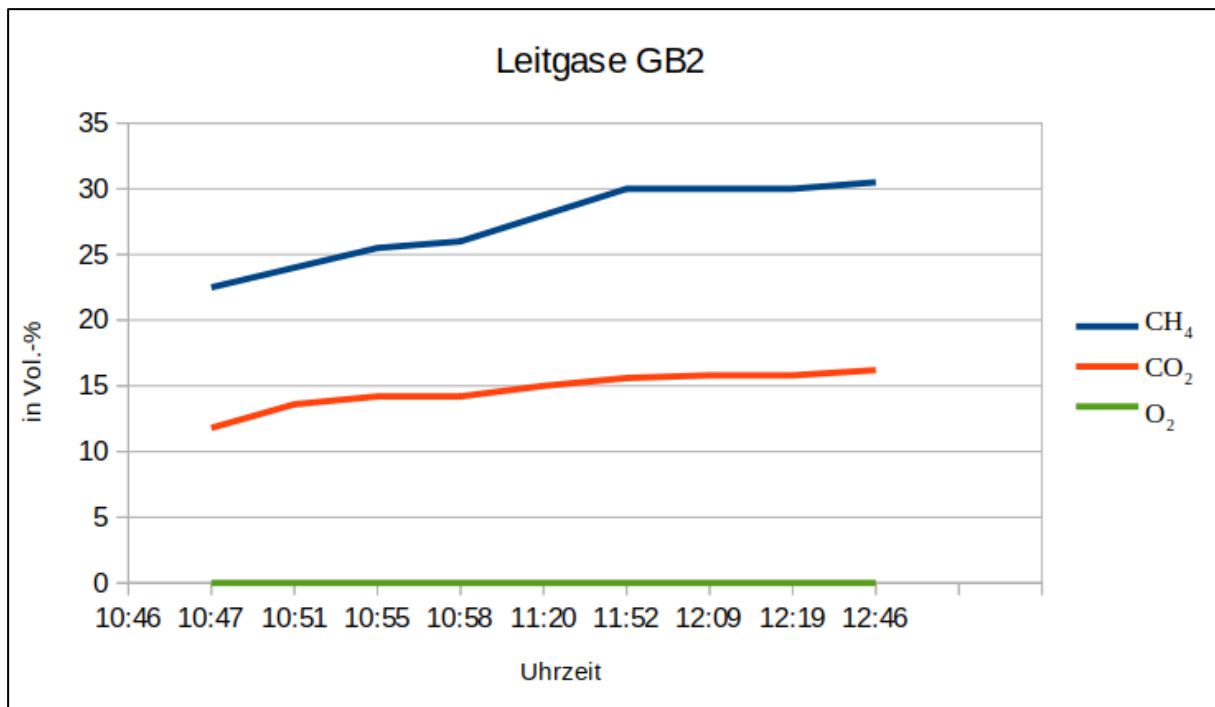


Abbildung 7 Leitgase GB 2

- Kein messbarer Sauerstoffgehalt im abgesaugten Deponiegas. Weitgehend dichte Oberfläche und gute Anbindung des Gasbrunnens an die Oberfläche der Deponie
- Anstieg Methan auf einen Spitzenwert von ca. 30,5 Vol. - %. Im weiteren, nicht mehr im Diagramm dargestellten Verlauf kam es zu keinem weiteren Anstieg über 30,5 Vol.-%.
- Volumenstrom ca. 180 m³/h
- Saugdruck ca. -80 mbar
- Wir konnten kein Druckgefälle auf andere Gasbrunnen feststellen.
- Verhältnis CH₄ / CO₂ (ca. 1,8) spricht zunächst für einen Übergang von Phase V nach Phase VI. Gaszusammensetzung typisch für alte Ablagerung mit relevanter Gasneubildung. Lange Kontaktzeit mit Abreicherung von CO₂ über Karbonatisierungsvorgänge (Bauschutt, Aschen, Schlacken!) oder Lösungsvorgänge in Wasser.

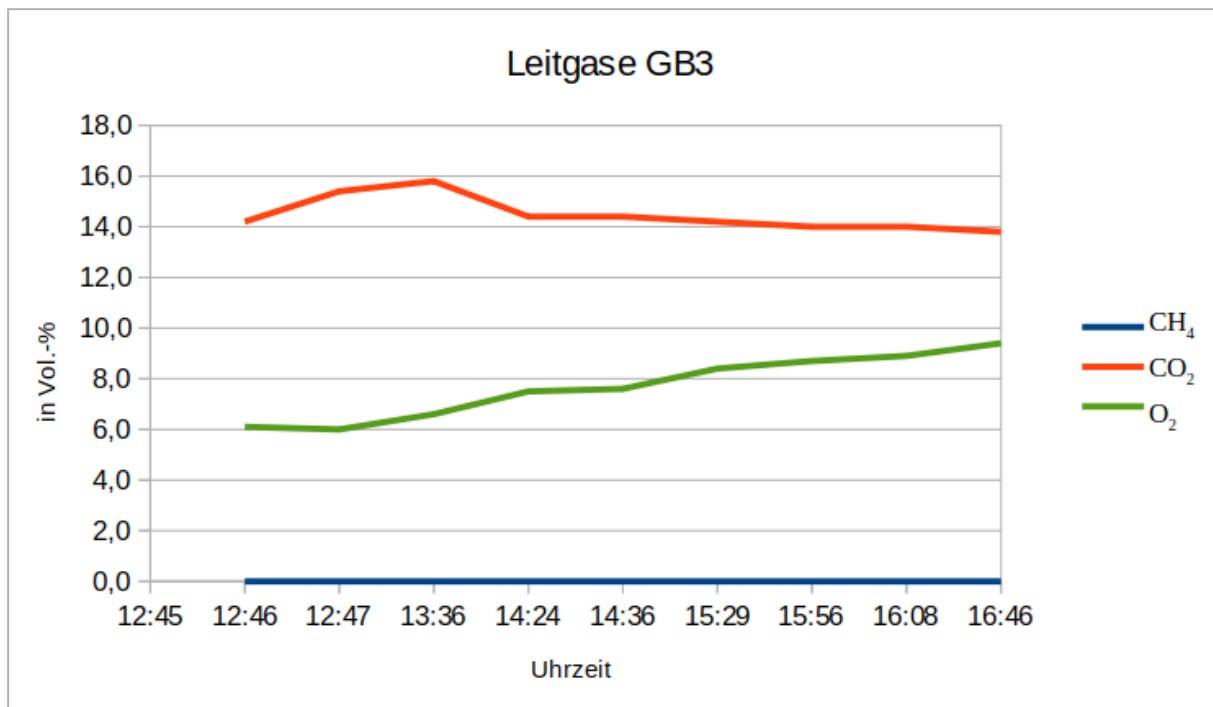


Abbildung 8 Leitgase GB 3

- Deutlicher Anstieg des Sauerstoffgehaltes im abgesaugten Deponiegas. Bereich der Ablagerung mit hoher Durchlässigkeit. Halber Saugdruck wie G1 und G2 spricht ebenso dafür.
- Keine messbaren Methankonzentrationen
- Volumenstrom ca. 177 m³/h
- Saugdruck ca. -40 mbar
- Wir konnten kein Druckgefälle auf andere Gasbrunnen feststellen
- Hier ist ziemlich sicher Phase IX erreicht. Wir gehen somit von keinem Neubildungspotenzial von Methan aus. Gaszusammensetzung ist Ergebnis von Aerobisierungseffekten. Hohe Durchlässigkeit ermöglicht Eindringen großer Luftmengen. Daher hoher "natürlicher" Aerobisierungsgrad. Ergebnisse in sich schlüssig.

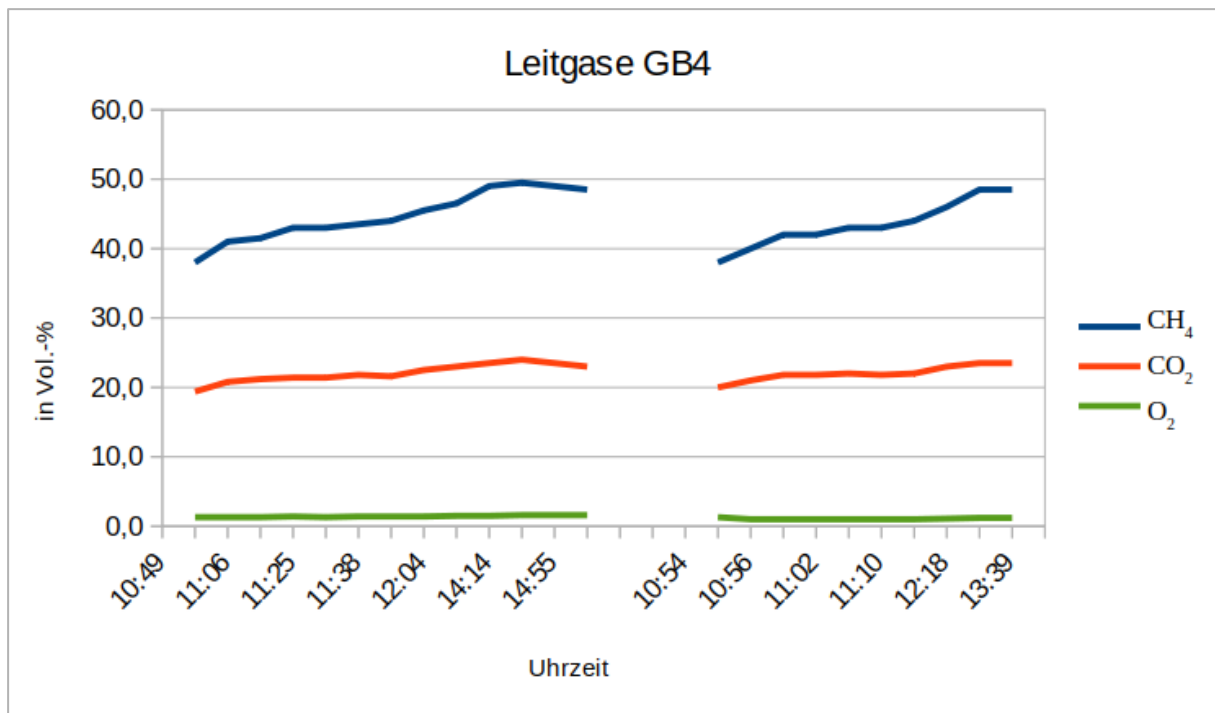


Abbildung 9 Leitgase GB 4

- Saugdruck ca. -100 mbar
- Wir konnten kein Druckgefälle auf andere Gasbrunnen feststellen
- Verhältnis CH₄ / CO₂ (ca. 2) spricht für eine gut funktionierende Biologie mit ausreichender Organik, d.h. u.E. befindet sich dieser GB in Phase IV. Gaszusammensetzung typisch für alte Ablagerung mit relevanter Gasneubildung. Lange Kontaktzeit mit Abreicherung von CO₂ über Karbonatisierungsvorgänge (Bauschutt, Aschen, Schlacken!) oder Lösungsvorgänge in Wasser.
- Rein aufgrund der abgesaugten Gasmengen und Gaszusammensetzung würde man von einem klimarelevanten Neubildungspotenzial ausgehen.

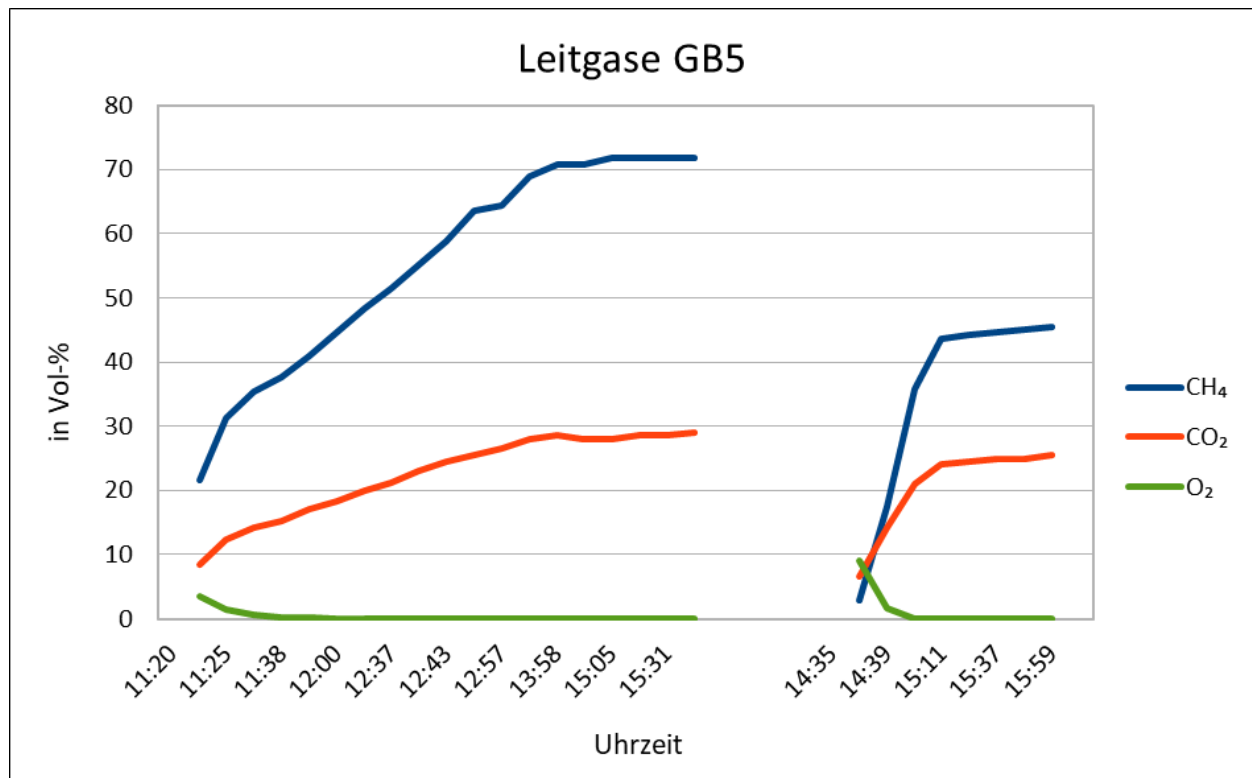


Abbildung 10 Leitgase GB 5

Zwischen den v.g. beiden Absaugintervallen liegt eine Intervallpause von ca. 4 Tagen, die zur Aerobisierung diente und die CH₄-Konzentration auf nahezu null zurückführte.

- In geringen Teilen anfänglich messbarer Sauerstoffgehalt im abgesaugten Deponiegas, vergl. Phase II bis Phase VI gemäß Abb. 5
- Anstieg des Methans auf einen Spitzenwert von ca. 72 Vol. - % am ersten Messtag, auf ca. 46 Vol. - % am zweiten Messtag. Anstieg CO₂ vermutlich auf Besaugung und Lufteintrag zurückzuführen. Das geht sehr schnell, aerobe Bakterien arbeiten viel schneller als methanotrophe oder methanogene Bakterien. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Ablagerung auf Besaugung mit Aerobisierungseffekten reagiert. Ein Argument für die Durchführung einer investiven Maßnahme zur beschleunigten in-Situ-Stabilisierung der Ablagerung.
- Volumenstrom ca. 150 – 175 m³/h am ersten Messtag, am zweiten Tag der Stressabsaugung: ca. 180 – 190 m³/h
- Saugdruck ca. -50 mbar am ersten Messtag, ca. – 65 mbar bis - 70 mbar am zweiten Messtag (wie vor)
- Wir konnten kein Druckgefälle auf andere Gasbrunnen feststellen (wie vor)
- Verhältnis CH₄ / CO₂ (anfangs ca. 2,6 später ca. 2,0) spricht für eine noch funktionierende Biologie mit ausreichender Organik in der Phase IV bis Phase VI. Gaszusammensetzung typisch für alte Ablagerung mit relevanter Gasneubildung. Lange Kontaktzeit mit Abreicherung von CO₂ über Karbonatisierungsvorgänge (Bauschutt, Aschen, Schlacken!) oder Lösungsvorgänge in Wasser.

- Rein aufgrund der abgesaugten Gasmengen und Gaszusammensetzung würde man noch von einem klimarelevanten Neubildungspotenzial ausgehen.

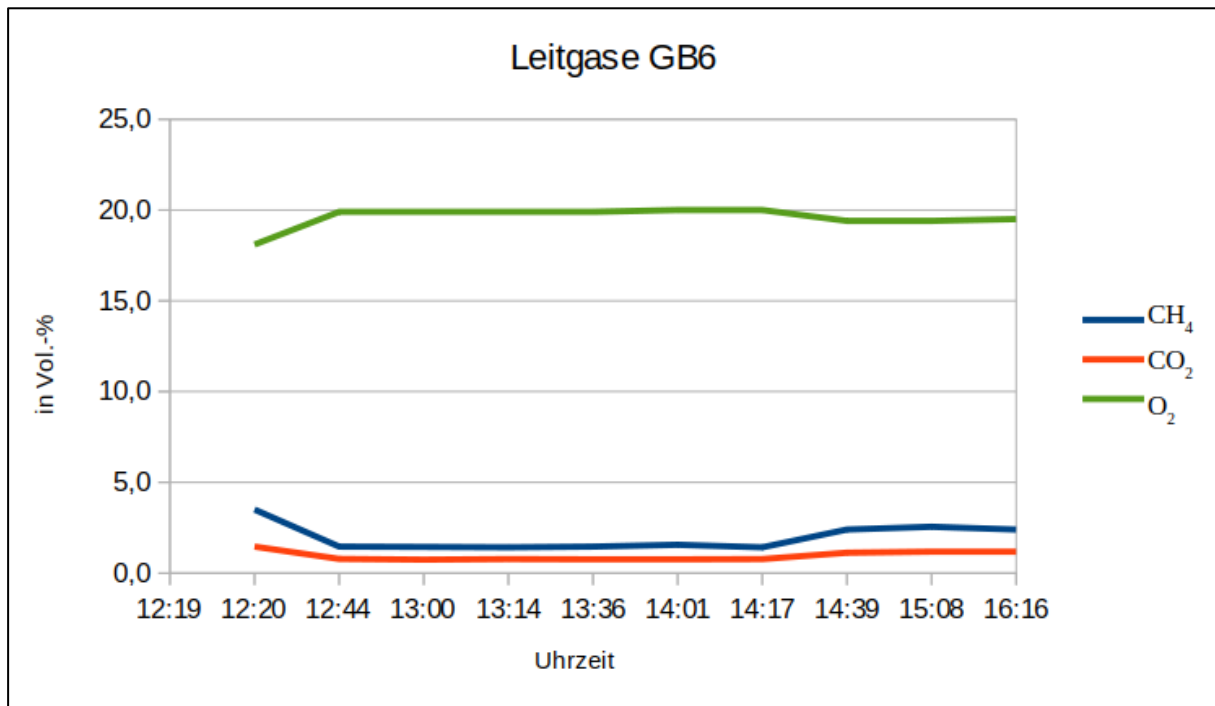


Abbildung 11 Leitgase GB 6

- Lange Kontaktzeit mit Abreicherung von CO₂ über Karbonatisierungsvorgänge (Bauschutt, Aschen, Schlacken!) oder Lösungsvorgänge in Wasser.
- Anstieg des Methans auf einen Spitzenwert von ca. 2,6 Vol. - % (innerhalb von 2 h nach „durchlaufen“ einer erwartenden Senke)
- Volumenstrom ca. 30 m³/h im gesamten Versuch
- Saugdruck ca. -6 mbar, da sich selbst bei so niedrigem Saugdruck eine nahezu atmosphärische Sauerstoffkonzentration eingestellt hat. Hohe Durchlässigkeit der Ablagerung, wahrscheinlich durch die Nähe zur Böschung des Deponiekörpers.
- Wir konnten kein Druckgefälle auf andere Gasbrunnen feststellen.
- Trotz geringem Luftstrom und Saugdruck kam es hier bereits zu einer Übersaugung des Brunnens und damit dem Einfluss atmosphärischen Sauerstoffs.
- Rein aufgrund der abgesaugten Gasmengen und Gaszusammensetzung gehen wir von einem sehr geringem Neubildungspotenzial aus, da sich dieser GB vermutlich in den Phasen VIII / IX gemäß Abb. 5 befindet.

