
Anwendungspotenzial der mikrobiellen Methanoxidation im Deponie- Schwachgasbereich – Feldstudie auf einer MBA-Deponie

Dem Fachbereich 13 – Bauingenieurwesen und Geodäsie
der Technischen Universität Darmstadt

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

von
Dipl.-Biol. Sonja Back
aus Geroda / Platz (Bay.)

Darmstadt im September 2013

D 17

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG	I
ZUSAMMENFASSUNG	III
SUMMARY	V
INHALTSVERZEICHNIS	VII
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	XI
TABELLENVERZEICHNIS	XVI
BILDERVERZEICHNIS	XVIII
ABKÜRZUNGEN	XXI
1. GRUNDLAGEN	1
1.1 DEPONIEGAS UND METHAN – DATEN UND FAKTEN	1
1.2 METHAN – EIN STARKES TREIBHAUSGAS	2
1.3 DEPONIEGASBILDUNG UND -NUTZUNG	4
1.4 MBA-SCHWACHGAS-PROBLEMATIK	7
1.5 BIOLOGIE DER METHANOTROPHEN BAKTERIEN	8
1.5.1 Temperatur und Bodenfeuchte	10
1.5.2 Sauerstoffgehalt	11
1.5.3 Stickstoffgehalt im Boden	11
1.6 SYSTEME ZUR MIKROBIELLEN METHANOXIDATION	12
1.7 TYPISCHES GASPROFIL DER METHANOXIDATION	13
1.8 AUFBAU UND FUNKTION EINER DEPONIEOBERFLÄCHENABDECKUNG	15
1.8.1 Kapillarsperrensysteem	15
1.8.2 Rekultivierungsschicht	16
1.8.3 Vegetation	17
1.9 MECHANISCH-BIOLOGISCHE ABFALLBEHANDLUNG	17
1.9.1 Rechtliche Grundlagen der MBA	17
1.9.2 Ablagerungskriterien	19
1.9.3 Verfahrenskonzepte	19
1.9.4 MBA-Verfahrenstechnik im AWZ Rhein-Lahn	21
1.9.5 MBA-Restgasbildung	22
2. MOTIVATION	23
2.1 POTENZIAL DER MIKROBIELLEN METHANOXIDATION	23
2.2 ABLEITUNG DES FORSCHUNGSBEDARFS	24
2.3 UNTERSUCHUNGSKONZEPT	26
3. MATERIAL UND METHODEN	27
3.1 LYSIMETERVERSUCHE	27
3.1.1 Versuchsaufbau	27
3.1.2 Messmethoden	29
3.2 TESTFELDDSTUDIE	29
3.2.1 Testfeldbau	29
3.2.2 Böschungabdichtung	33
3.2.3 Messkampagne und Messmethoden	33
3.2.3.1 Benennung der Testfeldsektoren	33
3.2.3.2 Setzungsmessungen	35
3.2.3.3 Bestimmung der Deponiegasfracht in der Kapillarsperre	36
3.2.3.4 Bestimmung der Gasprofile in der Rekultivierungsschicht	37
3.2.3.5 Bestimmung der Gasprofile im Abfall und in der Kapillarsperre	37
3.2.3.6 Bestimmung der Oberflächenemission	38
3.2.3.7 Oberflächen-FID-Begehung	39
3.2.3.8 Meteorologie	39
3.2.3.9 Bestimmung der Temperatur im Abfallkörper	39
3.2.3.10 Bestimmung der Bodenfeuchtemessung in der Rekultivierungs- und Sandschicht	39
3.2.3.11 Bestimmung des Drainageabflusses	39
3.2.3.12 Bestimmung des Methanoxidationspotenzials in situ (Gas Push-Pull Test)	40

