

Erste Ergebnisse aus dem F+E-Thema „Methanoxidation in Rekultivierungs-/Wasserhaushaltsschichten in Sachsen-Anhalt

PD Dr. Marion Martienssen

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Theodor-Lieser-Str. 4, 06120 Halle/S.

1 Einführung

Trotz deutlich erkennbarer Schwächen und der erheblichen Aufwendungen ist die Regelabdichtung für größere Deponien eine zum aktuellen Zeitpunkt praktikable Lösung, um vor allem die Probleme der Sickerwasseremission zu beherrschen.

Anders stellt sich die Situation bei vielen kleinen Deponien dar. Das Konzept der vollständigen bzw. weitgehenden Abgrenzung des Deponiekörpers von seiner Umgebung durch die Regelabdichtung stellt diese Deponien häufig vor erhebliche technische und finanzielle Probleme. Da eine effektive Verwertung des Deponiegases für solche Deponien kaum möglich ist (zu geringe Mengen und Gasqualitäten), entstehen durch Fassung und Beseitigung des Deponiegases erhebliche Betriebskosten. Hinzu kommt, dass der abgedichtete Deponiekörper sein Schadstoffpotential nicht verliert. Eine Beschädigung der Abdichtsysteme kann selbst nach Jahrzehnten jederzeit zu einer Reaktivierung der Stoffumsätze und nachfolgend zu erheblichen Gefährdungen für Mensch und Umwelt führen. Ein abgedichteter Deponiekörper ist folglich über lange Zeiträume von Folgenutzungen weitgehend ausgeschlossen und muss aus fachtechnischer Sicht einer langjährigen regelmäßigen Überwachung unterzogen werden. Gleichzeitig zeigen zahlreiche Untersuchungen, dass das Gefährdungspotential kleinerer Deponien häufig eher gering ist. Trotz teilweise lange anhaltender Ablagerungsphasen und bei häufig nur mangelhafter Basisabdichtung sind bei vielen kleineren Deponien kaum Gefährdungen angrenzender Schutzgüter über den Wirkpfad Boden-Grundwasser festzustellen. Der Freisetzung vergleichsweise geringer Schadstoffmengen in das Grundwasser stehen hier hinreichende natürliche Abbau- und Rückhalteprozesse gegenüber, die eine Aufkonzentrierung von Schadstoffen im Grundwasser weitgehend verhindern.

Im Gegensatz zur abdichtenden Konservierung des Schadstoffpotentials durch die Regelabdichtung kommt gerade für solche kleineren Deponien mit geringem Gefährdungspotential eine in-situ-Stabilisierung als nachhaltige Alternative in Betracht. Zahlreiche Untersuchungen vor allem aus den letzten 10 Jahren belegen, dass reine Hausmüllablagerungen durch Rotte innerhalb von überschaubaren Zeiträumen ihre biologische Aktivität stark reduzieren. Die verbleibende Restaktivität entspricht der von humusreichen Waldböden und steht somit im Gleichgewicht mit der natürlichen Umgebung. Ziel alternativer Abdichtsysteme sollte also nicht der Abschluss des Deponiekörpers von seiner Umgebung sein, sondern die mittelfristige Einbindung in das natürliche Ökosystem.

Innerhalb dieses Konzeptes kommt der Oberflächenabdeckung eine entscheidende Rolle zu. Sie dient einerseits der gezielten Verminderung des Wassereintrages in den Deponiekörper auf ein Maß, welches eine hinreichend schnelle Mineralisierung der organischen Substanzen zulässt ohne eine Gefährdung der Umwelt durch Sickerwasser und Deponiegas zu

besorgen. Gleichzeitig wird ein freier Gasaustritt aus dem Deponiekörper angestrebt. Eine mit methanotrophen Bakterien biologisch aktivierte und mit Sauerstoff angereicherte Schicht sorgt in einem solchen System für die weitgehend vollständige Umwandlung des freigesetzten Methans in CO_2 , ohne das dafür zusätzliche Maßnahmen z.B. durch Stützfeuerung in einer Hochtemperaturfackel erforderlich wären.