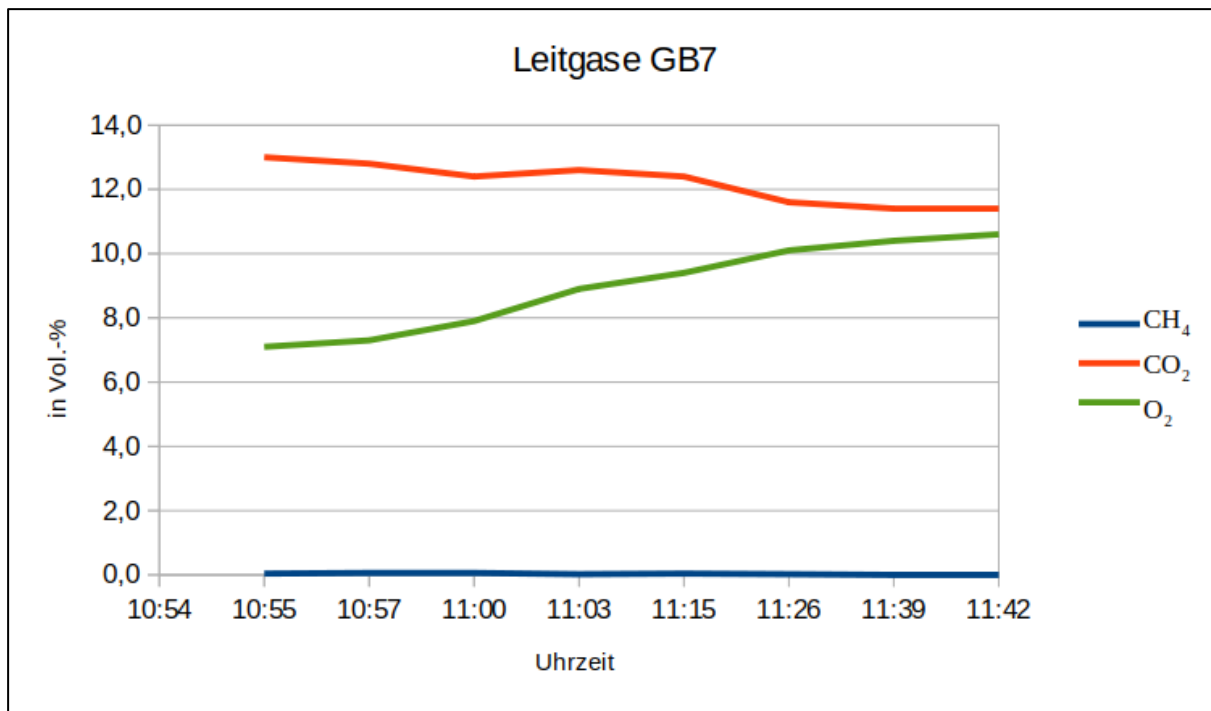


Abbildung 12 Leitgase GB 7

- In sehr geringen Teilen anfänglich messbare Methankonzentration im abgesaugten Deponiegas
- Im gesamten Messverlauf keine messbare Methankonzentration
- Volumenstrom ca. 170 m³/h
- Saugdruck fallend von anfänglichen ca. -52 mbar auf -40 mbar. Ähnliches Verhalten wie G4.
- Wir konnten kein Druckgefälle auf andere Gasbrunnen feststellen (wie vor)
- Wir vermuten kein Neubildungspotenzial, da sich der G7 in Phase IX befindet. Dies könnte neben den ursprünglichen Abfalleigenschaften auch auf den Einfluss der bereits durchgeführten / abgeschlossenen, angrenzenden Absaugungs-/Aerobisierungsmaßnahme zurückzuführen sein und spricht für den Erfolg von Aerobisierungsmaßnahmen am Standort Lohmühle.

Alle Angaben und Einstufungen sind vor dem Hintergrund der kurzen Dauer der Absaugversuche zu sehen.

5.7 FID bzw. Laser-Begehung zur Beprobung geringer Methangehalte und diffuser Ausgasungen über die Oberflächenabdichtung

Die vollständige Messung erfolgte am 22. April 2023. Vorher wurden nur zur internen Verwendung zusätzlich einzelne Bereiche gescannt. Bei der Begehung der Deponie konnten trotz ganzflächiger, lückenloser Messung (im Gegensatz zum FID, das nur punktuell misst) über ein Laser-

system (Reichweite ca. 30m um die Laufspur) keine oberflächlichen Deponiegasaustritte festgestellt werden. Es wurden ausschließlich „Hinterlassenschaften“ von Lebewesen gefunden, die „ausgasen“ und dadurch messtechnisch auffällig wurden.

Durch die Absorptionsspektroskopie mittels durchstimmbarer Laserdioden ist die Erkennung von Methanwolken bei einer Entfernung bis max. 30 m real möglich. Der Detektor muss sich nicht in der Methanwolke befinden. Beim Durchdringen einer Wolke absorbiert das Methangas einen Bereich des Lichts, was daraufhin durch das Laser-Messgerät erkannt wird. Durch diese Technologie ist das Erkennen von Methanemissionen entlang der Sichtlinie möglich, ohne stets die gesamte Fläche entlanggehen zu müssen.

Das verwendete Lasermessgerät hat bei Entfernungen bis 15m eine Empfindlichkeit bzw. Nachweisgrenze von 5 ppm, bei Entfernungen bis 30m eine Empfindlichkeit bzw. Nachweisgrenze von 10 ppm.

Die verwendeten Geräte sind in Anlage 5 dokumentiert.

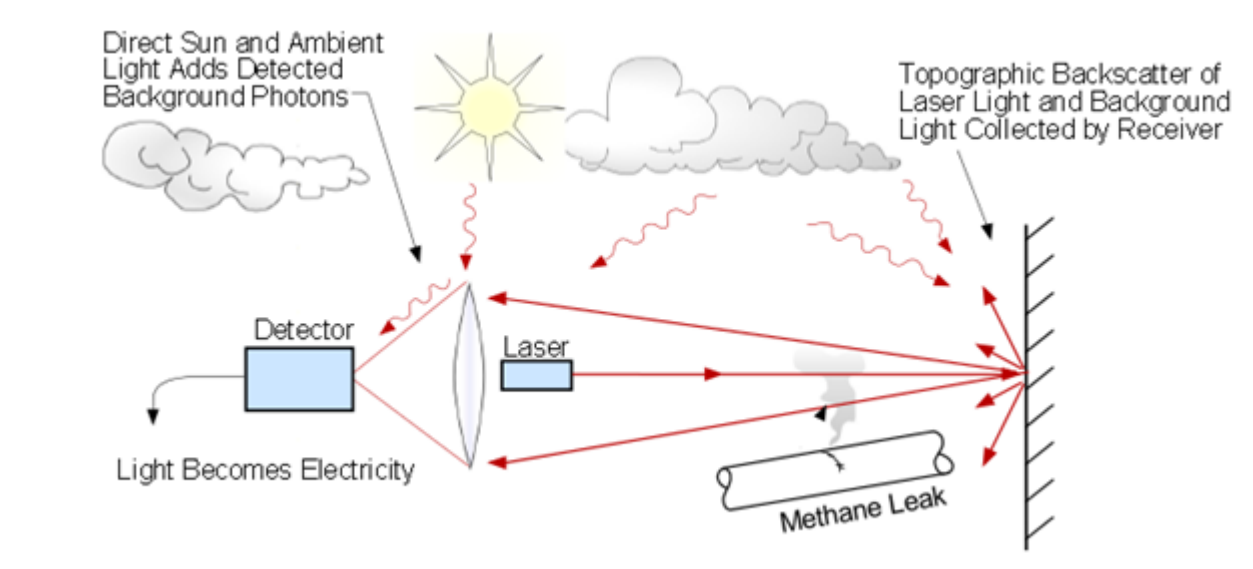


Abbildung 13 Messprinzip der Laserabsorptionsspektroskopie (Quelle unbekannt)

Vor dem Beginn der Begehung wurde das Laser-Messgerät mit der im Tragekoffer integrierten Gastestzelle kalibriert bzw. wurde der integrierte Selbsttest durchgeführt. Zur Erfassung der Hintergrundbelastung wurde vor der Begehung und nach der Begehung ein Abgleich mit dem Umgebungsbereich (außerhalb der Deponieoberfläche) durchgeführt (Nullpunktjustierung).

Die Altablagerung Lohmühle besitzt keine technische Oberflächenabdichtung. Die vorhandene Abdeckung aus Boden ist an den Messungstagen allerdings so wirksam gewesen, dass keine Gasaustritte geortet werden konnten. Die Messungen wurden sicherheitshalber mehrfach wiederholt.

Es konnten daher zunächst keine Gasaustritte aus der Deponie geortet werden. Eine Erklärung wäre, dass die Restgasbildung in der Oberflächenabdeckung biologisch oxidiert wird. Dement-

sprechend wäre die Gasneubildung bereits so gering, dass die biologische Methanoxidation Methanemissionen schon weitgehend verhindert. Das hieße aber nicht, dass es keine nicht entdeckten Hotspots oder eine Migration des Deponiegases in andere Bereiche außerhalb der im Rahmen dieses Projekts zu untersuchenden Fläche geben kann, wie z.B. in den Unterlagen zu den Gasaustritten bei der Struckbachhalle.



Abbildung 14 GPS vermessener Laufweg der Laser-Oberflächen-Messungen der Altablagerung Lohmühle (Eigenleistung) – Darstellung über „KDE-Marble“ am 27.IV.2023

Zusammenfassung und Auswertung des Monitorings (Phasen gemäß Abb. 5)

GB 1: Methan bis 21,2 % V 180-200 m³/h, CH₄/CO₂ 1,3, Phase 7, geringes Neubildungspotenzial

GB 2: Methan bis 30,5 %, V ca. 180 m³/h, CH₄/CO₂ 1,8, Phase 5-6, abklingendes Neubildungsp.

GB 3: Methan 0 %, V ca. 177 m³/h, CH₄/CO₂ k.A., Phase 9, kein Neubildungsp.

GB 4: Methan bis 49,5 %, V ca. 150-180 m³/h, CH₄/CO₂ 2,0, Phase 4, hohes Neubildungsp.

GB 5: Methan bis 72 %, V ca. 150-190 m³/h, CH₄/CO₂ 2,6-2, Phase 4-6, hohes Neubildungsp.

GB 6: Methan bis 2,6 %, V ca. **30** m³/h, CH₄/CO₂ kA, Phase 8-9, sehr geringes Neubildungsp.

GB 7: Methan bis 0 %, V ca. 170 m³/h, CH₄/CO₂ 0, Phase 9, kein Neubildungsp.

Tabelle 4 Durchschnittliche Gaszusammensetzung der Messtellen

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
Sauerstoff	4,0%	0,0%	8,2%	1,3%	1,4%	19,6%	9,6%
Methan	14,0%	27,2%	0,0%	42,4%	49,5%	2,0%	0,0%
Kohlendioxid	14,1%	14,6%	13,5%	21,2%	10,1%	1,0%	11,3%
Stickstoff	67,9%	58,2%	78,3%	35,1%	39,0%	77,4%	79,1%

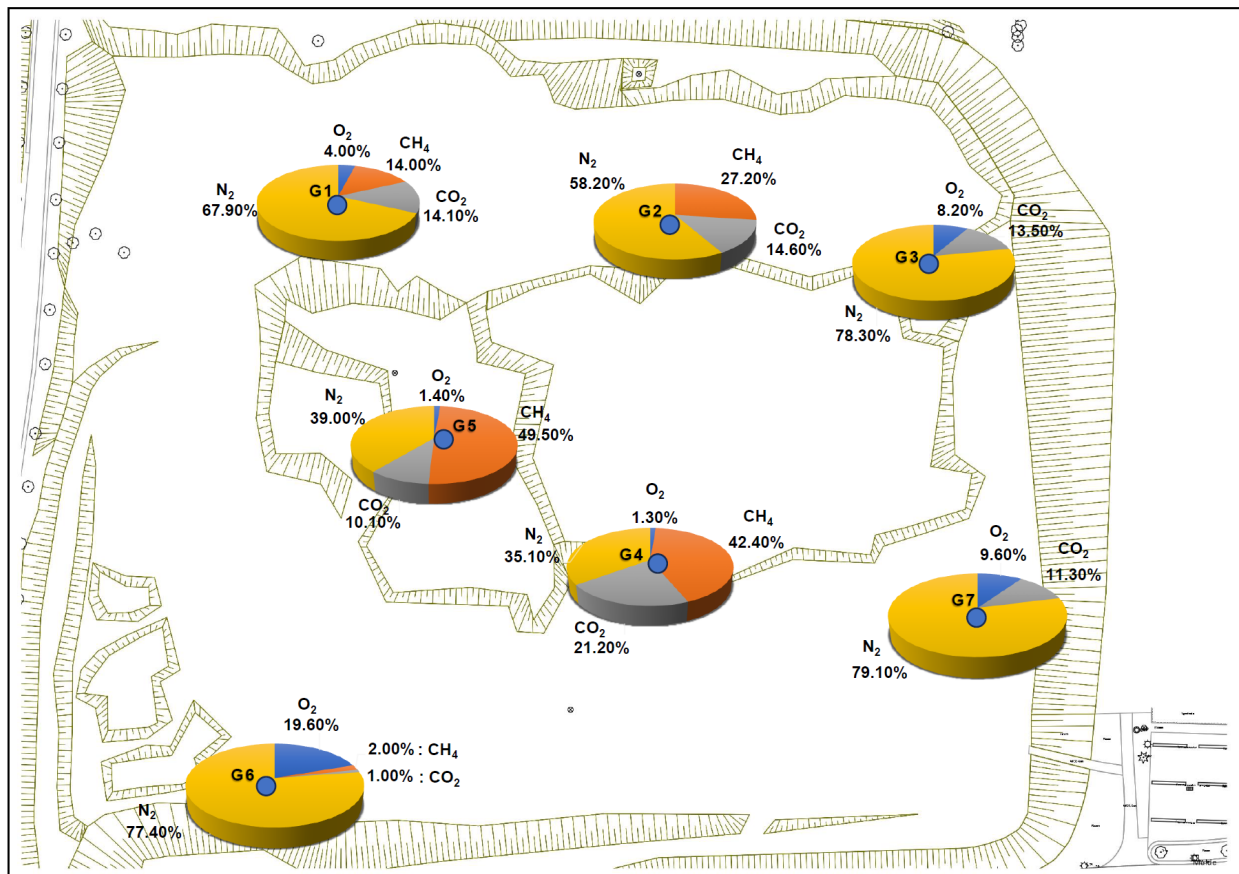


Abbildung 15 Durchschnittliche Gaszusammensetzung an den Messtellen

6 BEWERTUNG

Tabelle 5 fasst die Ergebnisse der Feststoffanalytik und der Gasabsaugung zusammen.

Tabelle 5 Werte Feststoff- und Gasuntersuchungen

Probe	Feststoffanalytik							Gasabsaugung				
	Tiefe	TR	WG	AT ₄	GV (550°C)	TOC	N ges.	Volumen	mittl. CH ₄	mittl. CO ₂	mittl. O ₂	mittl. N
	m u. Ansatz	Masse-%	Masse-%	mg O ₂ /g TM	Masse-% TM	Masse-% TM	mg/kg TM	m ³ /h	Vol.-%	Vol.-%	Vol.-%	Vol.-%
MPG1/1	1,0-4,5	86,5	15,6	<1,0	2,8	1,0	520	180-200	14,00%	14,10%	4,00%	67,90%
MPG1/2	4,5-8,0	73,8	35,6	<1,0	8,2	3,9	1.900					
MPG2/1	1,0-4,5	85,5	16,9	<1,0	4,5	4,0	700	180	27,20%	14,60%	0,00%	58,20%
MPG2/2	4,5-8,0	78,2	27,9	<1,0	4,7	1,8	1.500					
MPG3/1	1,0-4,5	83,6	19,7	<1,0	10,8	7,0	2.700	177	0,00%	13,50%	8,20%	78,30%
MPG3/2	4,5-8,0	84,5	18,4	<1,0	6,2	4,6	1.400					
MPG4/1	1,1-4,5	88,3	13,3	<1,0	3,9	3,0	430	150-180	42,40%	21,20%	1,30%	35,10%
MPG4/2	4,5-8,0	83,1	20,4	<1,0	7,4	5,4	910					
MPG5/1	1,0-4,5	85,7	16,7	<1,0	5,1	3,6	790	150-190	49,50%	10,10%	1,40%	39,00%
MPG5/2	4,5-8,0	85,7	16,7	<1,0	7,4	4,7	1.000					
MPG6/1	1,0-4,5	84,3	18,7	<1,0	4,7	2,8	630	30	2,00%	1,00%	19,60%	77,40%
MPG6/2	4,5-8,0	78,4	27,5	<1,0	10,7	9,3	1.100					
MPG7/1	1,0-4,5	85,0	17,7	<1,0	6,9	4,4	1.600	170	0,00%	11,30%	9,60%	79,10%
MPG7/2	4,5-8,0	79,0	26,6	<1,0	8,1	4,2	1.600					

An den Gasbrunnen 1, 2, 4 und 5 wurden erhebliche Mengen (Absaugvolumina von ca. 150-200m³/h pro Brunnen) und Konzentrationen (ca. 14-72%) an Methan abgesaugt. Gasbrunnen 6 förderte 2% Methan bei einer Absaugmenge von 30m³, die bereits zur Übersaugung führte. Dieser Brunnen ist in Hanglage und bietet damit verbesserte Bedingungen für einen Luftzutritt und liegt am Rande einer Fläche, die bereits einer Aerobisierungsmaßnahme unterzogen wurde, allerdings schon relativ weit weg von diesem Brunnen liegt. Sein Umfeld ist davon vermutlich beeinflusst, aber eine geringe Restgasbildung ist noch vorhanden, so dass er passend eingeregelt in eine künftige Aerobisierungsmaßnahme einbezogen werden könnte, um bei geringer Absaugmenge die Stabilisierung seines Umfeldes abschließen zu können.

An den Gasbrunnen 3 und 7 wurde kein Methan angetroffen, diese Bereiche bedürfen daher keiner Aerobisierung.

Hinsichtlich des Fortschrittes des Abbauprozesses sind rein aufgrund der abgesaugten Gasmenngen und Gaszusammensetzung die einzelnen Gasbrunnen wie in Kapitel 5.6.2 dargestellt einzuordnen:

Ein erheblicher Teil der Abfälle liegt im Grundwasser, ist also nicht durch Übersaugung der Gaspegel aerobisierbar. Bei sinkendem Grundwasserspiegel könnten allerdings zusätzliche Gasvolumina entstehen, sofern die Abfälle nicht durch die Grundwasserdurchströmung eluiert wurden.

Die untersuchten Feststoffproben weisen einen sehr niedrigen abbaubaren Organikgehalt auf, also wenig Material, das durch einen biologischen Abbau weiter stabilisiert oder unter Methanbildung anaerob abgebaut werden könnte. Die Ergebnisse der Feststoffanalytik sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Zwei Leitparameter sind hier besonders wichtig:

Atmungsaktivität AT₄: Alle Werte von unter 1mg/g TM stehen für kaum noch abbaubares, organisches Material. Dementsprechend besteht auch nur wenig Methanbildungspotenzial.

Die vorgefundenen Glühverluste liegen zwischen 2,8 und 10,8%. Angesichts des extrem niedrigen AT_4 der Proben ist davon auszugehen, dass der Glühverlust bzw. der organische Kohlenstoff weitgehend aus kaum noch biologisch abbaubaren Holz- bzw. Ligninanteilen oder örtlich auch Kunststoffen bestehen. Er steht also nicht im Widerspruch zum geringen AT_4 . Das Gleiche gilt für den TOC im Feststoff. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass Holz unter Wasser, also im Grundwasserbereich, so gut wie gar nicht biologisch abgebaut werden kann.

Auf den ersten Blick haben die Absaugversuche und die Feststoffanalytik widersprüchliche Ergebnisse gebracht:

Die Feststoffanalytik spricht zunächst nicht für ein nennenswertes Potenzial zur Entstehung von Methan in der ehemaligen Deponie. Das ist nach der langen Ablagerungszeit und eher geringen Ablagerungsmächtigkeit zunächst nicht überraschend. Die in Kapitel 5.6 beschriebenen Absaugversuche belegen jedoch, dass an einigen Gasbrunnen eine relevante Menge Deponiegas mit Methangehalten von ca. 14-72% abgesaugt werden kann, die relevante Treibhauswirksamkeit hat.

Eine naheliegende Erklärung ist, dass die Absaugversuche ein erhebliches, deponiegasgefülltes Porenvolumen erschlossen und Staugas abgesaugt haben, dem jedoch keine oder nur eine wesentlich geringere Nachlieferung gegenübersteht.

7 POTENZIALANALYSE

7.1 Vergleichene Szenarien

In der Potenzialanalyse wird ein Szenario des Fortbestandes des Status Quo mit den Emissionen eines Szenarios verglichen, das zunächst die Absaugung des Deponiegases und anschließend die Übersaugung und damit Aerobisierung der Deponie vorsieht. Diese Gegenüberstellung zeigt, welches Einsparpotenzial an Treibhausgasemissionen besteht bzw. durch die vorgeschlagene Variante voraussichtlich umgesetzt werden kann.

Die Berechnungen beruhen üblicherweise auf den Vorgaben des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), das die First Order Decay (FOD) Methode anwendet. Diese Methode zielt darauf ab, das insgesamt aus den eingelagerten Abfällen produzierte Treibhausgas, ausgedrückt als Methanemission, zu bewerten.

Zum Vergleich der beiden Szenarien ist insbesondere das Übersaugungsszenario zu entwickeln und zu untersuchen, welche Auswirkungen dieses Szenario auf das Gasbildungspotenzial hat.

Ferner können aus diesen Betrachtungen Rückschlüsse auf das Abbauverhalten des im Abfallkörper gebundenen biologisch verfügbaren Kohlenstoffs gezogen werden. Darüber hinaus sind Aussagen über die Dauer einer kontrollierten Übersaugung abzuleiten.

7.2 Prognose des Gasbildungspotenzials nach IPCC

7.2.1 Theoretische Grundlagen

Für die Berechnung des Gasbildungspotenzials, welches aus den in der Deponie eingelagerten Abfällen entsteht, wird normalerweise das First Order Decay – Model (FOD-Model) nach IPCC 2006 zugrunde gelegt. Die grundlegenden Berechnungsvorschriften wurden in „Chapter

3 – SOLID WASTE DISPOSAL“ des 5. Bandes des vom IPCC herausgegebenen „2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories“ durch PIPATTI et al. (2006) detailliert beschrieben.