3.3	SÄULENVERSUCHE.....	41
3.3.1	Allgemeiner Versuchsaufbau	41
3.3.2	Sandanmischungen	42
3.3.3	Filtererden	43
3.3.4	Vegetationsversuche	44
3.3.5	Messmethoden	45
3.3.5.1	Bestimmung der Oberflächenemission und der Gasprofile	45
3.3.5.2	Bestimmung von Temperatur und Bodenfeuchte	46
3.3.5.3	Bestimmung des Drainagewassers	46
3.3.5.4	Bodenanalysen	46
3.4	BATCH-VERSUCHE	47
3.5	ABFALL- UND BODENANALYSEN	47
4.	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	50
4.1	LYSIMETERVERSUCHE	51
4.1.1	MBA-Inputmaterial	51
4.1.2	Quantitative und qualitative Gasbildung	51
4.1.3	Ableitung von Thesen für ein MBA-Gasbildungsmodell	51
4.1.4	Temperatureinfluss auf die Gasbildung	51
4.1.5	Abschätzung der Gasbildungsrate für die Testfeldstudie	51
4.1.6	Zusammenfassung der Lysimeterversuche	61
4.2	SPURENGASANALYSE IM DEPONIEGAS	61
4.2.1	Nachgewiesene Spurengase	61
4.2.2	Einfluss ausgewählter Spurengase auf die Methanoxidation	61
4.3	TESTFELDSTUDIE	61
4.3.1	Untersuchungen zur MBA-Gasbildung	61
4.3.1.1	Temperatur im MBA-Abfallkörper	61
4.3.1.2	Menge und Qualität der MBA-Deponiegasbildung	61
4.3.1.3	Validierung der MBA-Gasbildung mittels Lysimeter und Untergrundhauben	61
4.3.2	Untersuchungen am Rekultivierungsboden	61
4.3.2.1	Bodengaskonzentrationen und Oxidationspotenzial im Rekultivierungsboden	61
4.3.2.2	Batchversuche mit Rekultivierungsmaterial	67
4.3.2.3	Gas Push-Pull Test (GPPT) im Rekultivierungsboden	67
4.3.2.4	Zusammenfassung	67
4.3.3	Untersuchungen an der Kapillarsperre	67
4.3.3.1	Methan- und Sauerstoffkonzentration in der Kapillarsperre und im obersten MBA-Abfalllayer	67
4.3.3.2	GPPT in der Kapillarsperre und im obersten MBA-Abfalllayer	67
4.3.3.3	Batchversuche mit Kapillarsperrenmaterial	67
4.3.3.4	Zusammenfassung	67
4.3.4	Untersuchungen am Hotspot	67
4.3.4.1	Bodenanalysen	67
4.3.4.2	Untersuchung der Bodenfeuchte	68
4.3.4.3	Untersuchung des Drainageabflusses	68
4.3.4.4	Simulation der Sättigungsgrade an den Kapillarsperren-Grenzflächen	68
4.3.4.5	Zusammenfassung: Einfluss der Kapillarsperre auf den Deponiegasfluss	68
4.3.4.6	Gasflüsse- und Methanoxidationsleistung am Hotspot	68
4.3.4.7	Batchversuche mit Hotspot-Material	68
4.3.4.8	Nachweis des präferenziellen Fließweges zum Hotspot	68
4.3.4.9	Oberflächenemissionen am Hotspot	68
4.3.4.10	Zusammenfassung	68
4.3.5	Abschließende Materialuntersuchungen des Testfeldes	68
4.3.5.1	MBA-Abfallbohrung	68
4.3.5.2	Kapillarsperrenmaterial	68
4.3.5.3	Rekultivierungsmaterial	68
4.3.5.4	Zusammenfassung	68
4.4	SÄULENVERSUCHE	68
4.4.1	Sandanmischungen	68
4.4.1.1	Bodenuntersuchungen	68
4.4.1.2	Oxidationspotenziale	100
4.4.1.3	Wassergehaltsprofile	100

4.4.1.4	Temperaturprofile	102
4.4.1.5	Zusammenfassung	104
4.4.2	Filtererden	105
4.4.2.1	Bodenuntersuchungen	105
4.4.2.2	Batch-Versuche	108
4.4.2.3	Zusammenfassung	109
4.4.3	Vegetationsversuche	109
4.4.3.1	Bodenuntersuchungen	112
4.4.3.2	Oxidationspotenziale	113
4.4.3.3	Stickstoffverfügbarkeit	114
4.4.3.4	Diffusionskoeffizient	115
4.4.3.5	Zusammenfassung	116
4.5	INFRAROT-THERMOGRAPHIE	118
4.5.1	Vergleich „Tag“- und „Nacht“-Thermographie	118
4.5.2	IR-Thermographie am Hotspot	122
4.5.3	Zusammenfassung	122
5.	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	124
5.1	LYSIMETERVERSUCHE	124
5.1.1	Empfehlungen für die MBA-Deponierung	125
5.2	SPURENGASUNTERSUCHUNGEN	126
5.3	TESTFELDSTUDIE	126
5.3.1	Empfehlungen für den Bau von Methanoxidationsschichten	127
5.4	HOTSPOT-UNTERSUCHUNGEN	128
5.4.1	Empfehlungen für eine Hotspot-Sanierung	130
5.5	SÄULENVERSUCHE	131
5.6	IR-THERMOGRAPHIE	132
6.	ANHANG	133
6.1	FOTODOKUMENTATION TESTFELDBAU	133
6.2	GERÄTELISTE	139
6.3	KORNGRÖßENVERTEILUNG DER SANDANMISCHUNGEN	142
6.4	KORNGRÖßENVERTEILUNG DER FILTERERDEN	143
7.	VERÖFFENTLICHUNGSLISTE (AUSZUG)	144
8.	GESETZE, VERORDNUNGEN UND NORMEN	145
9.	LITERATURVERZEICHNIS	146