Im Rahmen eines zweijährigen F/ E – Vorhabens des Landes Sachsen-Anhalt wird gegenwärtig die Leistungsfähigkeit verschiedener methanoxidierender Schichten sowohl im Labor- ,und kleintechnischen, wie auch im Feldmaßstab näher charakterisiert. Dazu wird an vorhandenen stillgelegten Deponien des Landes das Methanoxidationspotential vorhandener Abdeckungen ermittelt. Zusätzlich wird ein Großversuch mit drei Versuchsfeldern zur Optimierung des Methanoxidationspotentials durchgeführt. Die Ergebnisse sollen den Kenntnisstand von temporären und endgültigen Oberflächenabdichtungen hinsichtlich ihrer Methanoxidation erweitern und so zur Optimierung des Schichtenaufbaus von Oberflächenabdichtungs-/abdeckungssystemen für Deponien des Landes Sachsen-Anhalts beitragen. Ziel des Gesamtvorhabens ist es, unter Beachtung der Prinzipien der Nachhaltigkeit sowie der Wirtschaftlichkeit ein Instrumentarium zu entwickeln, das für unterschiedliche Oberflächenabdichtungen/-abdeckungen eine Prognose der Methanoxidationsleistung ermöglicht.

2 Anforderungen an optimierte Oberflächenabdeckungen zur Methanoxidation

2.1 Leistungen Methan oxidierender Bakterien und ihre Ansprüche an den Lebensraum

Die Mechanismen der biologischen Methanoxidation sind seit vielen Jahren bekannt und intensiv untersucht. Eine umfangreiche Zusammenfassung findet sich z.B. bei HUMER UND LECHNER (1997). Im Zuge der Methanoxidation wird Methan auf mikrobiellem Wege zu CO_2 , Wasser und Biomasse umgesetzt. Dieser Prozess ist obligat aerob, d.h. er verläuft unter Verbrauch von Sauerstoff. Je 1 Mol Methan ist von einem theoretischen Verbrauch von 2 Mol Sauerstoff auszugehen. Jedoch können viele Bakterien auch noch unter mikroaerophilen Bedingungen eine gute Methanoxidation realisieren. Auch wird durch Biomasseproduktion der Sauerstoffbedarf vermindert. Den mikrobiellen Prozess der Methanoxidation verdeutlicht Abb.1.