Nach dem FOD-Modell wird letztlich unterstellt, dass sämtliche deponiegasbildenden Prozesse durch Reaktionen erster Ordnung dargestellt werden können. Bei einer solchen Reaktion ist die Reaktionsgeschwindigkeit ausschließlich von der Konzentration des zerfallenden Stoffes abhängig. Dem hier betrachteten Stoff „organischer Abfall“ werden empirisch bestimmte Reaktionskonstanten (k) sowie DOC-Werte (degradable organic carbon), also unter aeroben Bedingungen umsetzbare Kohlenstoffmasseanteile, zugeordnet. Da der Umsetzungsprozess in Deponien jedoch anaerob abläuft, wird ein weiterer Faktor (DOCf) eingeführt, der jenen Anteil des DOC beschreibt, der anaerob umgesetzt werden kann. Letztlich wird, zur Berücksichtigung unterschiedlicher Gegebenheiten in der Deponiebewirtschaftung“, der so erhaltene Wert mit dem Faktor MCF (Methane Correction Factor) multipliziert. Hieraus ergibt sich schließlich folgender Zusammenhang:

$$DDOCm(T) = W(T) * DOC * DOCf * MCF$$

hierin bedeuten:

- $DDOCm(T)$ anaerob abbaubare Kohlenstoffmasse des im Jahr T eingelagerten Abfalls [Gg]
- $W(T)$ die in einem Jahr abgelagerte Abfallmasse [Gg]
- DOC Anteil des umsetzbaren Kohlenstoffs von der abgelagerten Masse
- $DOCf$ Fraktion des DOC der unter anaeroben Bedingungen abgebaut werden kann
- MCF Faktor zur Berücksichtigung unterschiedlicher Deponieeigenschaften

Um nun den Abbau bzw. die Umsetzung des eingelagerten gasbildenden Kohlenstoffmasseanteils zu berechnen, gilt folgende grundlegende Gleichung des FOD-Modells:

$$DDOCm = DDOCm(0) * e^{-kt}$$

hierin bedeuten:

- $DDOCm$ Gesamtmasse des gasbildenden Kohlenstoffmasseanteils [Gg]
- $DDOCm(0)$ gasbildender Kohlenstoffmasseanteil zu Beginn der Reaktion ($t = 0$) [Gg]
- k Reaktionskonstante [$1/a$]
- t Reaktionszeitraum [a]

Demnach berechnet sich der Anteil des gasbildenden Kohlenstoffmasseanteils, der nach einem Jahr noch nicht abgebaut worden ist, mit:

$$DDOCm(1) = DDOCm(0) * e^{-k}$$

und der Anteil, der in Deponiegas umgewandelt worden ist, mit:

$$DDOCm_{decomp}(1) = DDOCm(0) * (1 - e^{-k})$$

Um berücksichtigen zu können, dass die Gasproduktion nicht unmittelbar nach der Einlagerung beginnt, werden jene Anteile, welche im Jahr der Ablagerung gasbildend wirksam waren, bzw. die verbleibenden gasbildenden Kohlenstoffmasseanteile wie folgt berechnet:

$$DDOCm_{rem}(T) = DDOCm(T) * e^{-k * (((13 - (M + 7)) / 12))}$$

Für den bereits im Jahr der Ablagerung abgebauten Anteil gilt:

$$DDOCm_{dec}(T) = DDOCm(T) * (1 - e^{-k * (((13 - (M + 7)) / 12))})$$

hierin bedeutet:

- M Anzahl der Monate, nachdem die Gasproduktion durchschnittlich einsetzt (3 Monate)

Vom IPCC wird für den durchschnittlichen Beginn der Gasproduktion ein Wert von 6 Monaten nach Einbaubeginn (Lag-Phase) vorgeschlagen. Allerdings sind für die Verzögerung der Methanproduktion nationale Werte vorhanden. Nach Diskussionen mit nationalen Abfallexperten und Erfahrungen mit gemessener Methanentstehung wird der Wert M nach BUTZ (2019) auf 3 Monate festgesetzt, so dass die Methanbildung i.d.R. bereits im Jahr der Ablagerung beginnt.

In einem weiteren Schritt wird nun der Anteil des gasbildenden Kohlenstoffmasseanteils berechnet, welcher am Ende eines Jahres in der Deponie verblieben ist ($DDOCma(T)$) und jener Anteil, der in dem betreffenden Jahr umgesetzt worden ist ($DDOCm_{decomp}(T)$).

$$\begin{aligned} DDOCma(T) &= DDOCm_{rem}(T) + (DDOCma(T-1) * e^{-k}) \\ DDOCm_{decomp}(T) &= DDOCm_{dec}(T) + (DDOCma(T-1) * (1 - e^{-k})) \end{aligned}$$

Um die Masse an jährlich generiertem Methan zu berechnen, wird nun das Produkt aus dem umgesetzten Kohlenstoffmasseanteil und einem angenommenen Methangehalt sowie dem Masseverhältnis von Methan zu Kohlenstoff von 16/12 gebildet:

$$CH_4 \text{ generated}(T) = DDOCm_{decomp}(T) * F * \frac{16}{12}$$

hierin bedeuten:

- F Anteil an CH₄ im gebildeten Deponiegas
- 16/12 Verhältnis des Molekulargewichts von Methan zu Kohlenstoff

Für eine Potenzialstudie wird ein originäres Deponiegas, bestehend aus zwei Gaskomponenten Methan und Kohlenstoffdioxid, angesetzt. Um die Masse an jährlich generiertem Kohlenstoffdioxid zu ermitteln, wird der umgesetzte Kohlenstoffmasseanteil mit der Differenz von eins minus dem gewähltem Methangehalt und dem Masseverhältnis von Kohlenstoffdioxid zu Kohlenstoff (44/12) gebildet:

$$CO_2 \text{ generated } (T) = DDOCmdecomp(T) * (1 - F) * \frac{44}{12}$$

Zur Berechnung emittierender Methanmengen wird nun das gebildete Methan um die über eine Gasfassung erfassten sowie die an der Oberfläche oxidierten Methanmengen reduziert.

$$CH_4 \text{ emitted in year } T = \left(\sum_x CH_4 \text{ generated } (T) - R(T) \right) * (1 - OX(T))$$

hierin bedeuten:

- x Abfallfraktion
- R(T) in einem Jahr über eine Gasfassung erfasste Methanmengen
- OX(T) Faktor für die Methanoxidation (z.B. in oberflächennahen Ablagerungsbereichen)

Der beschriebene Ablauf wird dann für jede Abfallfraktion mit ihren spezifischen Ablagerungsmengen, DOC-Anteilen, anaerob umsetzbaren Anteilen DOC_f und Reaktionskonstanten k durchgeführt und aufsummiert. Man erhält so die nach Ablagerungsbeginn jährlich potenziell emittierenden Methanmengen.

7.2.2 Anwendung und tatsächliche Verhältnisse an der Deponie Lohmühle

Um die in Kapitel 7.2.1 dokumentierten Berechnungen sinnvoll durchführen zu können, bedarf es einer soliden Kenntnis des Deponieinhaltes und dessen Ablagerungsgeschichte. Dafür wird normalerweise das Deponietagebuch herangezogen, das die angenommenen Abfälle und deren Ablagerungsort dokumentiert.

Die Deponie wurde bereits 1963 geschlossen. Damals gab es noch kein Abfallrecht und solche Dokumentationen waren nicht üblich und liegen hier auch nicht vor. Somit müssten die Berechnungen ohne fachliche Grundlage auf rein spekulativer Basis durchgeführt werden.

Die Kommunalrichtlinie sieht für solche Fälle Ausnahmen vor:

Die im Deponiekörper gebildete Methanmenge muss nach der First Order Decay-Methode der IPCC-Guidelines ermittelt und nachgewiesen werden. Wenn keine abgesicherten, standortspezifischen Berechnungsfaktoren vorliegen, können die entsprechenden Default-Werte der IPCC-Guidelines verwendet werden. <https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/kommunalrichtlinie/ma%C3%9Fnahmen-zur-foerderung-klimafreundlicher-abfallwirtschaft/aerobe-situ-stabilisierung-von-siedlungsabfalldeponien>

Im vorliegenden Projekt sollte die Erkenntnislücke durch die Feststoffanalysen geschlossen werden. Auf der Grundlage der wenigen vorhandenen Daten und des sehr langen Zeitraumes seit Ablagerungsende ist eine herkömmliche Deponiegasprognose mit einem First Order Decay – Model (FOD-Model) nicht mehr sinnvoll durchzuführen. Eine andere Möglichkeit der Abschätzung der aktuellen Deponiegasemissionen wäre die Ableitung aus Erfahrungswerten vergleichbarer

Ablagerungen. In Kapitel 7.2.4 wurde ein angepasster Ansatz gewählt, um der Situation gerecht zu werden.

7.2.3 Auswahl abzusaugender Gasbrunnen und Erweiterung des Gasbrunnennetzes

Von den bestehenden, im April 2023 angelegten Gasbrunnen wäre der Brunnen G3 von einer künftigen Absaugung und Aerobisierung auszuschließen, da dort kein Methan angetroffen wurde. Am Gasbrunnen G7 waren die Methanmengen gering, aber dieser könnte trotzdem mit geringem Volumenstrom abgesaugt werden. Prinzipiell ließe sich das Gasbrunnennetz auf dem untersuchten Standort noch verdichten. Als weitere Standorte kämen die in Abbildung 16 eingezeichneten Positionen G8 und G9 in Frage. G8 wurde so gelegt, dass er gerade nicht mehr in der Kampfmittelverdachtsfläche liegt. G9 ergibt sich als geometrische Möglichkeit, da aber dort als Rückschluss aus G7 und G6 praktisch nicht mit Methan zu rechnen ist, wäre nur die Realisierung von G8 zu empfehlen.

Den Gasbrunnen wurde ein Einzugsbereich mit einem Durchmesser von ca. 50 m zugeordnet, der bei der Deponieentgasung weit verbreitete Praxis ist. Eine präzisere Vorgehensweise wäre nur auf Basis von umfangreichsten Messungen möglich, dass einen weit über die ausgeschriebenen Arbeiten hinausgehenden Aufwand an Gaspegeln und Messungen erfordert hätte und angesichts von sich in Deponiekörpern herausbildender Preferential Flows nur kurzfristig zutreffend gewesen, also letztendlich nur auf dem Papier aussagefähig gewesen wäre.

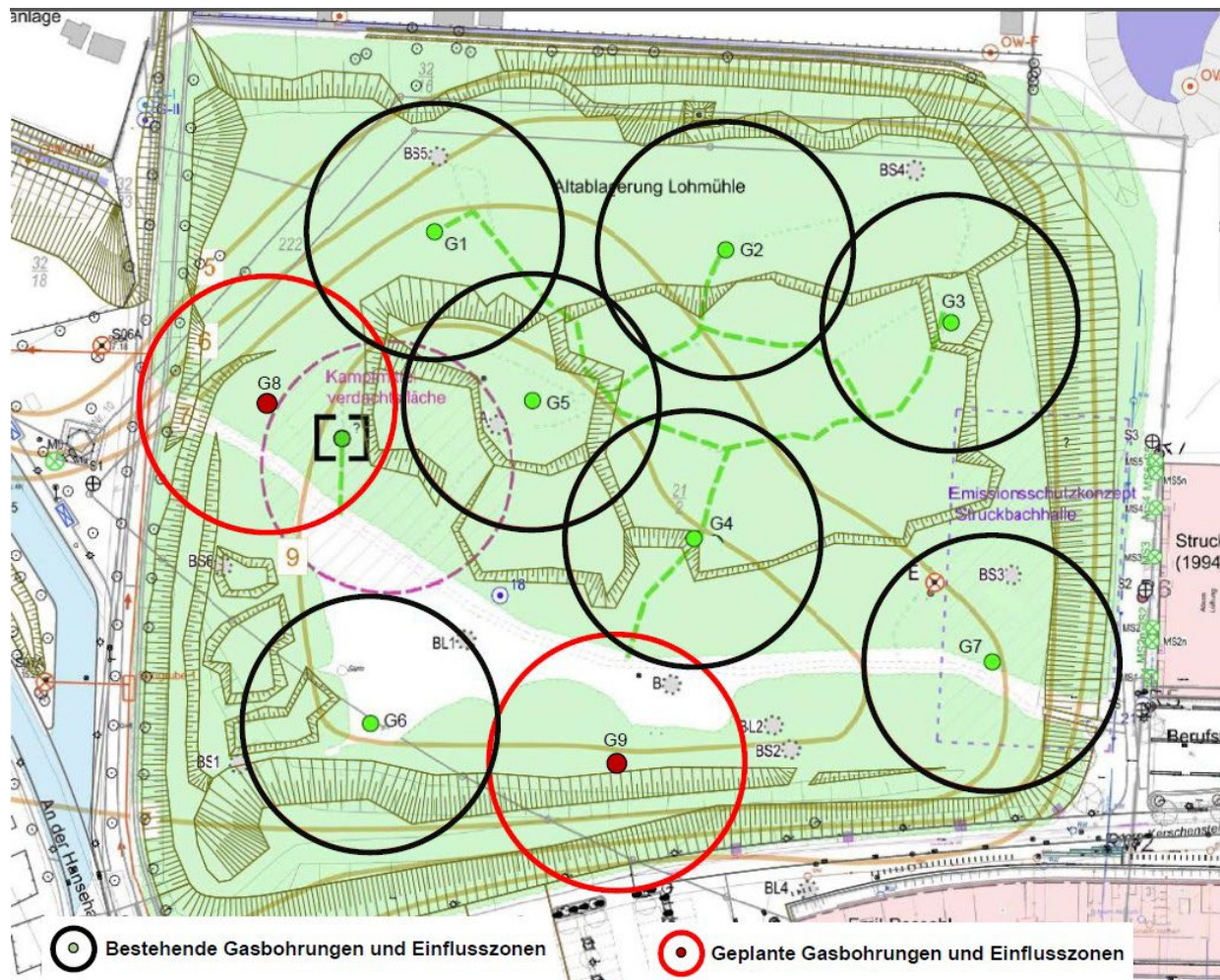


Abbildung 16 Bestehendes Gasbrunnennetz und potenzielle Erweiterungsmöglichkeiten (Erweiterung G8 und G9 als geplant benannt)

In die Aerobisierung werden nur die methanführenden Gasbrunnen einbezogen. Zusätzlich wird noch ein weiterer Gasbrunnen G8 errichtet. Dieser liegt so, dass er außerhalb der Kampfmittelverdachtsfläche gebohrt wird. Am Punkt G9 ist auf Basis der bisherigen Erkenntnisse nicht mit Methan in relevanter Menge zu rechnen.



Abbildung 17 Abzusaugender Bereich; bei technischer Realisierung noch zu errichtender GB in Rot

Insgesamt wird somit ein Bereich von (nur noch) ca. 1,5 ha bei der Aerobisierung erfasst. Das entsprechende Abfallvolumen wird im Folgekapitel zugeordnet.

7.2.4 Prognose des Emissionspotenzials

Die Abfallablagerung in der Altablagerung Lohmühle erfolgte in den Jahren 1915 - 1963. Es sind also seit Ablagerungsende mehr als 60 Jahre vergangen. Die meisten abgelagerten Abfälle sind noch viel älter.

Die abgelagerte Menge auf dem hier betrachteten Teil der Ausdehnung von 1,47ha ist nicht genau bekannt. Bei einer hier im zentralen / mächtigsten Teil der Ablagerung großzügig angenommenen Höhe der Verfüllung von 10m ergibt sich ein Gesamtvolumen von gerundet 150.000m³. Ein Teil dieser Ablagerungen liegt unterhalb des Grundwasserspiegels.

Ausgehend vom geschätzten Gesamtvolumen wird eine Gesamtmenge von rund 225.000Mg abgelagerter Menge geschätzt. Das würde einer Ablagerungsdichte von etwa 1,5Mg/m³ entsprechen, die aufgrund der langen Lagerungszeit und eines erheblichen Bauschuttanteils so hoch geschätzt wird.

Die Zusammensetzung der abgelagerten Abfälle ist nicht bekannt. Aus Erfahrungswerten ist aber als sicher anzunehmen, dass damals große Anteile an Boden und Bauschutt abgelagert wurden. Der Anteil an Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen war in der Regel relativ gering und wird mit 20Gew.-% abgeschätzt.

Aus den chemischen Analysendaten von 14 Abfallproben sind folgende Ergebnisse zu entnehmen:

Tabelle 6 Zusammenfassung Eingangswerte für Emissionsprognose

Parameter	Wertebereich	Mittelwert
Trockenmasse [Masse-%]	73,8 – 88,3	79,2
Wassergehalt [Masse-%]	13,3 - 35,6	20,8
AT ₄ [mg O ₂ /g TM]	< 1,0 - <1,0	< 1,0
GV [Masse-% TM]	2,8 – 10,8	6,5
TOC [Masse-% TM]	1,0 – 9,3	4,3

Der Anteil an organischem Kohlenstoff beträgt im Mittel 4,3 Masse-% der TM. Die Atmungsaktivität AT₄ lag bei allen 14 Proben bei < 1,0 mg O₂/g TM. Der organische Kohlenstoff ist also kaum noch biologisch abbaubar und wird weitgehend aus Holz bzw. Ligninanteilen bestehen. In der Ablagerungsphase bis 1915 - 1963 waren Kunststoffe noch nicht weit verbreitet und werden nur einen sehr geringen Anteil der Abfallablagerungen ausgemacht haben.

Auf der Grundlage der wenigen vorhandenen Daten und des sehr langen Zeitraumes seit Ablagerungsende ist eine herkömmliche Deponiegasprognose mit einem First Order Decay – Model (FOD-Model) nicht mehr sinnvoll durchzuführen. Eine andere Möglichkeit der Abschätzung der aktuellen Deponiegasemissionen wäre die Ableitung aus Erfahrungswerten vergleichbarer Ablagerungen. Allerdings ist auch hier die Datenlage für 60 Jahre alte Ablagerungen unzureichend.

Lange Messreihen von Krümpelbeck (2000) deuten darauf hin, dass die Deponiegasproduktion nach 25 Jahren im Bereich von 1m³/Mg TM*a liegt.

Nach 60 Jahren kann ganz grob etwa die Hälfte abgeschätzt werden, maximal also 0,5m³/Mg TM*a.

Auf der potenziell zu aerobisierenden Fläche von 1,47 ha lagern ca. 140.000 Mg TM Abfall. Hierbei ist berücksichtigt, dass holzhaltige Abfälle im Grundwasserbereich nicht nennenswert zur Gasbildung beitragen und daher nicht die zuvor abgeschätzte Gesamtabfallmasse von 225.000 Mg in Ansatz gebracht werden kann.

Bei der o.g. Gasproduktionsrate ergäbe sich ein Gasvolumen von 70.000 m³ Deponiegas pro Jahr (CH₄ + CO₂). Wenn das Gas zu 30% aus Methan besteht, resultieren daraus 21.000 m³ CH₄ pro Jahr.

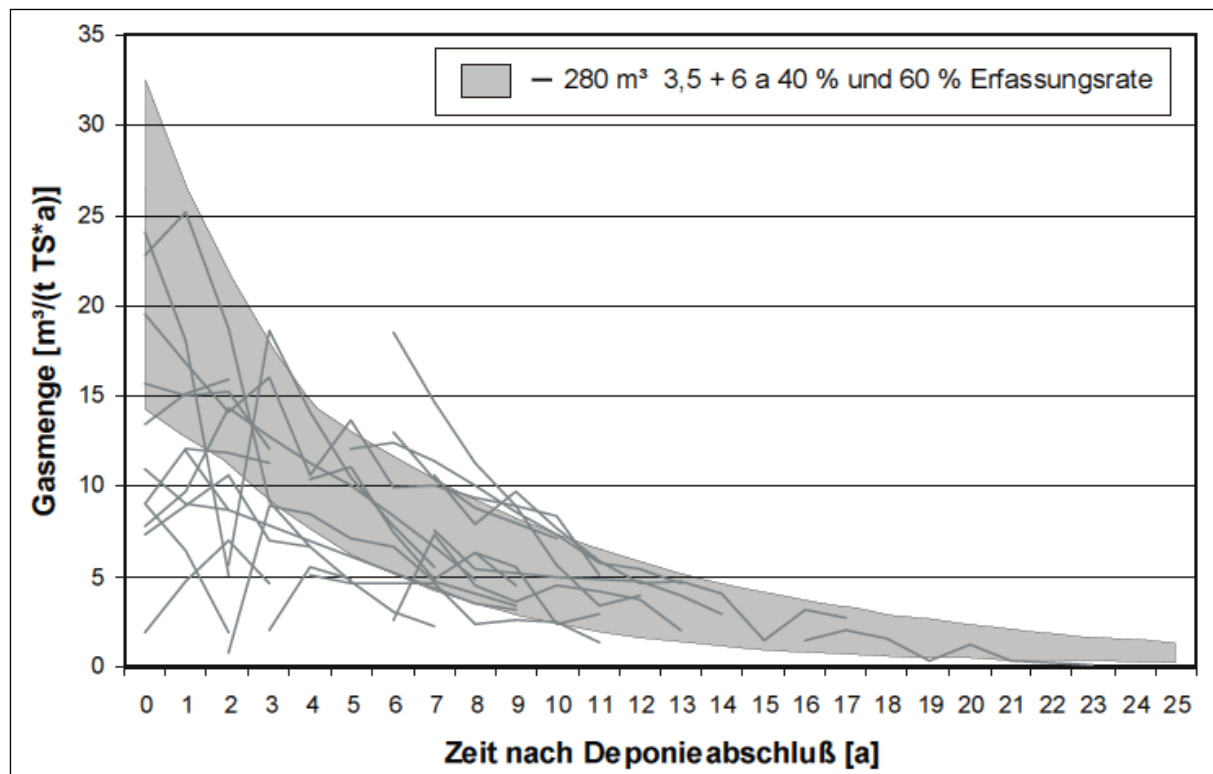


Abbildung 18 Ganglinien der Gasproduktion und grau unterlegt der gerechnete Gasproduktionsbereich mit den angegebenen Parametern (Krümpelbeck, 2000)

Bei der messtechnischen Begehung der Deponie am 22. April 2023 konnten trotz ganzflächiger (lückenloser) Messung über ein Lasersystem (Reichweite ca. 30m um die Laufspur) keine oberflächlichen Deponiegasaustritte festgestellt werden (Empfindlichkeit des Messgerätes 5 – 10 ppm, je nach Reichweite)

Für Methankonzentrationen an Deponieoberflächen (gemessen in ppm) gibt es eine Beziehung zu den Methanemissionen in $\text{g/m}^2\text{h}$. Diese Beziehung wurde im Rahmen vieler Untersuchungen unter unterschiedlichen Bedingungen ermittelt und ist in Tab. 7 dargestellt. Der Methanfluss aus der Deponieoberfläche wurde hierbei durch Gasboxenmessungen ermittelt. Da die Witterungsbedingungen bei solchen Messungen immer eine Rolle spielen, ergibt sich allein daraus ein relativ großer Streubereich der Zuordnungen.

