

---

# **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
<b>1. GRUNDLAGEN .....</b>	<b>1</b>
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
<b>2. MOTIVATION .....</b>	<b>23</b>
2.1 POTENZIAL DER MIKROBIELLEN METHANOXIDATION .....	23
2.2 ABLEITUNG DES FORSCHUNGSBEDARFS .....	24
2.3 UNTERSUCHUNGSKONZEPT .....	26
<b>3. MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>27</b>
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
<b>4.</b>	<b>ERGEBNISSE UND DISKUSSION .....</b>	<b>50</b>
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
<b>4.4.2</b>	<b>Filtererden .....</b>	<b>105</b>
4.4.2.1	Bodenuntersuchungen .....	105
4.4.2.2	Batch-Versuche .....	108
4.4.2.3	Zusammenfassung .....	109
<b>4.4.3</b>	<b>Vegetationsversuche .....</b>	<b>109</b>
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
<b>4.5</b>	<b>INFRAROT-THERMOGRAPHIE .....</b>	<b>118</b>
4.5.1	Vergleich „Tag“- und „Nacht“-Thermographie .....	118
4.5.2	IR-Thermographie am Hotspot .....	122
4.5.3	Zusammenfassung .....	122
<b>5.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>124</b>
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
<b>6.</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>133</b>
6.1	FOTODOKUMENTATION TESTFELDBAU .....	133
6.2	GERÄTELISTE .....	139
6.3	KORNGRÖßENVERTEILUNG DER SANDANMISCHUNGEN .....	142
6.4	KORNGRÖßENVERTEILUNG DER FILTERERDEN .....	143
<b>7.</b>	<b>VERÖFFENTLICHUNGSLISTE (AUSZUG) .....</b>	<b>144</b>
<b>8.</b>	<b>GESETZE, VERORDNUNGEN UND NORMEN .....</b>	<b>145</b>
<b>9.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>146</b>