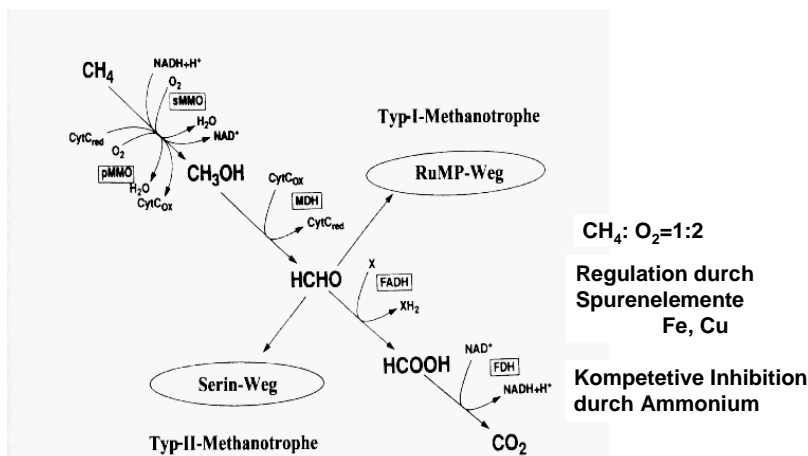


Abb.1: Die Reaktionen der biologischen Methanoxidation

Methanoxidierende (methanotrophe) Bakterien sind auf der Erde ubiquitär verbreitet und obligat methylo-troph. Sie sind auf die Verwertung von C1-Verbindungen (Methan, Methanol) spezialisiert und nutzen diese als einzige Quelle von Kohlenstoff und Energie. Als Stickstoffquellen werden hauptsächlich Ammonium und Nitrat verwertet. Die biologische Methanoxidation läuft in vielen Ökosystemen, wie den oberen durchlüfteten Bodenschichten sehr effizient ab und stellt einen wichtigen Faktor des natürlichen Kohlenstoffkreislaufes dar. So konnten Untersuchungen belegen, dass unter naturnahen Bedingungen in den Sumpfgebieten Floridas etwa 70-90% des durch Faulung gebildeten Methans in den sauerstoffreichen Schichten von Erdreich und Atmosphäre wieder abgebaut werden (HUMER UND LECHNER, 1997). In optimierten Biofiltern wurden von mehreren Autoren unter nicht limitierten Bedingungen Methanabbauraten zwischen 50 und 100 l/m³*h nachgewiesen (Gebert und Gröngröft, 2005). Unter natürlichen Verhältnissen werden solche Leistungen allgemein nicht erreicht, weil insbesondere Sauerstoff als limitierende Komponente wirkt.

Die Ansprüche der Bakterien an das sie umgebende Milieu sind eher gering. Methanotrophe Bakterien haben einen relativ großen pH-Toleranzbereich zwischen pH 4 und 9. Ihre maximale Wachstums- und Aktivitätsrate wird zwischen pH 5,5 und 8,5 erreicht. Die Mehrzahl der Methanotrophen besitzt einen optimalen Temperaturbereich zwischen 20°C und 37°C. Für den Einsatz im Umweltbereich sind vor allen psychrophile Arten von Bedeutung, deren Temperaturoptimum unterhalb von 20 °C liegt. Solche Arten können sich auch bei Temperaturen knapp oberhalb der Nullgradgrenze noch vermehren. Unter natürlichen Bedingungen bilden sich üblicherweise Konsortien, die hinsichtlich ihrer Temperaturansprüche an das sie umgebende Milieu angepasst sind. So finden sich z.B. aktive Populationen mit hohen Methanumsatzraten auch in Tundraböden bei Temperaturen wenig über dem Gefrierpunkt.

Bei der Etablierung methanotropher Konsortien ist zu berücksichtigen, dass die Methanoxidation eine exotherme Reaktion darstellt, bei der pro Mol Methan 210,8 kcal freigesetzt werden. Das bedeutet, dass in aktiven methanotrophen Konsortien eine zusätzliche Aufheizung durch die Tätigkeit der Mikroorganismen stattfindet.

Der Wassergehalt des Trägermediums beeinflusst die Methanoxidation auf vielfältige Weise. Einerseits wird über die Wasserphase das Zusammenwirken von Methan und Sauerstoff vermittelt. Andererseits müssen die Milieubedingungen der Bakterien aufrechterhalten werden. Bei Wassergehalten unter 13 % der maximalen Wasserhaltekapazität kommt die mikrobielle Aktivität zum Erliegen. Darüber wurde bei Untersuchungen mit verschiedenen Deponieabdeckmaterialien ein relativ weiter Toleranzbereich für einen optimalen Methanumsatz zwischen 40% und 80% der maximalen Wasserhaltekapazität festgestellt.

Eine Reihe von Verbindungen können die Methanoxidation negativ beeinflussen. So wirken z.B. hohe Ammoniumkonzentrationen hemmend. Auch andere Substanzen, die an der Methanoxygenase cometabolisch umgesetzt werden, können zu einer deutlichen Verminderung der Methanoxidation führen.

2.2 Grundlegende Anforderungen an optimierte Oberflächenabdeckungen

Trotz der prinzipiell sehr guten Voraussetzungen für den Einsatz von methanotrophen Mikroorganismen zeigen die bisher vorliegenden Resultate aus Feldversuchen einige deutliche Schwächen auf. So muss eine gleichmäßige stabile Sauerstoffbereitstellung

gewährleistet sein. Die biologisch aktive Schicht, in der Sauerstoff und Methan in stöchiometrischen Verhältnissen für einen vollständigen Umsatz verfügbar sind, muss in einer hinreichenden Tiefe angeordnet sein, um auch im Winter ausreichende Umsatzraten zu gewährleisten. Letztlich darf das Porensystem der Abdeckung durch die biologische Aktivität der Mikroorganismen nicht beeinträchtigt werden. Dabei lassen sich aus bisherigen Feldversuchen bereits Erfahrungen hinsichtlich der Struktur leistungsfähiger Oberflächenabdeckungen ableiten (LECHNER UND HUMER, 2000):