Vorliegend ist aber nur der Bereich 0-9 ppm von Relevanz. Dieser wird mit 0,036 bis 0,144 $\text{g/m}^2\text{h}$ angegeben.

Ausgehend von diesen Betrachtungen aus der Deponieforschung ist anzuzunehmen, dass die mittleren Methanemissionen der Altablagerung Lohmühle flächendeckend bei weniger als 0,072 $\text{g/m}^2\text{h}$ liegen.

Tabelle 7 Beziehung zwischen FID-Messwerten und Gasboxmesswerten (Flögl, 2002), zitiert bei Fellner et al, 2003 (MetMes-Studie)

FID-Messung [ppm]	Methanemissionen [g/(m ² h)]	Mittelwert Methanemissionen [g/(m ² h)]
1000-9999	36 - 144	72
100-999	3,6 - 14,4	7,2
10-99	0,36 - 1,44	0,72
0-9	0,036 - 0,144	0,072

Anmerkung: 1 g CH₄ entspricht ca. 1,4 NI CH₄

Bezogen auf die Fläche von 14.700 m² und ein Jahr ergeben sich gerundet 10.000 kg CH₄ pro Jahr oder 14.000 N m³ CH₄ / a.

Aus den beiden Näherungsbetrachtungen ergibt sich eine Methanbildung des einbezogenen Ablagerungsbereiches (Abbildung 17) von 1,47 ha von 21.000 N m³/a und eine Methanemission von 14.000 N m³ / a,

Es ist zu beachten, dass Methanbildung nicht gleich der Methanemission ist. Für die Methanemission müsste noch bekannt sein, wieviel Methan unter realen Wetterbedingungen im gesamten Jahresverlauf an der Oberfläche oxidiert wird. Die reale Methanemission ist also kleiner als der angegebene Wertebereich Methanbildung. Im oben angegebenen Wertebereich ist die annähernd berücksichtigt.

Die bisherigen Absaugversuche erfolgten auf der Grundlage der ausgeschriebenen und beauftragten Leistungen und haben überwiegend das Deponiegas in den Porenräumen erfasst, aber nicht die kontinuierliche Nachlieferung aus biologischen Prozessen im Deponiekörper. Eine Wiederholung von 1 oder besser 2 Gasabsaugversuchen mit deutlich längerer Dauer wäre dann zu empfehlen, falls für eine tatsächlich technische Realisierung von Emissionsminderungsmaßnahmen genauere Planungsdaten benötigt werden würden.

Bei richtiger Dimensionierung der Absauganlage und einem kontinuierlichen Betrieb der Absaugung könnte man davon ausgehen, dass die jetzt abgeschätzten Emissionen praktisch vollständig vermieden werden könnten.

7.3 Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Die Deponie Lohmühle liefert auf den ersten Blick widersprüchliche Ergebnisse. Die Feststoffanalysen lassen kaum verwertbares Gasbildungspotenzial erkennen, während der Absaugversuch Deponiegas in erheblicher Menge und auch mit hohem Methangehalt förderte.

Tabelle 8 Werte der als künftig abzusaugenden (methanführenden) Gasbrunnen (ohne den noch zu errichtenden G8)

GB	Feststoffanalytik							Gasabsaugung				
	Tiefe	TR	WG	AT ₄	GV 550°C	TOC	N ges.	Volumen	mittl. CH ₄	mittl. CO ₂	mittl. O ₂	mittl. N
	m u. GOK	Masse-%	Masse-%	mg O ₂ /g TM	Masse-% TM	Masse-% TM	mg/kg TM	m ³ /h	Vol.-%	Vol.-%	Vol.-%	Vol.-%
G1	1,0-4,5	86,5	15,6	<1,0	2,8	1,0	520	180-200	14,00%	14,10%	4,00%	67,90%
	4,5-8,0	73,8	35,6	<1,0	8,2	3,9	1.900					
G2	1,0-4,5	85,5	16,9	<1,0	4,5	4,0	700	180	27,20%	14,60%	0,00%	58,20%
	4,5-8,0	78,2	27,9	<1,0	4,7	1,8	1.500					
G4	1,1-4,5	88,3	13,3	<1,0	3,9	3,0	430	150-180	42,40%	21,20%	1,30%	35,10%
	4,5-8,0	83,1	20,4	<1,0	7,4	5,4	910					
G5	1,0-4,5	85,7	16,7	<1,0	5,1	3,6	790	150-190	49,50%	10,10%	1,40%	39,00%
	4,5-8,0	85,7	16,7	<1,0	7,4	4,7	1.000					
G6	1,0-4,5	84,3	18,7	<1,0	4,7	2,8	630	30	2,00%	1,00%	19,60%	77,40%
	4,5-8,0	78,4	27,5	<1,0	10,7	9,3	1.100					

Das deutet darauf hin, dass die Absaugversuche Staugas aus dem Porenvolumen und den Hohlräumen des Untergrundes / Deponiekörpers gefördert haben, das sich dort über lange Zeit angesammelt hat. Es ist anzunehmen, dass dieses Staugas in überschaubarer Zeit erschöpft sein wird und danach auf Grund der geringen Deponiegasneubildung nur noch Schwachgas auftreten wird.

Die Absaugversuche waren mit den beauftragten 10 Arbeitstagen sehr kurz ausgelegt, die in diesem Zeitraum abgesaugten Deponiegas- bzw. Methanmengen werden voraussichtlich nur vorübergehend anzutreffen sein. Erfahrungen haben gezeigt, dass insbesondere thermische Behandlungsanlagen bei Aerobisierungsmaßnahmen häufig zu groß ausgelegt werden und nach wenigen Monaten überdimensioniert sind.

Wir gehen davon aus, dass die im Absaugversuch angetroffenen Methanmengen- und Konzentrationen nur kurzzeitig auftreten und eine energetische Nutzung über einen längeren, sinnvollen Zeitraum nicht möglich ist. Die Anforderung im ersten Absatz von 4.2.6 d der KRL wäre somit erfüllt (...deren Methanbildung soweit abgeklungen ist, dass eine energetische Nutzung des Deponiegases nicht mehr möglich ist).

Eine Aerobisierung sollte im Falle einer Realisierung auf ein wesentlich geringeres Methanvolumen als im Absaugversuch ausgelegt werden. Es ist zu erwarten, dass bei kontinuierlicher Absaugung bzw. Übersaugung die Restmethangehalte im abgesaugten Gas sehr gering sein werden. In diesem Zustand wird zunehmend Luftsauerstoff in die Ablagerung eintreten und die so wieso schon geringe Restmethanbildung weiter verringern.

Im Rahmen der ausgeschriebenen und beauftragten Leistungen konnten nur kurze Absaugversuche durchgeführt werden. Vor der ggf. endgültigen Dimensionierung der Aerobisierung sollte mindestens an 1-2 der Gasbrunnen nochmal ein längerer Absaugversuch durchgeführt werden (permanenter Betrieb jedes einbezogenen Brunnens über mindestens 3-4 Kalenderwochen und Bewertung vor Ende des Absaugversuchs), um Klarheit über die mittelfristig anzutreffenden Gasmengen zu erlangen. Auf Basis der Ergebnisse des längeren Absaugversuchs könnte entschieden werden, ob das Restmethan z.B. auch ohne thermische Behandlung über einen Biofilter geleitet werden kann.

Ist die Forderung der NKL bzw. KRL 4.2.6. d erfüllt, dass zu Beginn des Übersaugungsbetriebs nur noch max. 12kg C_{org}/Mg Abfall vorhanden sind?

Die Methanbildung des Deponiekörpers muss soweit abgeklungen sein, dass eine energetische Nutzung des Deponiegases nicht mehr möglich ist. Zudem darf der Anteil an biologisch abbaubarer organischer Substanz (oTS) im Deponiekörper von maximal 12 Kilogramm pro Tonne nicht überschritten werden.

Der ermittelte Anteil an organischem Kohlenstoff beträgt im Mittel 4,3 Masse-% der TM (siehe Kapitel 7.2.4). Die Atmungsaktivität AT_4 lag bei allen 14 Proben bei $< 1,0 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$. Der organische Kohlenstoff ist also kaum noch biologisch abbaubar und wird weitgehend aus Holz bzw. Ligninanteilen bestehen. Trotz des weit zurückliegenden Ablagerungsendes und des auf Basis des AT_4 offenkundig hohen biologischen Stabilisierungsgrades des Abfalls wäre auf den ersten Blick auf Basis des TOC die Situation hinsichtlich der 12 kg/t oTS hier kritisch. Es ist daher zu klären, ob der festgestellte TOC überhaupt im Sinne der NKL als biologisch abbaubar einzustufen ist. Das sollte mit dem Fördergeber besprochen werden. Die Begrenzung der oTS wurde vorgenommen, um ein zu frühes Ende der Gasnutzung und Brände zu vermeiden. Das trifft auf eine bereits 1963 stillgelegte Deponie sicher nicht zu, deren Organik höchstwahrscheinlich weitgehend aus schwer abbaubarem Holz / Lignin besteht. Daher wird in den nachfolgenden Kapiteln ein technisches Konzept für die Aerobisierung und Abgasbehandlung vorgeschlagen.

Hinsichtlich der Wirksamkeit der Maßnahme sind folgende Schlussfolgerungen zu ziehen:

Bei richtiger Dimensionierung der Absauganlage und einem kontinuierlichen Betrieb der Absaugung kann man davon ausgehen, dass die jetzt angenommenen Emissionen praktisch vollständig vermieden werden könnten. Diese Bedingung würde also erfüllt. Gegenüber dem derzeitigen Zustand besteht also ein Einsparungspotenzial klimawirksamer Emissionen von $>90\%$ (siehe auch Kapitel 8.3).

Die vermiedene Menge der treibhausrelevanten Emissionen wird folgendermaßen berechnet:

Bezogen auf die abzusaugende Fläche von 14.700 m^2 ergibt sich eine Methanemission von rund 10.000 kg CH_4 pro Jahr. Bei einem Faktor von 28 entspricht dies 280 Mg CO_2 -Äquivalenten pro Jahr.

Die Emissionsreduktion erfolgt durch zwei Faktoren: Die Aerobisierung verringert oder verhindert (je nach Wirksamkeit) die Entstehung von Methan und restliches Methan wird gefasst und im gefassten Umfang der Oxidation zugeführt.

Die reale Methanemission ist kleiner als der angegebene Wertebereich für die Methanbildung. Insofern wird für das Übersaugungsszenario ein Reduktionsgrad für das erfassbare Gaspotenzial von 75% angesetzt. Nach Hupe et al. (2014) kann der Gaserfassungsgrad durch intensive Gasabsaugung nahezu 100% betragen. Die gewählten 75% sind also ein konservativer Ansatz.

Aufgrund des weit fortgeschrittenen Abbauzustands verläuft eine FOD-Abbaukurve sehr flach und die Berechnung der Kosten pro eingespartem CO_2 -Äquivalent erfolgt vereinfachend mit einer gleichbleibenden Reduktion. Bei einer Betriebsdauer von 5 Jahren ergäbe sich dann

$$5 \times 280 \text{ Mg} \times 0,75 = \mathbf{1.050 \text{ Mg CO}_2\text{-Eq.}}$$

Auch der aerobe Abbau folgt einer Kinetik erster Ordnung. Anfangs ist also durch die Aerobisierung eine deutliche Spitze im Abbauverlauf zu erwarten, die dann zügig abklingt. Eine Betriebsdauer von mehr als 5 Jahren erscheint daher insbesondere angesichts des Alters der Ablagerung nicht sinnvoll.

Die Kommunalrichtlinie begrenzt den Fördermitteleinsatz pro vermiedenem Mg CO₂-Äquivalenten auf 50 € brutto.

Um die Investitionskosten für die Aerobisierung zu überschlagen, wurde in Kapitel 8 ein technisches Konzept aufgestellt. Bei angesetzten Investitionskosten von rund 600.000 € brutto zzgl. weiterer Kosten von 270.000 € brutto gemäß nachfolgender Kostenpositionen entstünden also pro Mg CO₂-Eq. Kosten in Höhe von 830 €. Aufwand und Ergebnis stünden also in keinem günstigen bzw. vertretbarem Verhältnis.

Es könnte als Alternative geprüft werden, inwieweit eine vorübergehende Absaugung mit Fackel und anschließende Übersaugung mit nachgeschaltetem Biofilter als wirtschaftlich günstigere Maßnahme behördlicherseits genehmigt würden. Dadurch würde die teure RTO eingespart. Uns ist ein Fall bekannt, in dem so vorgegangen wurde. Auch wenn dann ggf. keine Förderfähigkeit vorläge, wäre diese Vorgehensweise kostengünstiger. Die Kosten für diese Vorgehensweise müssten aber noch berechnet werden. Näherungsweise werden hier 200.000 € aus der o.g. Summe abgezogen, so dass sich dann bei Gesamtkosten brutto von 670.000 € pro Mg CO₂-Eq. Kosten in Höhe von rund 640 € ergeben würden.

8 TECHNISCHES KONZEPT FÜR DIE ENTGASUNG UND BELÜFTUNG (MASSNAHMEN-KATALOG)

8.1 Ausgangssituation und mögliche Vorgehensweise

Die Ergebnisse des Absaugversuchs und die Feststoffanalysen deuten darauf hin, dass die Absaugversuche Staugas aus dem Porenvolumen und den Hohlräumen des Untergrundes / Deponeiekörpers gefördert haben, das sich dort über lange Zeit angesammelt hat. Es ist anzunehmen, dass dieses Staugas in überschaubarer Zeit erschöpft sein wird und danach nur noch Schwachgas auftreten wird. Erfahrungen diverser Aerobisierungsmaßnahmen zeigen, dass insbesondere die thermischen Behandlungsanlagen die Anlagen für die ersten 1-3 Monate passend ausgelegt werden und danach zu groß sind.

Die Klima- und Immisionsschutzmaßnahme wird sich also einem sich massiv verändernden Szenario stellen müssen. Bestand wird die Situation haben, die nach Abzug des Staugases eintreten wird, also die Behandlung von Schwachgas und Oxidierung der Restorganik in der Altdeponie. Darauf ist das Konzept ausgelegt. Es sieht folgende Schritte vor:

1. Bauphase, in der die Anlage zur Schwachgasbehandlung und Aerobisierung der Deponie errichtet wird. Die genaue Auslegung sollte auf Basis eines verlängerten Absaugversuchs erfolgen. Als Arbeitsschutz- und Gefahrenabwehrmaßnahme wird parallel zu den Bauarbeiten das Staugas mit dem hohen Methangehalt abgesaugt und in einer Mietfackel verbrannt.
2. Inbetriebnahme sowie Einregel- und Optimierungsphase, in der noch Anpassungen an die sich nach Abzug des Staugases tatsächlich einstellenden Gegebenheiten vorgenommen werden können.
3. Regelbetrieb, in dem der Restmethangehalt des abgezogenen Schwachgases oxidiert wird und zur Aerobisierung des alten Deponeiekörpers übergegangen wird.

Eine gezielte Infiltration von Wasser in den Deponiekörper zur Förderung der Abbauvorgänge kommt bei der Deponie bzw. Altablagerung Lübeck Lohmühle nicht in Frage, da dafür die Voraussetzungen gem. DepV §25 Abs. 4 nicht gegeben sind, weil eine Sickerwasserfassung nicht vorhanden und mangels Basisabdichtung nicht möglich ist.

8.2 Verfahren zur Aerobisierung

Um auch die Restorganik weitgehend ohne Emission von Methan abbauen zu können, ist ein Wechsel des Abbauregimes im Deponiekörper von anaerob auf aerob notwendig. Beim aeroben Abbau entsteht kein Methan und es können auch schwerer abbaubare Stoffe aufgeschlossen werden. Im Deponiekörper ist kein freier Sauerstoff vorhanden, daher muss dieser zugeführt werden. Dabei dominieren zwei Verfahren:

- Druckbelüftung
- Saugbelüftung / Übersaugung

Bei der Druckbelüftung wird Luft in die Gasbrunnen gedrückt. Um diese herum bildet sich ein Umfeld mit relativ hohem Sauerstoffgehalt aus und die dadurch beginnenden, aeroben Abbauprozesse erzeugen erhebliche Wärme, die auch zu Bränden im Deponiekörper führen kann, was bei der Deponie Lohmühle aufgrund des sehr weitgehenden Abbaus nicht zu erwarten ist. Der präzisen messtechnischen Überwachung und Steuerung kommt hier eine besonders große Bedeutung zu. Den Druckbrunnen liegt meist ein Saugbrunnen gegenüber, um belastete Luft aus der Aerobisierung zu fassen.

Die Saugbelüftung verfolgt einen anderen Ansatz. An den Gasbrunnen, die hierfür nur im unteren Bereich verfiltert sind, wird ein Unterdruck angelegt, der höher ist, als es nur für die Absaugung des entstehenden Gases notwendig wäre, so dass eine Übersaugung entsteht. Die Luft wird also mittels in den Deponiekörper eingebrachter Gasbrunnen flächig über die Deponieoberfläche angesaugt. Der Sauerstoff dringt dabei großflächig und damit lokal in niedrigerer Menge in den Deponiekörper ein. Die aerobe Zone breitet sich langsam auf breiter Front von der Oberfläche nach unten in die Deponie aus. Die lokale Erwärmung fällt bei geeigneter Einstellung dabei wesentlich geringer aus als bei der Druckbelüftung. Das abgesaugte Gas ist gem. §25 Abs. 4 DepV zu behandeln.

8.3 Verfahren zur Methanoxidation und Abluftbehandlung

Für die sowohl in §25 Abs. 4 DepV als auch in 4.2.6 d der KRL vorgegebene, angepasste Abluft bzw. Gasbehandlung sind in Abhängigkeit vom Methangehalt unterschiedliche Verfahren zur Oxidation des Gases geeignet. Auf den früheren Deponien für unbehandelte Abfälle kommen als Standardverfahren Gasfackeln und bei langfristigem Betrieb und ausreichenden Gasmengen auch Gasmotoren zum Einsatz.

Unterhalb einer Methankonzentration von 30 Vol.-% verschlechtert sich das Startverhalten herkömmlicher Fackelanlagen erheblich; ein sicherer Start ist dann nur noch mit Stützgas möglich.

Bei Methankonzentrationen unter 25 Vol.-% können herkömmliche Hochtemperaturfackeln aufgrund des zu geringen Deponiegasbrennwertes nicht mehr unter Einhaltung der geforderten Parameter betrieben werden. In den meisten Fällen wird die geforderte Verbrennungstemperatur von > 1.000°C im zu groß dimensionierten Verbrennungsraum nicht mehr erreicht. Um die konti-

nuierliche und damit klimafreundliche und emissionsarme Entgasung bei unterschiedlichen Restgaspotenzialen der Deponie sicherzustellen, sind geeignete und an die Verhältnisse angepasste Verfahren erforderlich. (Haubrichs, Schätzel, 2013).

Für die Oxidation des Schwachgases aus Aerobisierungsmaßnahmen wird i.d.R. eine regenerativ-thermische Oxidation (RTO) eingesetzt. Auf Basis des derzeitigen Erkenntnisstandes wird diese zunächst als sichere Lösung hinsichtlich der zuverlässigen Emissionskontrolle an der Deponie Lohmühle vorgesehen. Sollte sich nach weiterer Absaugung nachweislich ein Emissionsniveau einstellen, das auch mit einem Biofilter zuverlässig beherrschbar ist, wäre dies eine wesentlich kostengünstigere Alternative.

Die RTO ist ein flammenloses Verfahren, in dem auf den Oberflächen eines porenreichen, aufgeheizten Keramikkörpers organische (Schad)stoffe zerstört werden. Sie wird für viele Zwecke eingesetzt, z.B. in der Abluftreinigung von Lackierereien, von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen und der Schwachgasbehandlung von Deponien bzw. Altablagerungen. Sie ist bei Aerobisierungsmaßnahmen von Deponien weit verbreitet.

Das Oxidationsbett befindet sich in einem isolierten Anlagencontainer und wird mit einer Betttemperatur von mindestens 850 °C betrieben. Bei der Durchströmung dieses Bettes werden die im Abluftstrom enthaltenen organischen Verbindungen thermisch zerlegt und oxidiert.

Mit Prozessbeginn wird das Oxidationsbett zunächst durch Fremdenergie aufgeheizt und dann die zu behandelnde Abluft / das Deponiegas über das Oxidationsbett geleitet. Mit zunehmender TOC-Beladung der Abluft muss weniger Stützgas extern zugegeben werden. Ab einer Beladung des Gases mit ca. 1.300ppm organischen Komponenten arbeitet die Anlage autothem, d.h. es wird keine zusätzliche Energie zur Beibehaltung der notwendigen Oxidationstemperatur mehr benötigt. Die von der Abluft / dem Deponiegas mitgeführten und extern zugeführten Kohlenwasserstoffverbindungen dienen als "Brennstoff" und somit zur Aufrechterhaltung der Betttemperatur. Die Abluft wird beim Durchströmen des als Wärmetauscher wirkenden Keramikbetts in der Eintrittshälfte erwärmt. Nach der Oxidation wird diese Wärme an die zweite Hälfte des Keramikbetts wieder abgegeben. Um zu verhindern, dass die Oxidationszone durch das Bett "wandert", wird in Intervallen die Durchströmungsrichtung umgekehrt. Dieser Ablauf bezieht sich auf Einkammeranlagen.

Durch dieses Anlagenprinzip werden thermische Wirkungsgrade zwischen 93 und 97 % erzielt. Je nach Hersteller gibt es die RTOs als Ein-, Zwei- und Dreikammeranlagen. Bei der Behandlung von Deponiegas ist dessen Organikgehalt häufig zu hoch für die RTO und würde diese durch Überhitzung zerstören. Dann wird das Deponiegas vor dem Eintritt in die RTO mit Luft verdünnt. Abbildung 19 zeigt die von der Fa. HAASE Energietechnik entwickelte Einkammer-RTO.