- großes Luftporenvolumen (auch bei hohen Wassergehalten) und langfristige Strukturstabilität, um eine dauerhafte Zufuhr von Luftsauerstoff und Methan zu gewährleisten.
- Hohes Wasserhaltevermögen
- Gute und dauerhafte Nährstoffversorgung

Die Auswahl eines geeigneten Trägersubstrates ist bei der Herstellung einer optimierten Oberflächenabdeckung zur Methanoxidation in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung. Zum einen wirkt das Trägersubstrat als Siedlungsfläche für die Bakterien. Zum anderen ist die Bereitstellung und Nachlieferung von ausreichend Nährstoffen für das Wachstum der Bakterien eine essentielle Voraussetzung für die Funktionstüchtigkeit der methanoxidierenden Schicht. In verschiedenen Studien auch im technischen Maßstab erwiesen sich dabei gut ausgereifte Müll- oder Grünkomposte als besonders geeignete Medien (LECHNER UND HUMER, 2000). Alternativ wurden auch mit nährstoff- und humusreichen Mutterböden gute Resultate erzielt. Wenig geeignet waren hingegen Sand, bindige Böden oder humusarme Mutterböden.

Ein erhebliches Problem bisheriger Konzepte ist die Bereitstellung einer genügenden Menge an Sauerstoff. Darüber hinaus muss der Sauerstoff auch noch in einer Tiefe verfügbar sein, die auch unter Winterbedingungen eine effiziente Methanoxidation zulässt.

Eine durchgeführte Sensitivitätsanalyse belegt, dass neben der Temperatur dem Sauerstofftransport die höchste Bedeutung für die Leistungsfähigkeit der Methanoxidation zukommt. Die Effektivität des Sauerstofftransportes kann dabei über Materialeigenschaften, wie Feldkapazität, nutzbarer Feldkapazität und Luftkapazität aber auch über Einbauparameter, insbesondere die Verdichtung beeinflusst werden. Einbaudichten oberhalb von $1,6 \text{ kg/m}^3$ führen nachweislich zu erheblichen Beeinträchtigungen des Methanabbaus. Gleiches gilt für stark schluffige oder tonige Substrate. Bei Böden mit Wasserdurchlässigkeitsbeiwerten von $K_f < 10^{-7}$ kann von vornherein davon ausgegangen werden, dass trotz einer ca. 100-fach höheren Luftdurchlässigkeit kein hinreichender Sauerstofftransport mehr gewährleistet werden kann.

Neben der Sauerstoffbereitstellung ist die Optimierung des Nährstoffangebotes von besonderem Interesse. Wegen der hohen Stoffwechselaktivität der methanotrophen Bakterien werden erhebliche Mengen insbesondere an Stickstoff und Phosphor benötigt, die deutlich über die Anforderungen der Vegetation hinausgehen. Zusätzlich ist das Nährstoffangebot so zu gestalten, dass eine ausreichende Versorgung der Bakterien auch in den Folgejahren ohne zusätzliche aufwendige Düngung gewährleistet werden kann. Bei einer maximalen Methanabbauleistung von ca. $10 \text{ L/m}^2 \cdot \text{d}$ kann der Nährstoffbedarf mit ca. $1 \text{ g N/m}^2 \cdot \text{d}$ und $0,24 \text{ g P/m}^2 \cdot \text{d}$ spezifiziert werden. Daraus ergibt sich ein Bedarf allein für die ersten 30 Tage von 20 mg/kg Boden oder 300 kg/ha . Dieser sollte zunächst als verfügbarer Stickstoff angeboten werden. Der Gesamtbedarf kann mit ca. $350 \text{ g/m}^2 \cdot \text{a}$ ($3500 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$) beziffert werden.

Die optimalen Material- und Einbauparameter für eine effiziente Methanoxidation sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Methanoxidierende Oberflächenabdeckungen - Optimale Kenngrößen für Material und Einbau

Trockendichte	< 1,5kg/l
Feldkapazität	>45% (nutzbare Feldkapazität >20%).
Luftkapazität	mind. 10 Vol.%
N-Gehalte	0,1 bis 0,3 %
Humusgehalte	6,5% bis 11,5% (C:N= 12-16)

3 Erprobung optimierter Oberflächenabdeckungen zur Methanoxidation im Technikumsmodell

Mehrere nach theoretischen Überlegungen und bisherigen Felderfahrungen abgeleitete optimale Oberflächenabdeckungen wurden in einem Modellversuch erprobt. Dabei kamen 5 verschiedene Abdecksysteme zum Einsatz, deren Aufbau aus Abb. 2. zu ersehen ist.

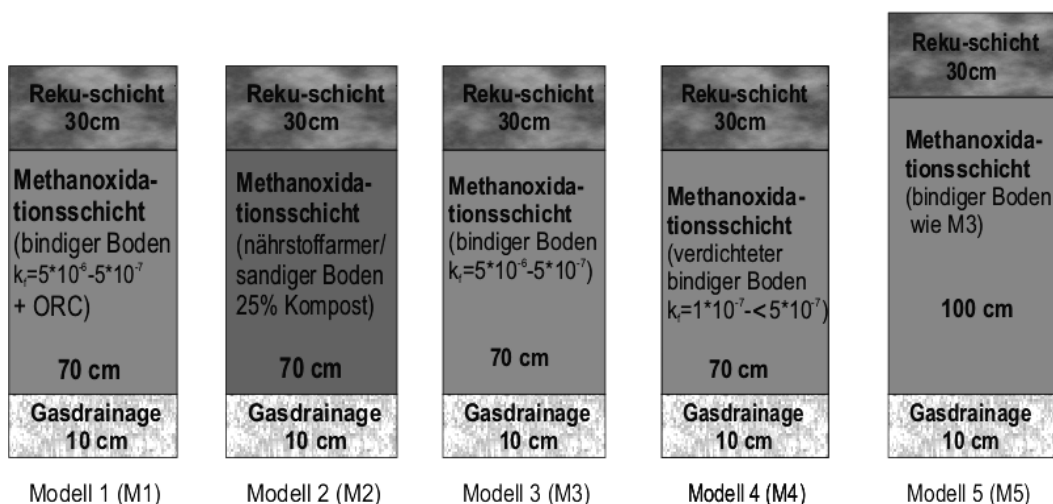


Abb. 2: Aufbau verschiedener Methanoxidationsschichten im Technikumsmodell
Die einzelnen Systeme sind wie folgt aufgebaut:

System 1

- Gasdrainage aus Ziegelsplitt (10 cm), die gleichzeitig als Aufwuchsfläche für methanotrophe Bakterien dienen kann.
- Zur Unterstützung der Sauerstoffversorgung in tieferen Bodenschichten wurde MgO_2 als Oxygen Release Compound (ORC) mit 4 kg/m^2 zugesetzt. Der ORC-Zusatz dient

dabei der zusätzlichen Sauerstoffversorgung in tieferen Bodenschichten und soll vor allem die Winterstabilität des Systems verbessern.

- 70 cm schluffiger Sandboden. Da der untersuchte Boden keinen hinreichenden Nährstoffgehalt aufwies wurde der Boden mit 4% gut ausgereiftem Kompost abgemischt.
- Rekultivierungsschicht aus 30 cm humushaltigem Mutterboden

Diese Variante spiegelt eine für den mitteldeutschen Raum häufig auftretende Situation wieder. Insbesondere im Bördegebiet werden häufig bindige sandig schluffige Böden angetroffen, die bei sonst guter Eignung lediglich ein geringes Nährstoffdefizit aufweisen.