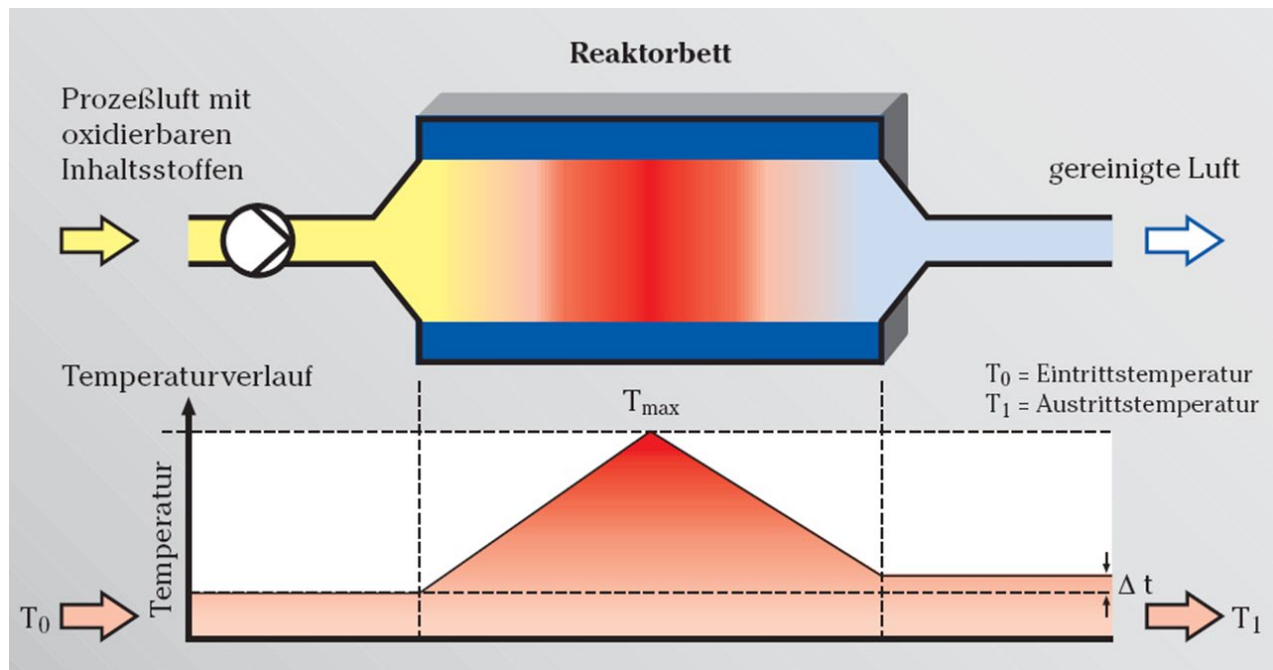


Abbildung 19 Funktion einer Einkammer-RTO (Quelle HAASE-Energietechnik)

Abbildung 20 zeigt die von der Fa. LAMBDA speziell für die Anwendung auf Deponie- und Altlastenstandorten entwickelte RTO-Anlage. Sie kann Deponiegase oder auch Bodenluft mit Methangehalten zwischen ca. 0,5 und 60 Vol.-% autotherm, das bedeutet im Regelbetrieb ohne Fremdenenergie, behandeln.

Die thermische Oxidation findet in einer Doppelkammer-RTO-Anlage statt. Das zu behandelnde Rohgas aus der Deponieabsaugung wird mittels Luftgebläse vor der RTO-Anlage in Abhängigkeit des tatsächlichen Methangehalts im Rohgas auf Werte zwischen 0,3 und 1,5 Vol.-% eingestellt. Das abgesaugte Gas wird durch die zwei geschlossenen Kammern der RTO-Anlage geleitet, in denen Schüttung aus keramischen Füllkörpern eingebaut sind. Aufgrund der großen Oberfläche und der großen Wärmespeicherkapazität der Schüttungen werden alle brennbaren Bestandteile im Gas bei Temperaturen zwischen 900 und 1.000°C restlos oxidiert. Die Oxidation im Inneren der geschlossenen Behälter findet flammen- und geräuschlos statt. Die bei der Oxidation entstehende Wärme im Abgas wird zum großen Teil in der keramischen Schüttung zurückgehalten. Das Abgas der RTO-Anlage wird mit einer Temperatur von 130-200°C über einen Kamin in die Umgebung abgegeben.

Um eine Auskühlung der Schüttungen zu vermeiden wird die Strömungsrichtung periodisch umgeschaltet und die Doppelkammer-RTO in jeweils umgekehrter Richtung durchströmt. Der sichere Anlagenbetrieb wird durch die Überwachung der Methankonzentration im Mischgasstrom zur RTO-Anlage und durch Temperaturüberwachung in den Schüttungen gewährleistet.

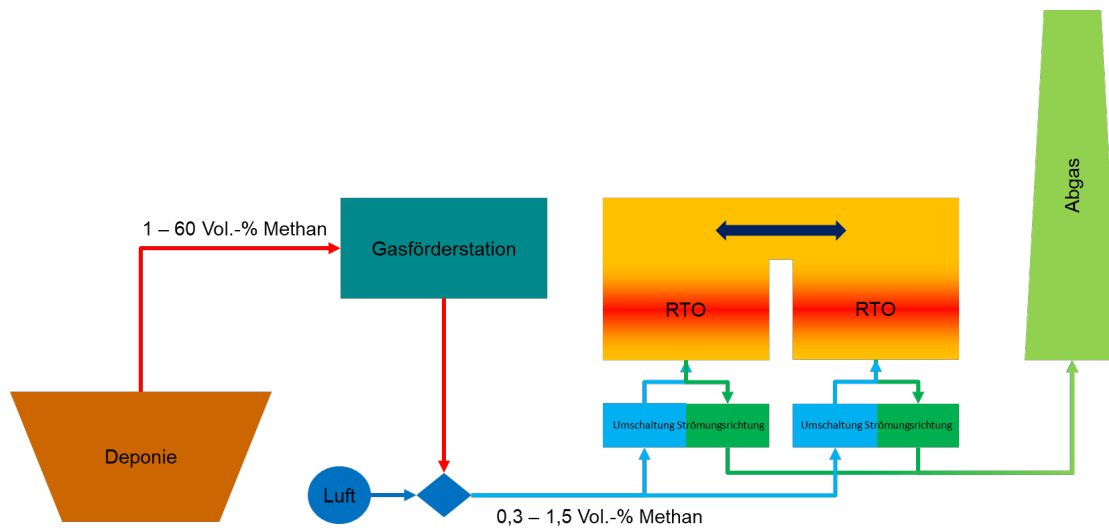


Abbildung 20 Verfahrensschema Doppelkammer-RTO der Fa. LAMBDA (Quelle: LAMBDA)



Abbildung 21 LAMBDA Doppelkammer-RTO, 100kWth, 400-2.000 m³/h

8.4 Elemente und Groblayout der Anlage

Abbildung 22 zeigt die mögliche Aufstellung und Leitungsführung der Aerobisierungsanlage. Ihre Kernelemente sind die

- Gasbrunnen
- Leitungstrassen
- Gassammelstation mit Verdichter / Absaugung, Kondensatabscheidung, sowie die Regelung der Anlage (zusammen in einem 20-Fuß Container), zu der auch die Zumischung von Luft gehört, um das gefasste Gas auf den für die RTO geeigneten Methanbeladung einzustellen.
- Kondensatsammelbehälter
- Regenerativ-thermische Oxidation (RTO) in einem weiteren 20-Fuß Container

Die Gasleitungen müssen zur Vermeidung von Kondensataufstau (und damit ihrer Blockierung) ein durchgehendes Gefälle oder zusätzlich Kondensatfallen haben. Die vorgeschlagene Leitungsführung berücksichtigt dies über die Gesamtlänge. Auf Teilstrecken ist aber bedingt durch die wechselnde Topographie die Herstellung des durchgehenden Gefälles mitunter aufwendig.

Die Anlagencontainer stehen zur Herstellung eines möglichst großen Gefälles an einem besonders tiefen Punkt und zugleich dicht an einer am Gelände vorbeiführenden Straße, so dass die für die Baumaßnahmen und Wartung gut erreichbar sind (ggf. Durchfahrtgenehmigungen erforderlich).

Die Investitionskosten für die Anlage lassen sich folgendermaßen gruppieren:

- Zusätzlicher Gasbrunnen
- Gasbrunnenkopfschächte mit Gasbrunnenköpfen mit Kugelhähnen, insgesamt 6 Stck.
- Aufstellfläche für Anlagencontainer und Kondensatsammeltank
- Zuwegung zur Aufstellfläche
- Container mit Mess- und Steuertechnik, Gebläse und Gassammelbalken
- Kondensatabscheidung und Kondensatsammeltank
- RTO mit allem Zubehör
- Mietfackel für Bauphase
- Stromanschluss
- Gasleitungen inkl. Leitungsgräben, insgesamt ca. 600m
- Gasbrunnenkopfschächte
- Baustelleneinrichtung

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wäre die Auswahl und Auslegung der Anlage mit einem erheblichen planerischen Risiko verbunden, daher sollte bei den Erschließungsarbeiten und den parallelaufenden Absaugmaßnahmen für die Mietfackel die Dimensionierung verifiziert und bei Bedarf angepasst werden.

Die Absaug- und Abgasreinigungsanlage mit RTO hat einen realistischen Regelbereich von ca. 1:5. Diese sollte aber nicht schon durch initiale Fehlinterpretationen der Anlage „verbraucht“ werden, sondern für sich im Laufe der Aerobisierung ergebende einstellende Veränderungen zur Verfügung stehen.

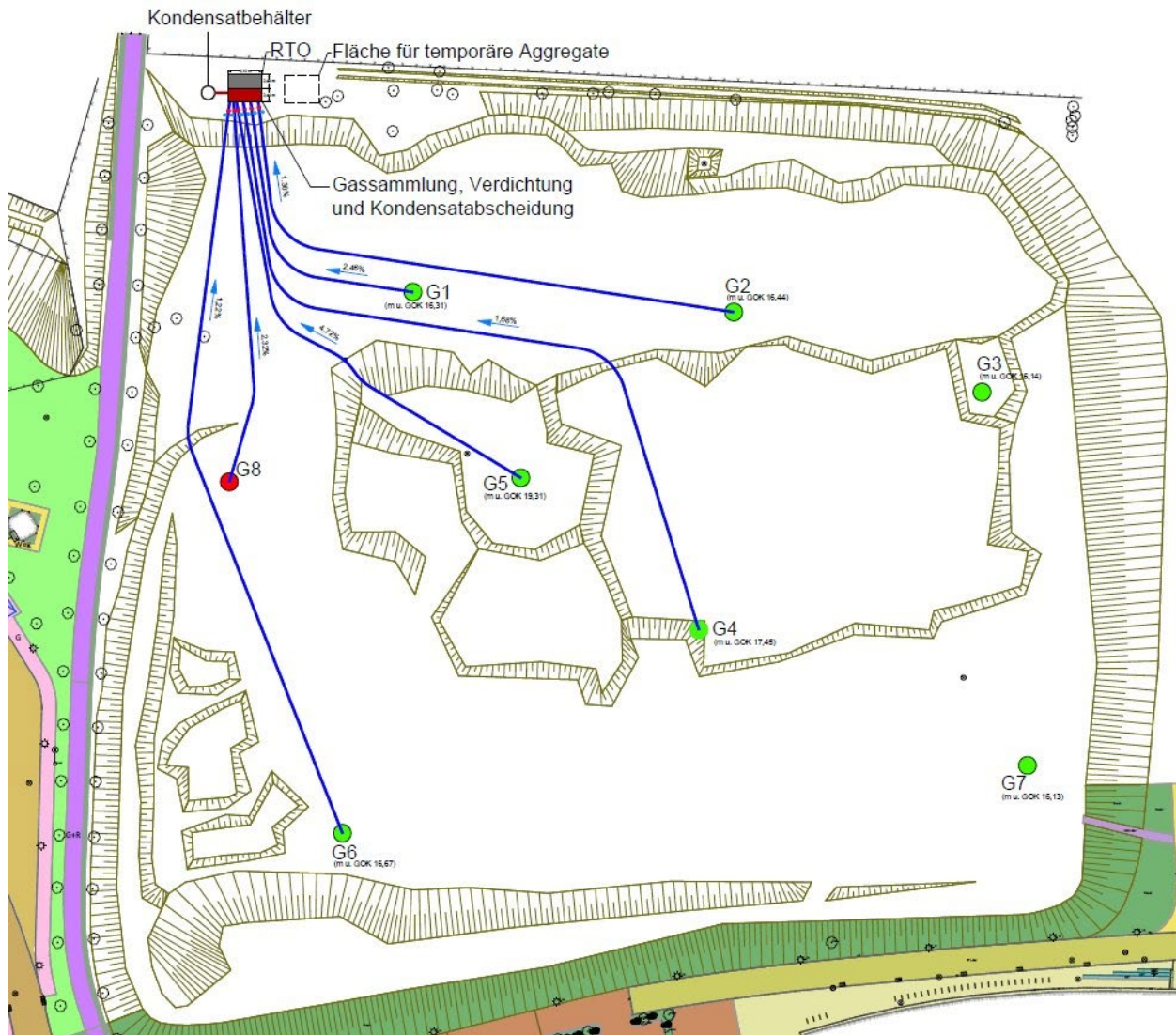


Abbildung 22 Aufstell- und Leitungsplan

Als erster Ansatzpunkt wird die Anlage zunächst als 100kW RTO für 250m³/h ausgelegt. Im Betrieb ist von einem Kondensatanfall von max. 5-10g/m³*h auszugehen, also ca. 2,5L/h. Das Kondensat wird in den Sammel-tank gepumpt und von dort mit einem Tankwagen zur sachgerechten Entsorgung abgefahren.

Als reine Investitionskosten werden ca. 500.000 € netto, also rund 600.000 € brutto angesetzt. Die Betriebskosten sind darin nicht enthalten und betragen für 5 Jahre zusätzlich nochmals 100.000 €.

Außerdem sind Rückbaukosten von rund 25.000 € zu berücksichtigen.

8.5 Monitoringkonzept und Ergänzung der Planungsgrundlagen

Anforderungen an ein Monitoring bei kontrollierter Übersaugung gem. §25 Abs. 4 Nr.3 DepV:

Bei einer Belüftung des Abfallkörpers sind der Wasserhaushalt, der Gashaushalt, die Temperaturentwicklung und die Setzungen des Deponiekörpers zu kontrollieren, um nachzuweisen, dass keine nachteiligen Auswirkungen auf den Deponiekörper und die Umwelt auftreten und ausreichend intensiviert oder beschleunigte biologische Abbauprozesse stattfinden.

Während der In-situ-Stabilisierung wird ein Monitoring mit allen verfahrensbedingt erforderlichen Parametern wie Temperatur, Kohlenmonoxidgehalt, Kohlendioxidgehalt, Methangehalt, Sauerstoffgehalt, zum Nachweis des erfolgreichen Stabilisierungsprozesses und der sicheren Betriebsführung durchgeführt. Es werden Setzungspegel für Setzungsmessungen eingerichtet.

Die Messungen für das Monitoring sollten, abgesehen von den kontinuierlich in der Gassammelstation erfassten Daten, in der aktivsten Umsetzungsphase, also am Anfang der Aerobisierung, halbjährlich erfolgen und später, z.B. ab Jahr 3, in Abhängigkeit von den Monitoringergebnissen zumindest hinsichtlich der Setzungsmessungen auf jährlich ausgedünnt werden.

Für ein solches Messprogramm sind einschließlich der Planung und Errichtung von 30 Setzungspegeln auf der aerobisierten Fläche von ca. 1,5 ha gem. Abbildung 17 über einen Zeitraum von 5 Jahren ca. 35.000 € brutto zu veranschlagen.

Für die Potenzialstudie und die Verbesserung der Planungsgrundlage durch Langzeitabsaugung werden 110.000 € angesetzt.

8.6 Abschließende Empfehlungen

Insgesamt wurde ein im Mittel eher geringes Methanbildungspotenzial festgestellt. Grundsätzlich wäre es technisch möglich, das vorhandene Methan-Depot (Staugas) zu oxidieren und die noch zu erwartenden geringen klimawirksamen Methanneubildungen zu aerobisieren.

Die Methan-Emissionen an der Deponieoberfläche liegen unterhalb der Bestimmungsgrenze der Lasermessung. Es ist davon auszugehen, dass die Vegetations- und Bodenabdeckungen als Methanoxidationsschicht wirken und das aus dem Deponiekörper freiwerdende Methan beim Übertritt in die Atmosphäre nahezu vollständig zu Kohlenstoffdioxid oxidiert wird. Somit befindet sich die Altablagerung in Bezug auf die Methan-Emissionen quasi in einem Gleichgewichtszustand. Für die Zukunft ist mit einem weiteren Rückgang der Methan-Produktion im Deponiekörper zu rechnen. Eine technisch aufwendig Aerobisierung hätte somit nur einen verhältnismäßig geringen Klimaeffekt und ist unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht realisierbar. Die dadurch gebundenen finanziellen Mittel könnten an anderer Stelle wirkungsvoller eingesetzt werden.

9 ZUSAMMENFASSUNG

Die Deponie Lübeck Lohmühle ist eine sehr alte Ablagerung, die bereits vor 60 Jahren stillgelegt wurde. Von dem in der Studie betrachteten Gebiet von ca. 3 ha ist anhand der Ergebnisse des Gasabsaugversuchs nur eine Teilfläche von ca. 1,5 ha absaugungs- oder aerobisierungswürdig. An der Oberfläche der Altablagerung wurden messtechnisch keine Methanemissionen festgestellt.

Das IPCC-FOD-Modell ist aufgrund des Alters der Ablagerung und mangelnder Informationen über den Deponieinhalt nicht sinnvoll anwendbar und wurde durch einen angepassten Ansatz ersetzt, der aufgrund der beschriebenen Situation einen auf Erfahrungen beruhend Schätzcharakter hat.

In einem fünfjährigen Betrieb einer Aerobisierung mit einer nachgeschalteten regenerativ-thermischen Abgasbehandlungsanlage könnten ca. 1.050 Mg CO₂-Äquivalente eingespart werden. Dem stünden schon Investitionskosten in Höhe von knapp 600.000 € gegenüber, also rund 570 € pro Mg CO₂-Äquivalent. Dazu kommen weitere Kosten von rund 270.000 €, so dass sich ein

Gesamtaufwand von 830 € pro Mg CO₂-Äquivalent ergibt. Aufwand und Ergebnis stünden in keinem sinnvollen Verhältnis. Die Kommunalrichtlinie begrenzt den Fördermitteleinsatz pro vermiedenen Mg CO₂-Äquivalenten auf 50 € brutto.

Es wird vorgeschlagen zu prüfen, ob eine kurzzeitige Absaugung mit Mietfackel und anschließend eine Übersaugung mit nachgeschaltetem Biofilter, die wesentlich kostengünstiger als die übliche vorgehensweise mit RTO wäre, eine behördlicherseits akzeptierte Vorgehensweise wären. Die Kosten für diese Vorgehensweise müssten noch berechnet werden.

Insgesamt wurde ein im Mittel eher geringes Methanbildungspotenzial festgestellt. Grundsätzlich wäre es technisch möglich, das vorhandene Methan-Depot (Staugas) zu oxidieren und die noch zu erwartenden geringen klimawirksamen Methanneubildungen zu aerobisieren.

Die Methan-Emissionen an der Deponieoberfläche liegen unterhalb der Bestimmungsgrenze der eingesetzten Messgeräte (Lasermessung). Es ist davon auszugehen, dass die Vegetations- und Bodenabdeckungen als Methanoxidationsschicht wirken und das aus dem Deponiekörper freiwerdende Methan beim Übertritt in die Atmosphäre nahezu vollständig zu Kohlenstoffdioxid oxidiert wird. Somit befindet sich die Altablagerung in Bezug auf die Methan-Emissionen quasi in einem Gleichgewichtszustand. Für die Zukunft ist mit einem weiteren Rückgang der Methan-Produktion im Deponiekörper zu rechnen.

Eine technisch aufwendig Aerobisierung hätte somit nur einen verhältnismäßig geringen Klimaeffekt und ist unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht realisierbar. Die dadurch gebundenen finanziellen Mittel könnten an anderer Stelle wirkungsvoller eingesetzt werden.

Karlsruhe, 30.11.2023

ICP Ingenieurgesellschaft
Prof. Czurda und Partner mbH

.....
Dipl.-Ing. G. Burkhardt

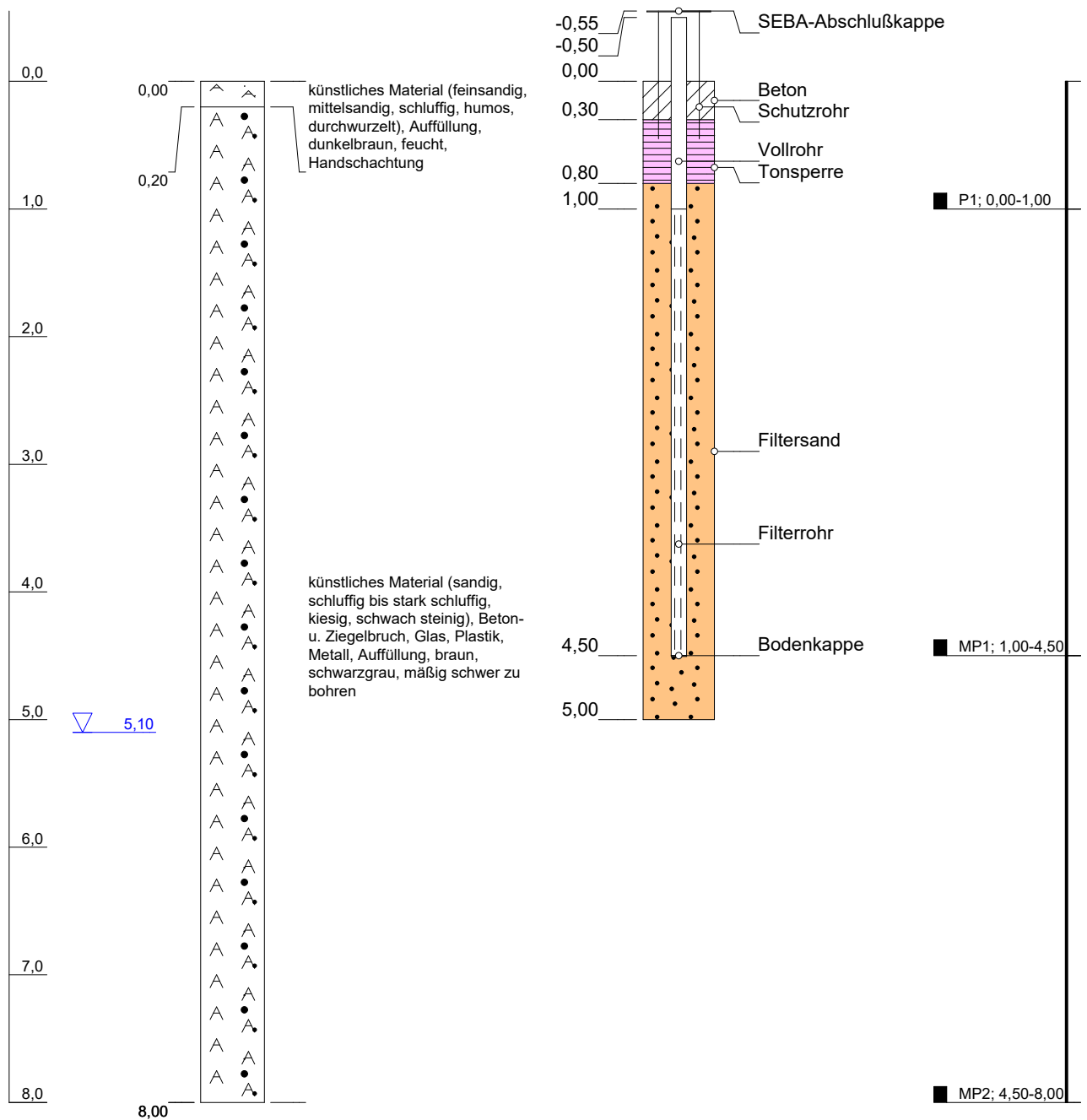
.....
Dr.-Ing. Matthias Kühle-Weidemeier

Anlage 1

Bohrprofile

m u. GOK (16,31 m NHN)

G 1/22



Projekt: Lübeck Lohmühle

Bohrung: G 1/22

Auftraggeber: M&P Ingenieurgesellschaft

Rechtswert: 609850,37

Bohrfirma: ASBT UMWELT GmbH & Co. KG

Hochwert: 5971852,51

Bearbeiter: Burghardt

Ansatzhöhe: 16,31 m NHN

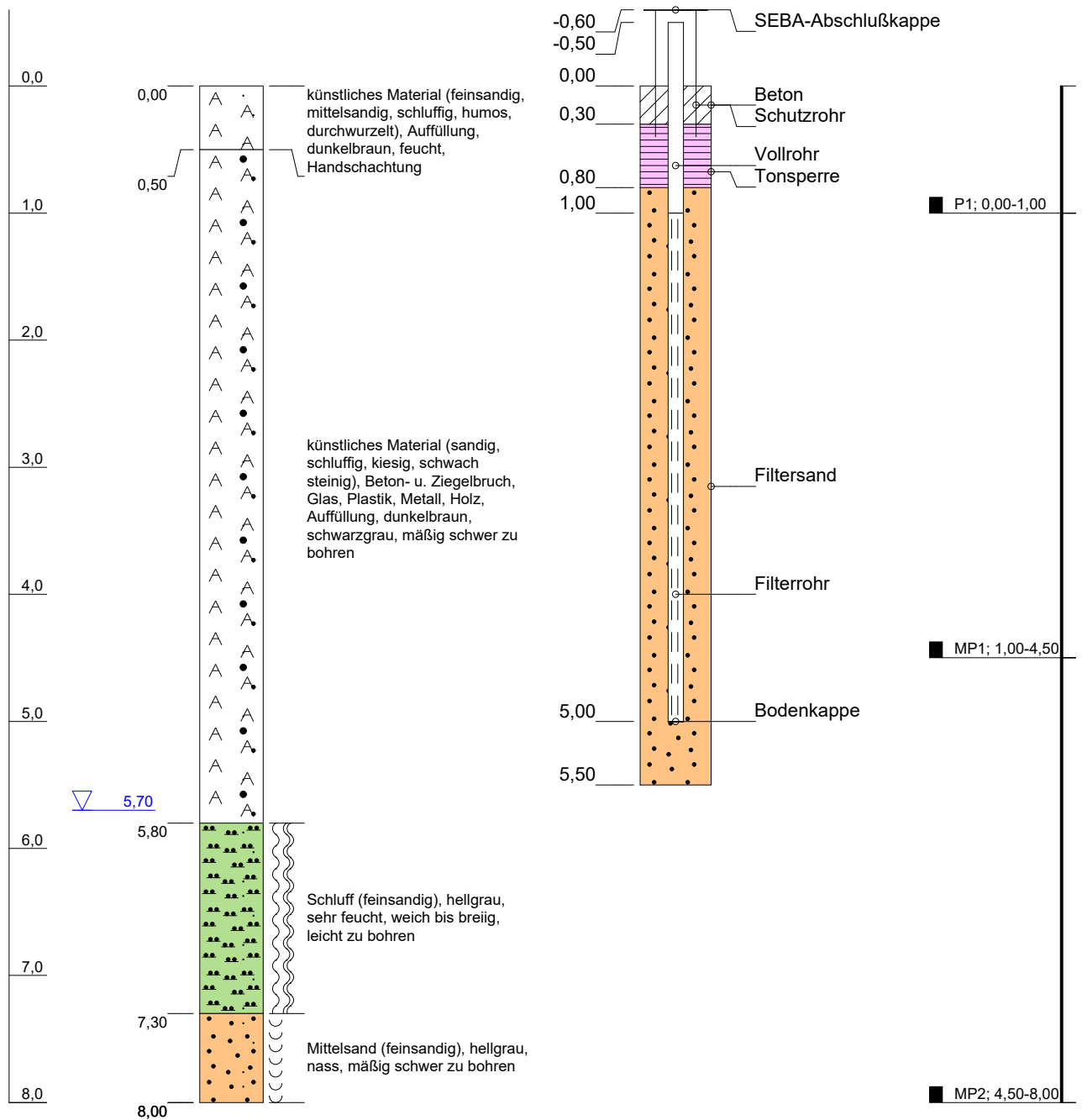
Datum: 13.04.2023

Endtiefe: 8,00 m

ASBT UMWELT
Anlagensicherheit und Bohrtechnik

m u. GOK (16,44 m NHN)

G 2/22

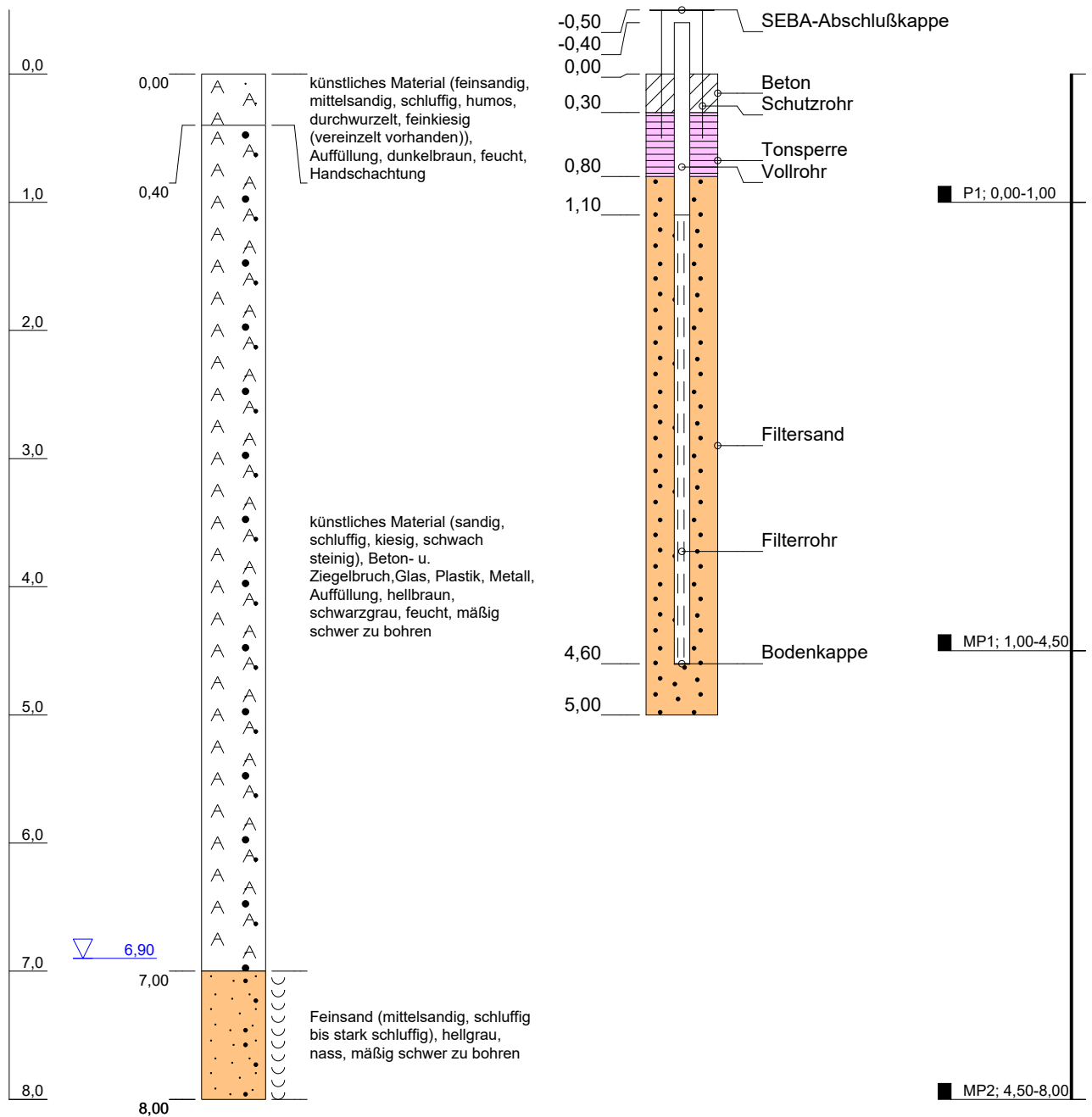


Höhenmaßstab: 1:50

Projekt: Lübeck Lohmühle		ASBT UMWELT Anlagensicherheit und Bohrtechnik
Bohrung: G 2/22		
Auftraggeber: M&P Ingenieurgesellschaft	Rechtswert: 609903,78	
Bohrfirma: ASBT UMWELT GmbH & Co. KG	Hochwert: 5971847,27	
Bearbeiter: Burghardt	Ansatzhöhe: 16,44 m NHN	
Datum: 12.04.2023	Endtiefe: 8.00 m	

m u. GOK (16,14 m NHN)

G 3/22

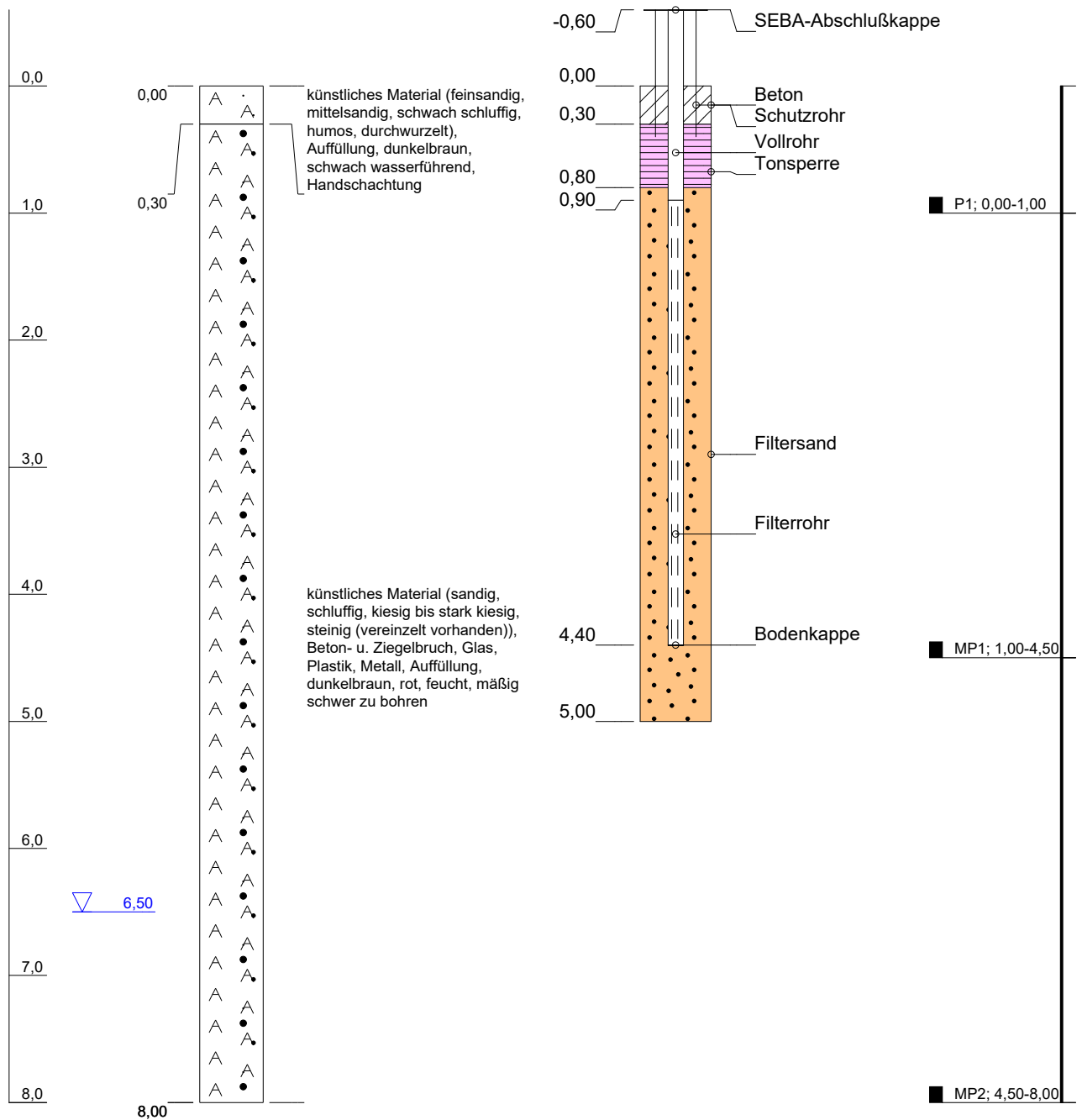


Höhenmaßstab: 1:50

Projekt: Lübeck Lohmühle		ASBT UMWELT ★ ★ ★ ★ ★ ASBT ★ ★ Umwelt ★ ★ ★ ★ ★ Anlagensicherheit und Bohrtechnik	
Bohrung: G 3/22			
Auftraggeber:	M&P Ingenieurgesellschaft		Rechtswert: 609954,28
Bohrfirma:	ASBT UMWELT GmbH & Co. KG		Hochwert: 5971834,74
Bearbeiter:	Burghardt		Ansatzhöhe: 16,14 m NHN
Datum:	12.04.2023		Endtiefe: 8,00 m

m u. GOK (17,45 m NHN)

G 4/22

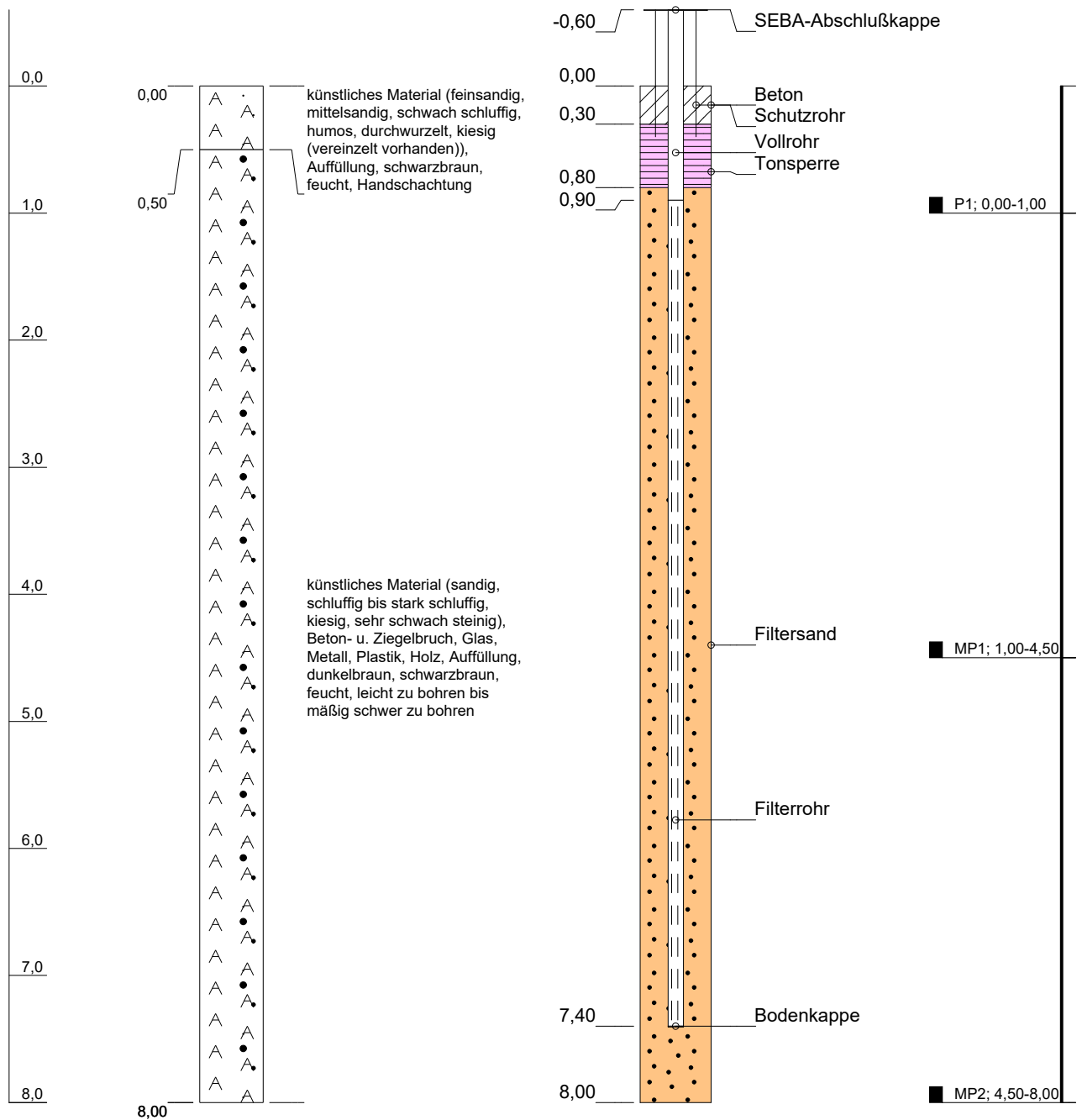


Höhenmaßstab: 1:50

Projekt: Lübeck Lohmühle		ASBT UMWELT Anlagensicherheit und Bohrtechnik	
Bohrung: G 4/22			
Auftraggeber:	M&P Ingenieurgesellschaft		Rechtswert: 609903,69
Bohrfirma:	ASBT UMWELT GmbH & Co. KG		Hochwert: 5971793,02
Bearbeiter:	Burghardt		Ansatzhöhe: 17,45 m NHN
Datum:	05.04.2023		Endtiefe: 8.00 m

m u. GOK (19,31 m NHN)