System 2

- Gasdrainage aus Ziegelsplitt (10 cm)
- 70 cm nährstoffarmer Sandboden, der durch Zusatz von 25% ausgereiften Kompost in seiner Wasserhaltekapazität und in seinem Nährstoffgehalt aufgewertet wird
- Rekultivierungsschicht aus 30 cm humushaltigem Mutterboden

Dieses System ist in der technischen Anwendung vor allem für solche Gebiete von Interesse, wo auf Grund der natürlichen Gegebenheiten eher nährstoffarme sandige Böden mit geringer Wasserhaltekapazität verfügbar sind.

System 3

- wie System 1 jedoch ohne Verwendung von ORC

System 4

- Gasdrainage aus Ziegelsplitt (10 cm)
- 70 cm bindiger verdichteter Sandboden ($k_f 1 \cdot 10^{-7}$ bis $5 \cdot 10^{-7}$)
- Rekultivierungsschicht aus 30 cm humushaltigem Mutterboden wie

In dieser Versuchsführung sollt untersucht werden, inwieweit stark verdichtete Abdeckschichten, wie sie häufig bei aktiver Entgasung eingebaut werden noch in der Lage sind, eine hinreichend effektive Methanoxidation zu gewährleisten.

System 5

- analog System 1, jedoch mit einer erhöhten Wasserhaushalts-/Methanoxidationsschicht von 100cm und ohne Verwendung von ORC

In diesem System sollte geprüft werden, ob durch zusätzliche Erhöhung der Rekultivierungsschicht noch eine zusätzliche Steigerung der Methanoxidationskapazität erreicht werden kann.

Alle untersuchten Abdeckschichten wurden mit der gleichen Menge von jeweils 10L/m²*h eines synthetisch abgemischten Deponiegases bestehend aus 60%, 35% CO₂ und 5% N₂ beaufschlagt. Durch diese Maßnahme konnte über den gesamten Betriebszeitraum eine

konstante Anströmung von Gas mit konstanter Zusammensetzung sicher gestellt werden, als zwingende Voraussetzung für eine belastbare Bilanzierung des Methanabbaus in einem nicht vollständig gesättigten Porenraum.

Die in Abb. 3 dargestellten Resultate aus dem bisher fast einjährigen Versuchsbetrieb bestätigen die theoretischen Annahmen.