G 5/22

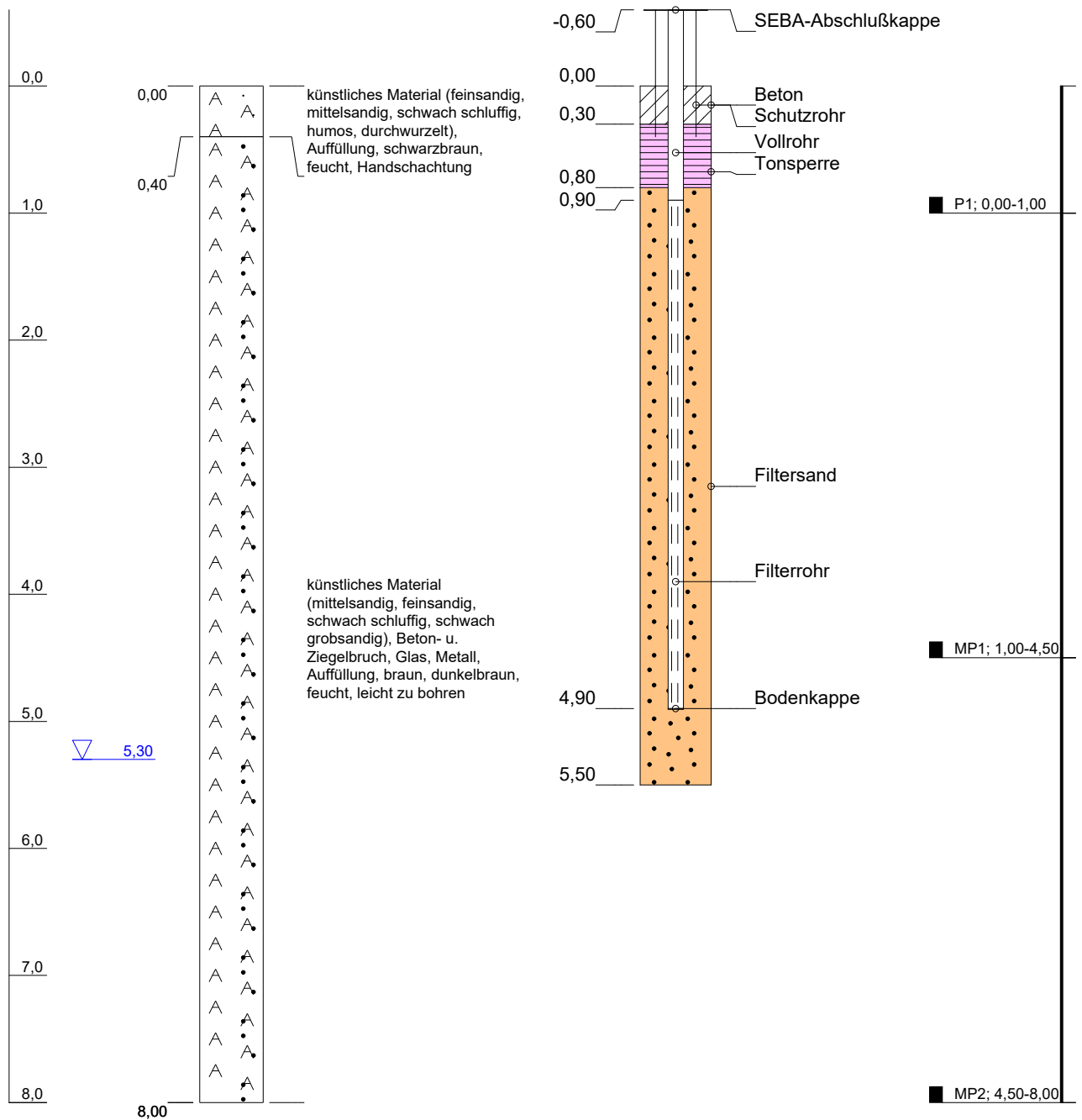


Höhenmaßstab: 1:50

Projekt: Lübeck Lohmühle		ASBT UMWELT ★ ★ ★ ★ ★ ★ ASBT ★ ★ Umwelt ★ ★ ★ ★ Anlagensicherheit und Bohrtechnik	
Bohrung: G 5/22			
Auftraggeber:	M&P Ingenieurgesellschaft		Rechtswert: 609867,92
Bohrfirma:	ASBT UMWELT GmbH & Co. KG		Hochwert: 5971816,16
Bearbeiter:	Burghardt		Ansatzhöhe: 19,31 m NHN
Datum:	11.04.2023		Endtiefe: 8,00 m

m u. GOK (16,67 m NHN)

G 6/22

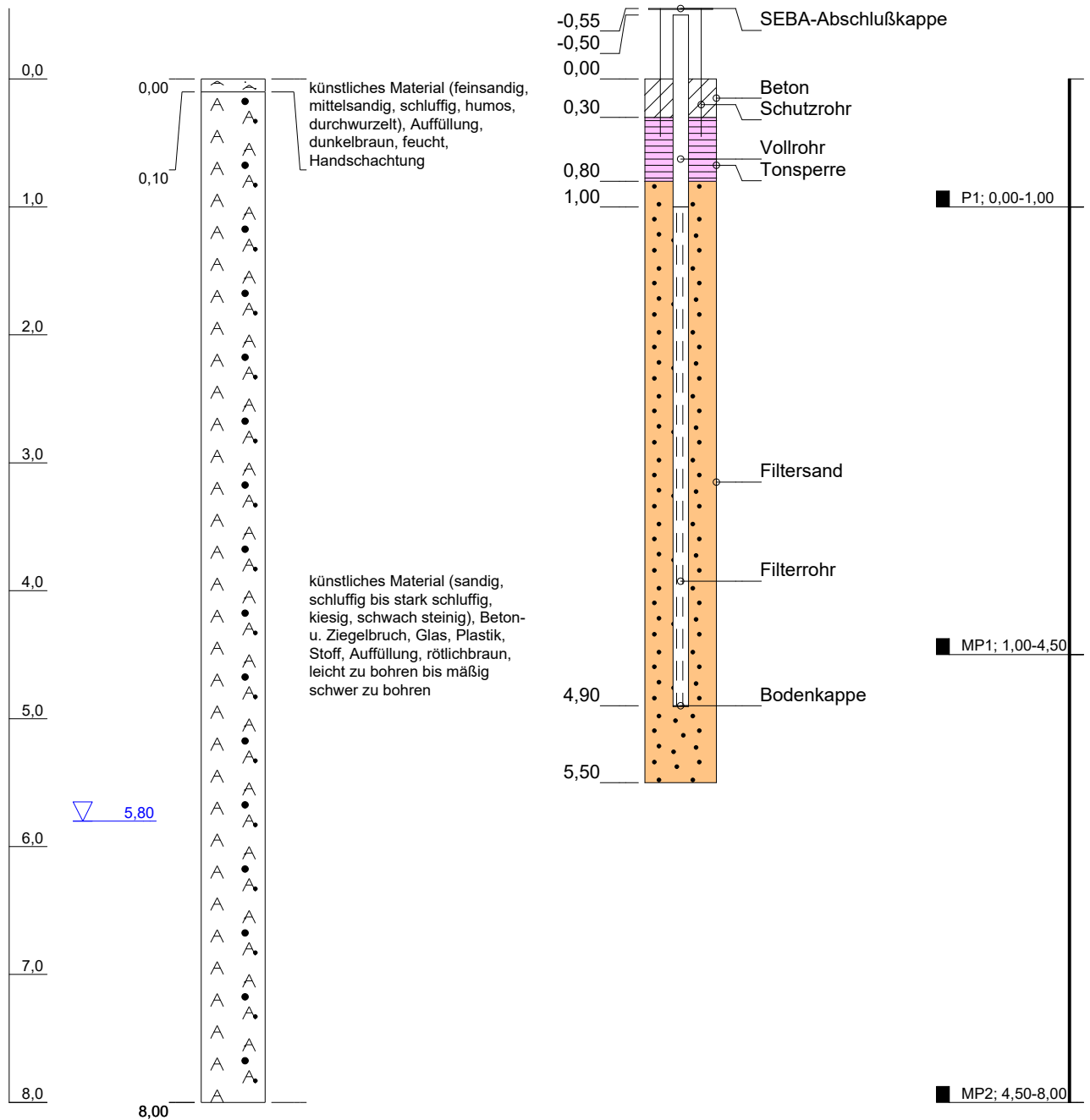


Höhenmaßstab: 1:50

Projekt: Lübeck Lohmühle		ASBT UMWELT Anlagensicherheit und Bohrtechnik
Bohrung: G 6/22		
Auftraggeber: M&P Ingenieurgesellschaft	Rechtswert: 609836,49	
Bohrfirma: ASBT UMWELT GmbH & Co. KG	Hochwert: 5971755,82	
Bearbeiter: Burghardt	Ansatzhöhe: 16,67 m NHN	
Datum: 04.04.2023	Endtiefe: 8.00 m	

m u. GOK (16,13 m NHN)

G 7/22



Höhenmaßstab: 1:50

Projekt: Lübeck Lohmühle		ASBT UMWELT ★ ★ ★ ★ ★ ★ ASBT ★ ★ Umwelt ★ Anlagensicherheit und Bohrtechnik	
Bohrung: G 7/22			
Auftraggeber:	M&P Ingenieurgesellschaft		Rechtswert: 609960,53
Bohrfirma:	ASBT UMWELT GmbH & Co. KG		Hochwert: 5971767,20
Bearbeiter:	Burghardt		Ansatzhöhe: 16,13 m NHN
Datum:	05.04.2023		Endtiefe: 8,00 m

Anlage 2

Schichtverzeichnisse

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Seite: 1

Projekt: Lübeck Lohmühle

Bohrung: G 1/22

1	2					3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen					Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen						Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang		e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung		h) Gruppe	i) Kalk- gehalt				
0,20	a) künstliches Material (feinsandig, mittelsandig, schluffig, humos, durchwurzelt)					Handschachtung			
	b)								
	c)	d)		e) dunkelbraun					
	f) Auffüllung	g)		h)	i)				
8,00	a) künstliches Material (sandig, schluffig bis stark schluffig, kiesig, schwach steinig)					Grundwasser angetroffen bei 5.10m		P1 MP1 MP2	1,00 4,50 8,00
	b) Beton- u. Ziegelbruch, Glas, Plastik, Metall								
	c)	d) mäßig schwer zu bohren		e) braun, schwarzgrau					
	f) Auffüllung	g)		h)	i)				
	a)								
	b)								
	c)	d)		e)					
	f)	g)		h)	i)				
	a)								
	b)								
	c)	d)		e)					
	f)	g)		h)	i)				
	a)								
	b)								
	c)	d)		e)					
	f)	g)		h)	i)				

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Seite: 1

Projekt: Lübeck Lohmühle

Bohrung: G 2/22

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt				
0,50	a) künstliches Material (feinsandig, mittelsandig, schluffig, humos, durchwurzelt)				Handschachtung			
	b)							
	c)	d)	e) dunkelbraun					
	f) Auffüllung	g)	h)	i)				
5,80	a) künstliches Material (sandig, schluffig, kiesig, schwach steinig)				Grundwasser angetroffen bei 5.70m		P1 MP1	1,00 4,50
	b) Beton- u. Ziegelbruch, Glas, Plastik, Metall, Holz							
	c)	d) mäßig schwer zu bohren	e) dunkelbraun, schwarzgrau					
	f) Auffüllung	g)	h)	i)				
7,30	a) Schluff (feinsandig)							
	b)							
	c) weich bis breiig	d) leicht zu bohren	e) hellgrau					
	f)	g)	h)	i)				
8,00	a) Mittelsand (feinsandig)				nass		MP2	8,00
	b)							
	c)	d) mäßig schwer zu bohren	e) hellgrau					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Seite: 1

Projekt: Lübeck Lohmühle

Bohrung: G 3/22

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt				
0,40	a) künstliches Material (feinsandig, mittelsandig, schluffig, humos, durchwurzelt, feinkiesig (vereinzelt vorhanden))				Handschachtung			
	b)							
	c)	d)	e) dunkelbraun					
	f) Auffüllung	g)	h)	i)				
7,00	a) künstliches Material (sandig, schluffig, kiesig, schwach steinig)				Grundwasser angetroffen bei 6.90m		P1 MP1	1,00 4,50
	b) Beton- u. Ziegelbruch,Glas, Plastik, Metall							
	c)	d) mäßig schwer zu bohren	e) hellbraun, schwarzgrau					
	f) Auffüllung	g)	h)	i)				
8,00	a) Feinsand (mittelsandig, schluffig bis stark schluffig)				nass		MP2	8,00
	b)							
	c)	d) mäßig schwer zu bohren	e) hellgrau					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Seite: 1

Projekt: Lübeck Lohmühle

Bohrung: G 4/22

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt				
0,30	a) künstliches Material (feinsandig, mittelsandig, schwach schluffig, humos, durchwurzelt)				Handschachtung			
	b)							
	c)	d)	e) dunkelbraun					
	f) Auffüllung	g)	h)	i)				
8,00	a) künstliches Material (sandig, schluffig, kiesig bis stark kiesig, steinig (vereinzelt vorhanden))				Grundwasser angetroffen bei 6.50m		P1 MP1 MP2	1,00 4,50 8,00
	b) Beton- u. Ziegelbruch, Glas, Plastik, Metall							
	c)	d) mäßig schwer zu bohren	e) dunkelbraun, rot					
	f) Auffüllung	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Seite: 1

Projekt: Lübeck Lohmühle

Bohrung: G 5/22

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt				
0,50	a) künstliches Material (feinsandig, mittelsandig, schwach schluffig, humos, durchwurzelt, kiesig (vereinzelt vorhanden))				Handschachtung			
	b)							
	c)	d)	e) schwarzbraun					
	f) Auffüllung	g)	h)	i)				
8,00	a) künstliches Material (sandig, schluffig bis stark schluffig, kiesig, sehr schwach steinig)						P1 MP1 MP2	1,00 4,50 8,00
	b) Beton- u. Ziegelbruch, Glas, Metall, Plastik, Holz							
	c)	d) leicht zu bohren bis mäßig schwer zu	e) dunkelbraun, schwarzbraun					
	f) Auffüllung	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Seite: 1

Projekt: Lübeck Lohmühle

Bohrung: G 6/22

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt				
0,40	a) künstliches Material (feinsandig, mittelsandig, schwach schluffig, humos, durchwurzelt)				Handschachtung			
	b)							
	c)	d)	e) schwarzbraun					
	f) Auffüllung	g)	h)	i)				
8,00	a) künstliches Material (mittelsandig, feinsandig, schwach schluffig, schwach grobsandig)				Grundwasser angetroffen bei 5.30m		P1 MP1 MP2	1,00 4,50 8,00
	b) Beton- u. Ziegelbruch, Glas, Metall							
	c)	d) leicht zu bohren	e) braun, dunkelbraun					
	f) Auffüllung	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Seite: 1

Projekt: Lübeck Lohmühle

Bohrung: G 7/22

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt				
0,10	a) künstliches Material (feinsandig, mittelsandig, schluffig, humos, durchwurzelt)				Handschachtung			
	b)							
	c)	d)	e) dunkelbraun					
	f) Auffüllung	g)	h)	i)				
8,00	a) künstliches Material (sandig, schluffig bis stark schluffig, kiesig, schwach steinig)				Grundwasser angetroffen bei 5.80m		P1 MP1 MP2	1,00 4,50 8,00
	b) Beton- u. Ziegelbruch, Glas, Plastik, Stoff							
	c)	d) leicht zu bohren bis mäßig schwer zu	e) rötlichbraun					
	f) Auffüllung	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

Anlage 3

Laborberichte

ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner
mbH
Auf der Breit 11



76227 Karlsruhe

Prüfbericht-Nr.: 2023PV02663 / 1

Auftraggeber	ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH
Eingangsdatum	05.04.2023
Projekt	Deponie Lohmühle Lübeck, Potenzialstudie zur Aerobisierung
Material	Boden
Auftrag	Analytik gem. Vorgabe des Auftraggebers
Verpackung	PE-Eimer
Probenmenge	siehe Tabelle
unsere Auftragsnummer	23V01568
Probenahme	durch den Einsender M@P Ingenieurgesellschaft mbH
Probentransport	Kurier (GO)
Labor	GBA Analytical Services GmbH
Analysenbeginn / -ende	05.04.2023 - 24.04.2023
Bemerkung	keine
Probenaufbewahrung	Wenn nicht anders vereinbart, werden Feststoffproben drei Monate und Wasserproben bis zwei Wochen nach Prüfberichtserstellung aufbewahrt.

Vaterstetten, 24.04.2023

i. A. R. Maget
Projektbearbeitung / Kundenbetreuung



unsere Auftragsnummer		23V01568	23V01568	23V01568
Probe-Nummer		004	005	006
Material		Boden	Boden	Boden
Probenbezeichnung		MPG4/2 (4,5-8,0)	MPG7/1 (1,0-4,5)	MPG7/2 (4,5-8,0)
Probemenge		ca. 5kg	ca. 5kg	ca. 5kg
Probeneingang		05.04.2023	05.04.2023	05.04.2023
Analysenergebnisse				
	Einheit			
Trockenrückstand	Masse-%	83,1	85,0	79,0
Wassergehalt	Masse-% TM	20,4	17,7	26,6
Glühverlust (550°C)	Masse-% TM	7,4	6,9	8,1
TOC	Masse-% TM	5,4	4,4	4,2
Stickstoff ges.	mg/kg TM	910	1600	1600
Atmungsaktivität (AT4)	mg O2/g TM	<1,0	<1,0	<1,0
Probenvorbereitung				



Prüfbericht-Nr.: 2023PV02663 / 1

Angewandte Verfahren

Parameter	BG	Einheit	Methode
Trockenrückstand	0,10	Masse-%	DIN ISO 11465: 1996-12 ^a 54
Wassergehalt	0,50	Masse-% TM	DIN ISO 11465: 1996-12 ^a 54
Glühverlust (550°C)	0,10	Masse-% TM	DIN EN 15169: 2007-05 ^a 54
TOC	0,050	Masse-% TM	DIN EN 15936: 2012-11 ^a 5
Stickstoff ges.	100	mg/kg TM	DIN EN 16169: 2012-11 ^a 5
Atmungsaktivität (AT4)	1,0	mg O2/g TM	DepV Anh. 4, Nr. 3.3.1: 2020-06 ^a 2
Probenvorbereitung			DIN 19747: 2009-07 ^a 54

Die mit ^a gekennzeichneten Verfahren sind akkreditierte Verfahren. Die Bestimmungsgrenzen (BG) können matrixbedingt variieren.
Untersuchungslabor: 54GBA Analytical Services GmbH 5GBA Pinneberg 2GBA Gelsenkirchen

ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner
mbH
Herr Dr. Kühle-Weidemeier
Auf der Breit 11



76227 Karlsruhe

Prüfbericht-Nr.: 2023PV02677 / 1

Auftraggeber	ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH
Eingangsdatum	12.04.2023
Projekt	Deponie Lohmühle Lübeck, Potentialstudie zur Aerobisierung
Material	Boden
Auftrag	Analytik gem. Vorgabe des Auftraggebers
Verpackung	PE-Eimer
Probenmenge	ca. 6kg
unsere Auftragsnummer	23V01645
Probenahme	durch den Auftraggeber
Probentransport	Kurier (GBA)
Labor	GBA Analytical Services GmbH
Analysenbeginn / -ende	12.04.2023 - 24.04.2023
Bemerkung	keine
Probenaufbewahrung	Wenn nicht anders vereinbart, werden Feststoffproben drei Monate und Wasserproben bis zwei Wochen nach Prüfberichtserstellung aufbewahrt.

Vaterstetten, 24.04.2023

i. A. R. Maget
Projektbearbeitung / Kundenbetreuung



Prüfbericht-Nr.: 2023PV02677 / 1

Deponie Lohmühle Lübeck, Potentialstudie zur Aerobisierung

unsere Auftragsnummer		23V01645	23V01645	23V01645
Probe-Nummer		001	002	003
Material		Boden	Boden	Boden
Probenbezeichnung		MPG3/1 (1,0-4,5 m)	MPG3/2 (4,5-8,0 m)	MPG5/1 (1,0-4,5 m)
Probemenge		ca. 6kg	ca. 6kg	ca. 6kg
Probeneingang		12.04.2023	12.04.2023	12.04.2023
Analysenergebnisse	Einheit			
Probenvorbereitung				
Trockenrückstand	Masse-%	83,6	84,5	85,7
Wassergehalt	Masse-% TM	19,7	18,4	16,7
Atmungsaktivität (AT4)	mg O2/g TM	<1,0	<1,0	<1,0
Glühverlust (550°C)	Masse-% TM	10,8	6,2	5,1
TOC	Masse-% TM	7,0	4,6	3,6
Stickstoff ges.	mg/kg TM	2700	1400	790



unsere Auftragsnummer		23V01645
Probe-Nummer		004
Material		Boden
Probenbezeichnung		MPG5/2 (4,5-8,0 m)
Probemenge		ca. 6kg
Probeneingang		12.04.2023
Analysenergebnisse	Einheit	
Probenvorbereitung		
Trockenrückstand	Masse-%	85,7
Wassergehalt	Masse-% TM	16,7
Atmungsaktivität (AT4)	mg O2/g TM	<1,0
Glühverlust (550°C)	Masse-% TM	7,4
TOC	Masse-% TM	4,7
Stickstoff ges.	mg/kg TM	1000



Prüfbericht-Nr.: 2023PV02677 / 1

Angewandte Verfahren

Parameter	BG	Einheit	Methode
Probenvorbereitung			DIN 19747: 2009-07 ^a ₅₄
Trockenrückstand	0,10	Masse-%	DIN ISO 11465: 1996-12 ^a ₅₄
Wassergehalt	0,50	Masse-% TM	DIN ISO 11465: 1996-12 ^a ₅₄
Atmungsaktivität (AT4)	1,0	mg O ₂ /g TM	DepV Anh. 4, Nr. 3.3.1: 2020-06 ^a ₂
Glühverlust (550°C)	0,10	Masse-% TM	DIN EN 15169: 2007-05 ^a ₅₄
TOC	0,050	Masse-% TM	DIN EN 15936: 2012-11 ^a ₅
Stickstoff ges.	100	mg/kg TM	DIN EN 16169: 2012-11 ^a ₅

Die mit ^a gekennzeichneten Verfahren sind akkreditierte Verfahren. Die Bestimmungsgrenzen (BG) können matrixbedingt variieren.
 Untersuchungslabor: ₅₄GBA Analytical Services GmbH ₂GBA Gelsenkirchen ₅GBA Pinneberg

ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner
mbH
Herr Dr. Kühle-Weidemeier
Auf der Breit 11



76227 Karlsruhe

Prüfbericht-Nr.: 2023PV02675 / 1

Auftraggeber	ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH
Eingangsdatum	14.04.2023
Projekt	Deponie Lohmühle Lübeck, Potenzialstudie zur Aerobisierung
Material	Boden
Auftrag	Analytik gem. Vorgabe des Auftraggebers
Verpackung	PE-Eimer
Probenmenge	ca. 3kg
unsere Auftragsnummer	23V01654
Probenahme	durch den Auftraggeber
Probentransport	Kurier (GO)
Labor	GBA Analytical Services GmbH
Analysenbeginn / -ende	14.04.2023 - 24.04.2023
Bemerkung	keine
Probenaufbewahrung	Wenn nicht anders vereinbart, werden Feststoffproben drei Monate und Wasserproben bis zwei Wochen nach Prüfberichtserstellung aufbewahrt.

Vaterstetten, 24.04.2023

i. A. R. Maget
Projektbearbeitung / Kundenbetreuung



Prüfbericht-Nr.: 2023PV02675 / 1

Deponie Lohmühle Lübeck, Potenzialstudie zur Aerobisierung

unsere Auftragsnummer		23V01654	23V01654	23V01654
Probe-Nummer		001	002	003
Material		Boden	Boden	Boden
Probenbezeichnung		MPG1/1 (1,0-4,5 m)	MPG1/2 (4,5-8,0 m)	MPG2/1 (1,0-4,5 m)
Probemenge		ca. 3kg	ca. 3kg	ca. 3kg
Probeneingang		14.04.2023	14.04.2023	14.04.2023
Analysenergebnisse	Einheit			
Probenvorbereitung				
Trockenrückstand	Masse-%	86,5	73,8	85,5
Wassergehalt	Masse-% TM	15,6	35,6	16,9
Atmungsaktivität (AT4)	mg O2/g TM	<1,0	<1,0	<1,0
Glühverlust (550°C)	Masse-% TM	2,8	8,2	4,5
TOC	Masse-% TM	0,98	3,9	4,0
Stickstoff ges.	mg/kg TM	520	1900	700



unsere Auftragsnummer		23V01654
Probe-Nummer		004
Material		Boden
Probenbezeichnung		MPG2/2 (4,5-8,0 m)
Probemenge		ca. 3kg
Probeneingang		14.04.2023
Analysenergebnisse	Einheit	
Probenvorbereitung		
Trockenrückstand	Masse-%	78,2
Wassergehalt	Masse-% TM	27,9
Atmungsaktivität (AT4)	mg O2/g TM	<1,0
Glühverlust (550°C)	Masse-% TM	4,7
TOC	Masse-% TM	1,8
Stickstoff ges.	mg/kg TM	1500



Prüfbericht-Nr.: 2023PV02675 / 1

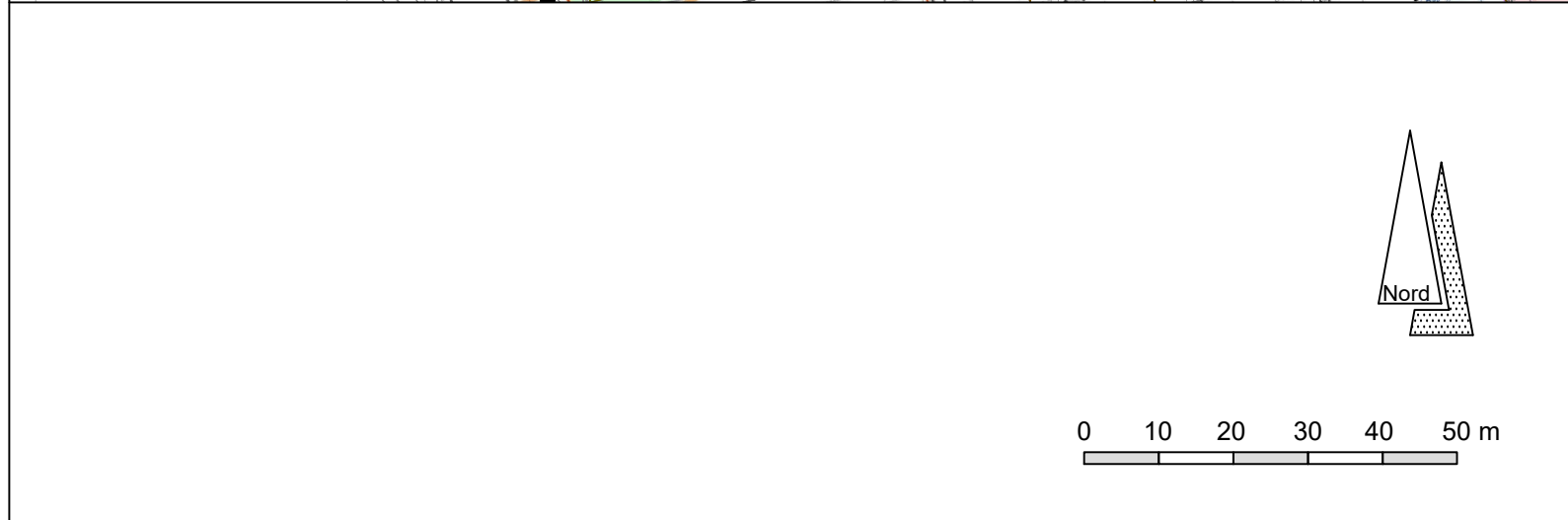
Angewandte Verfahren

Parameter	BG	Einheit	Methode
Probenvorbereitung			DIN 19747: 2009-07 ^a ₅₄
Trockenrückstand	0,10	Masse-%	DIN ISO 11465: 1996-12 ^a ₅₄
Wassergehalt	0,50	Masse-% TM	DIN ISO 11465: 1996-12 ^a ₅₄
Atmungsaktivität (AT4)	1,0	mg O ₂ /g TM	DepV Anh. 4, Nr. 3.3.1: 2020-06 ^a ₂
Glühverlust (550°C)	0,10	Masse-% TM	DIN EN 15169: 2007-05 ^a ₅₄
TOC	0,050	Masse-% TM	DIN EN 15936: 2012-11 ^a ₅
Stickstoff ges.	100	mg/kg TM	DIN EN 16169: 2012-11 ^a ₅

Die mit ^a gekennzeichneten Verfahren sind akkreditierte Verfahren. Die Bestimmungsgrenzen (BG) können matrixbedingt variieren.
Untersuchungslabor: ₅₄GBA Analytical Services GmbH ₂GBA Gelsenkirchen ₅GBA Pinneberg

Anlage 4

Lageplan



Mull und Partner Ingenieurgesellschaft mbH Hans-Böckler-Allee 9 30173 Hannover www.mup-group.com Tel.: +49 511 123 559 0 Fax: +49 511 123 559 55  M&P INGENIEURGESELLSCHAFT				Auftraggeber Hansestadt Lübeck Bereich 3.390.3, Kronsfordter Allee 2-6, 23539 Lübeck			
				Projekt 221348 AAB Lohmühle Lübeck, Potenzialstudie			
				Benennung Bohransatzpunkte Gasbrunnen G1 bis G7			
erstellt/geändert	Datum	Bearbeiter	Projektleiter	Papiergröße	DIN A3	Maßstab	1: 1.000
	15.12.2023	TF		Layout	Bohrpunkte	Abbildung	
gepl. Gasbrunnen in KVF entfernt	28.03.2024	TF		Planindex	221348_2024-03-28_TF.dwg		

Anlage 5

Beim Gasabsaugversuch verwendete Geräte

Messgerät	SN.-Nr.:	CH ₄
Flügelradanemometer (Durchfluss in m ³ /h)	intern „D“	
GPS – Gerät (Garmin) mit Aufzeichnung der „Wegpunkte“ und „Wegaufzeichnung“ z.B. bei OFD -Emissionsmessungen		
ExTec PM 4 (für Dichtigkeitsnachweisenach DVGW G 465-4)	intern „K“	0 ppm - 10.000 ppm (Halbleitersensor) 0 % UEG - 100 % UEG (Wärmetönungssensor)
Sewerin RMLD Methan Laser Auffinden von Gaslecks (CH ₄) bis zu max.30 m	8001208009	Messbereich: 0 - 99.999 ppm m Empfindlichkeit: 5 ppm * m bei Entfernungen von 0 bis 15 m 10 ppm * m bei Entfernungen von 15 bis 30 m Strahlgröße: Konisch mit einer Breite von 56 cm auf 30 m
GfG G 460	Intern „F“	zur Aufzeichnung der Messpunkte
GfG G 460	Intern „N“	als Personenschutzmessgerät
Fackel DMF V		Feuerungswärmeleistung 100 kWth (Normalbetrieb) – max. 600 kWth , Regelbereich 1:4
Mini Raupendumper Jansen RD 600		Zuladung bis 500 kg, ca. 10 kWmech Antriebsmotor (Benzin)
Energieversorgung/ Not„strom“aggregat Esders		

Anlage 6

Analysen entsorgtes Bohrgut

Eurofins Umwelt Nord GmbH - Werner-Nordmeyer-Straße 3 - 31226 Peine

M&P Ingenieurgesellschaft mbH
Sachsenstraße 6
20097 Hamburg

Titel: Prüfbericht zu Auftrag 02309968
Prüfberichtsnummer: AR-23-GE-003607-01
Auftragsbezeichnung: 221348 - Deponie Lohmühle Lübeck

Anzahl Proben: 1
Probenart: Boden
Probenahmedatum: 13.04.2023
Probenehmer: keine Angabe, Probe(n) wurde(n) an das Labor ausgehändigt

Probeneingangsdatum: 19.04.2023
Prüfzeitraum: 19.04.2023 - 15.05.2023

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände. Sofern die Probenahme nicht durch unser Labor oder in unserem Auftrag erfolgte, wird hierfür keine Gewähr übernommen. Die Ergebnisse beziehen sich in diesem Fall auf die Proben im Anlieferungszustand. Dieser Prüfbericht enthält eine qualifizierte elektronische Signatur und darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen in jedem Einzelfall der Genehmigung der EUROFINS UMWELT.

Es gelten die Allgemeinen Verkaufsbedingungen (AVB), sofern nicht andere Regelungen vereinbart sind. Die aktuellen AVB können Sie unter <http://www.eurofins.de/umwelt/avb.aspx> einsehen.

Anhänge:

XML_Export_AR-23-GE-003607-01.xml

Karsten Goldbach
Niederlassungsleitung
+49 5171 5078984

Digital signiert, 15.05.2023
Niklas Maroska
Prüfleitung

Eurofins Umwelt Nord GmbH
Stedinger Strasse 45 a
26135 Oldenburg

Tel. +49 441 21830 0
Fax +49 441 21830 12
umwelt-oldenburg@eurofins.de
www.eurofins.de/umwelt

GF: Dr. Konstanze Kiersch
Amtsgericht Oldenburg HRB 141387
USt-ID.Nr. DE 226 91 2525

Bankverbindung: UniCredit Bank AG
BLZ 207 300 17
Kto 7000001350
IBAN DE38 2073 0017 7000 0013 50
BIC/SWIFT HYVEDE33

				Probenbezeichnung		MP Bohrgut Container
				Probenahmedatum/ -zeit		13.04.2023
				Probennummer		023035832
Parameter	Lab.	Akk.	Methode	BG	Einheit	
Probenvorbereitung Feststoffe						
Probenbegleitprotokoll	ANf					siehe Anlage
Probenmenge inkl. Verpackung	ANf	L8	DIN 19747: 2009-07		kg	5,6
Fremdstoffe (Art)	ANf	L8	DIN 19747: 2009-07			keine
Fremdstoffe (Menge)	ANf	L8	DIN 19747: 2009-07		g	0,0
Siebrückstand > 10mm	ANf	L8	DIN 19747: 2009-07			ja
Fremdstoffe (Anteil)	ANf	L8	DIN 19747: 2009-07	0,1	%	< 0,1
Rückstellprobe	ANf		Hausmethode	100	g	< 100
Königswasseraufschluss	ANf	L8	DIN EN 13657: 2003-01			X

Physikalisch-chemische Kenngrößen aus der Originalsubstanz

Aussehen (qualitativ)	ANf		DIN EN ISO 14688-1: 2018-05			Boden ohne Fremdbestandteile
Farbe qualit.	ANf		DIN EN ISO 14688-1: 2018-05			braun
Geruch (qualitativ)	ANf		DIN EN ISO 14688-1: 2018-05			ohne
Trockenmasse	ANf	L8	DIN EN 14346: 2007-03 (Ofen)	0,1	Ma.-%	85,9

Elemente aus dem Königswasseraufschluss nach DIN EN 13657: 2003-01[#]

Arsen (As)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,8	mg/kg TS	16,6
Blei (Pb)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	2	mg/kg TS	192
Cadmium (Cd)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,2	mg/kg TS	0,7
Chrom (Cr)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	1	mg/kg TS	117
Kupfer (Cu)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	1	mg/kg TS	278
Nickel (Ni)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	1	mg/kg TS	35
Quecksilber (Hg)	ANf	L8	DIN EN ISO 12846 (E12): 2012-08	0,07	mg/kg TS	0,32
Zink (Zn)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	1	mg/kg TS	411

Organische Summenparameter aus der Originalsubstanz

Glühverlust (550 °C)	ANf	L8	DIN EN 15169: 2007-05	0,1	Ma.-% TS	6,0
TOC	ANf	L8	DIN EN 15936: 2012-11 (AN.L8: Ver.A; FG,F5: Ver.B)	0,1	Ma.-% TS	4,1
EOX	ANf	L8	DIN 38414-17 (S17): 2017-01	1,0	mg/kg TS	< 1,0
Extrahierbare lipophile Stoffe	ANf	L8	LAGA KW/04: 2019-09	0,02	Ma.-% TS	0,10
Kohlenwasserstoffe C10-C22	ANf	L8	DIN EN 14039: 2005-01/LAGA KW/04: 2019-09	40	mg/kg TS	49
Kohlenwasserstoffe C10-C40	ANf	L8	DIN EN 14039: 2005-01/LAGA KW/04: 2019-09	40	mg/kg TS	250

				Probenbezeichnung		MP Bohrgut Container
				Probenahmedatum/ -zeit		13.04.2023
				Probennummer		023035832
Parameter	Lab.	Akk.	Methode	BG	Einheit	
BTEX und aromatische Kohlenwasserstoffe aus der Originalsubstanz						
Benzol	AN/f	L8	DIN EN ISO 22155: 2016-07	0,05	mg/kg TS	< 0,05
Toluol	AN/f	L8	DIN EN ISO 22155: 2016-07	0,05	mg/kg TS	< 0,05
Ethylbenzol	AN/f	L8	DIN EN ISO 22155: 2016-07	0,05	mg/kg TS	< 0,05
m-/p-Xylol	AN/f	L8	DIN EN ISO 22155: 2016-07	0,05	mg/kg TS	< 0,05
o-Xylol	AN/f	L8	DIN EN ISO 22155: 2016-07	0,05	mg/kg TS	< 0,05
Isopropylbenzol (Cumol)	AN/f	L8	DIN EN ISO 22155: 2016-07	0,05	mg/kg TS	< 0,05
Styrol	AN/f	L8	DIN EN ISO 22155: 2016-07	0,05	mg/kg TS	< 0,05
Summe BTEX + Styrol + Cumol	AN/f		berechnet		mg/kg TS	(n. b.) ¹⁾
PAK aus der Originalsubstanz						
Naphthalin	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,59
Acenaphthylen	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,54
Acenaphthen	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,79
Fluoren	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	1,5
Phenanthren	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	11
Anthracen	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	1,6
Fluoranthren	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	12
Pyren	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	9,5
Benzo[a]anthracen	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	5,1
Chrysen	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	4,8
Benzo[b]fluoranthren	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	7,0
Benzo[k]fluoranthren	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	2,3
Benzo[a]pyren	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	4,5
Indeno[1,2,3-cd]pyren	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	3,2
Dibenzo[a,h]anthracen	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,69
Benzo[ghi]perylene	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	3,1
Summe 16 EPA-PAK exkl. BG	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05		mg/kg TS	68,2
Summe 15 PAK ohne Naphthalin exkl. BG	AN/f	L8	DIN ISO 18287: 2006-05		mg/kg TS	67,6
PCB aus der Originalsubstanz						
PCB 28	AN/f	L8	DIN EN 15308: 2016-12	0,01	mg/kg TS	< 0,01
PCB 52	AN/f	L8	DIN EN 15308: 2016-12	0,01	mg/kg TS	< 0,01
PCB 101	AN/f	L8	DIN EN 15308: 2016-12	0,01	mg/kg TS	0,02
PCB 153	AN/f	L8	DIN EN 15308: 2016-12	0,01	mg/kg TS	0,03
PCB 138	AN/f	L8	DIN EN 15308: 2016-12	0,01	mg/kg TS	0,03
PCB 180	AN/f	L8	DIN EN 15308: 2016-12	0,01	mg/kg TS	0,02
Summe 6 DIN-PCB exkl. BG	AN/f	L8	DIN EN 15308: 2016-12		mg/kg TS	0,10
PCB 118	AN/f	L8	DIN EN 15308: 2016-12	0,01	mg/kg TS	< 0,01
Summe PCB (7)	AN/f	L8	DIN EN 15308: 2016-12		mg/kg TS	0,10

				Probenbezeichnung		MP Bohrgut Container
				Probenahmedatum/ -zeit		13.04.2023
				Probennummer		023035832
Parameter	Lab.	Akk.	Methode	BG	Einheit	
Phys.-chem. Kenngrößen aus dem 10:1-Schüttelauat nach DIN EN 12457-4: 2003-01						
pH-Wert	ANf	L8	DIN EN ISO 10523 (C5): 2012-04			7,9
Temperatur pH-Wert	ANf	L8	DIN 38404-4 (C4): 1976-12		°C	21,9
Leitfähigkeit bei 25°C	ANf	L8	DIN EN 27888 (C8): 1993-11	5	µS/cm	499
Wasserlöslicher Anteil	ANf	L8	DIN EN 15216: 2008-01	0,15	Ma.-%	0,36
Gesamtgehalt an gelösten Feststoffen	ANf	L8	DIN EN 15216: 2008-01	150	mg/l	360
Anionen aus dem 10:1-Schüttelauat nach DIN EN 12457-4: 2003-01						
Fluorid	ANf	L8	DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07	0,2	mg/l	0,5
Chlorid (Cl)	ANf	L8	DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07	1,0	mg/l	1,8
Sulfat (SO ₄)	ANf	L8	DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07	1,0	mg/l	150
Cyanid leicht freisetzbar / Cyanid frei	ANf	L8	DIN EN ISO 14403-2: 2012-10	0,005	mg/l	< 0,005
Elemente aus dem 10:1-Schüttelauat nach DIN EN 12457-4: 2003-01						
Antimon (Sb)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,001	mg/l	0,004
Arsen (As)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,001	mg/l	0,002
Barium (Ba)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,001	mg/l	0,094
Blei (Pb)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,001	mg/l	< 0,001
Cadmium (Cd)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,0003	mg/l	< 0,0003
Chrom (Cr)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,001	mg/l	0,001
Kupfer (Cu)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,005	mg/l	0,011
Molybdän (Mo)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,001	mg/l	0,011
Nickel (Ni)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,001	mg/l	0,002
Quecksilber (Hg)	ANf	L8	DIN EN ISO 12846 (E12): 2012-08	0,0002	mg/l	< 0,0002
Selen (Se)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,001	mg/l	< 0,001
Zink (Zn)	ANf	L8	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,01	mg/l	0,01
Org. Summenparameter aus dem 10:1-Schüttelauat nach DIN EN 12457-4: 2003-01						
Gelöster org. Kohlenstoff (DOC)	ANf	L8	DIN EN 1484 (H3): 2019-04	1,0	mg/l	4,8
Phenolindex, wasserdampflich	ANf	L8	DIN EN ISO 14402 (H37): 1999-12	0,01	mg/l	< 0,01

Erläuterungen

BG - Bestimmungsgrenze

Lab. - Kürzel des durchführenden Labors

Akk. - Akkreditierungskürzel des Prüflabors

X - durchgeführt

Heizblock-Aufschluss außer bei Untersuchungen im gesetzlich geregelten Bereich.

Kommentare zu Ergebnissen

¹⁾ nicht berechenbar

Die mit AN gekennzeichneten Parameter wurden von der Eurofins Umwelt West GmbH (Vorgebirgsstrasse 20, Wesseling) analysiert. Die Bestimmung der mit L8 gekennzeichneten Parameter ist nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS D-PL-14078-01-00 akkreditiert.

/f - Die Analyse des Parameters erfolgte in Fremdvergabe.

Probenbegleitprotokoll nach DIN 19747 - Juli 2009 - Anhang A

Probennummer 023035832
Probenbeschreibung MP Bohrgut Container

Probenvorbereitung

Probennehmer keine Angabe, Probe(n) wurde(n) an das Labor ausgehändigt
Probenahmeprotokoll (von der Feldprobe zur Laborprobe) liegt vor: Nein
Fremdstoffe (Menge): 0,0 g
Fremdstoffe (Anteil): < 0,1 %
Fremdstoffe (Art): keine
Siebrückstand > 10mm: ja
Siebrückstand wird auf < 10mm zerkleinert und dem Siebdurchgang beigemischt.
Probenteilung / Homogenisierung durch: Fraktionierendes Teilen
Rückstellprobe: < 100 g

Probenaufarbeitung (von der Prüfprobe zur Messprobe) **)**

Nr.	DK0	DKI, II, III	REK	Parameter	Zerkleinern **)	Trocknen	Feinzerkleinern ***)	Probenmenge
0	X	X	X	Trockenmasse	< 5 mm	Nein	Nein	15 g
1.01	X	X		Glühverlust	< 5 mm	40 °C	< 150 µm	10 g
1.02	X	X		TOC	< 5 mm	40 °C	< 150 µm	2 g
2.01	X			BTEX	Originalprobe (Stichprobe)	Nein	Nein	20 g + 20 ml Methanol
2.02 + 2.04	X		X	PAK/PCB	< 5 mm	Nein	Nein	12,5 g
2.03	X			MKW (C10 - C40)	< 5 mm	Nein	Nein	20 g
2.07	X	X		Lipophile Stoffe	< 5 mm	Verreiben mit Natriumsulfat	Nein	20 g
2.08 - 2.14			X	Metalle, Königswasser-aufschluss	< 5 mm	40 °C	< 150 µm	3 g
3.01 - 3.21	X	X	X	Eluat	Nein/ < 10 mm	Nein	Nein	100 g
1.01/1.02 *)	X	X		C-elementar	< 5 mm	40 °C	< 150 µm	2 g
1.01/1.02 *)	X	X		AT4	< 10 mm	Nein	Nein	300 g
1.01/1.02 *)	X	X		GB21	< 10 mm	Nein	Nein	200 g
1.01/1.02 *)	X	X		Brennwert	< 5 mm	105 °C	< 150 µm	5 g

Die Ergebnisse beziehen sich auf das sortenreine Prüfprobenmaterial nach Entfernung der Fremdmaterialien gemäß DIN 19747:2009-07.

*) Zusatzparameter bei Überschreitung der genannten Grenzwerte

**) Zerkleinern mittels Backenbrecher mit Wolframkarbid-Backen

***) Feinzerkleinerung mittels Laborbackenbrecher BB51 mit Wolframkarbid-Backen

****) Maximalumfang; gilt nur für die beauftragten Parameter