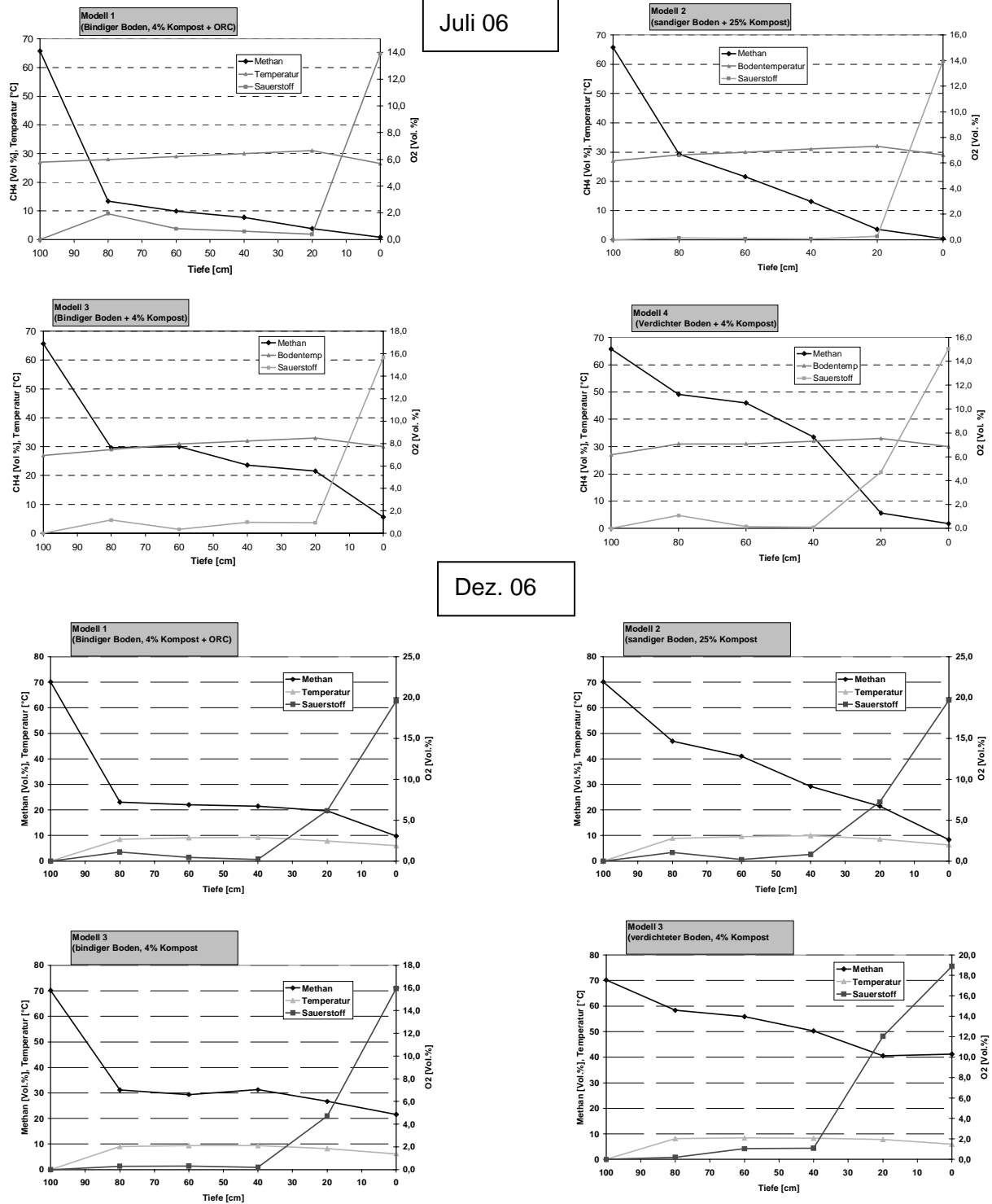


Abb.3: Vergleich der Methanabbauleitung in verschiedenen Modelloberflächenabdeckungen im Sommer- und Winterbetrieb.

Alle eingesetzten Systeme lassen im untersuchten Bereich bis zu 6l Methan/m²*h eine effiziente Methanoxidation erkennen. Die erzielten Abbauraten lagen dabei meist über 90%. Allerdings wird deutlich, dass durch Verdichtung ein effektives Eindringen von Sauerstoff in tiefere Bodenschichten erheblich behindert wird. Die Methanoxidation fand in diesem System vor allem in den oberen 30 cm der Abdeckung statt. Dies hat zur Folge, dass vor allem in den Wintermonaten eine erhebliche Reduzierung der Abbaueffizienz eintritt. In untersuchten Modell 4 ging die Abbauleistung von >80% in den Sommermonaten auf 41% im Monat Dezember zurück. Mit optimierten wenig verdichteten Systemen wurde zur gleichen Zeit noch ca. 80% des Methans oxidiert.

In den Technikumsmodellen wurde auch bestätigt, dass die bereitgestellten erhöhten Stickstoffmengen nicht zu erhöhten Auswaschungen mit dem Sickerwasser führen. Trotz eher ungünstiger Bedingungen (Starkregen unmittelbar nach Inbetriebnahme der Versuchsanlagen) lag der prognostizierte N-Verlust selbst in der ungünstigsten Variante 2 (sandiger Boden mit 25% Kompost) bei < 1g N_{anorg.}/m²*a und damit deutlich unter den Werten, die von natürlichen Böden bekannt sind.

4 Verifizierung der Resultate im Feldversuch auf der Deponie Gunsleben

Die Resultate der Modelle 1 bis 3 werden gegenwärtig in einem Feldversuch auf der Deponie Gunsleben verifiziert. Der Feldstandort wurde im Okt. 2006 in Betrieb genommen. Erste Ergebnisse von Nov. 2006 betätigen im Wesentlichen die Resultate aus dem Technikum. Gasmengen von 1-2l/m²*h wurden bereits in den tiefen Abdeckschichten fast vollständig oxidiert. Die Oberflächenabdeckung blieb unter diesen Bedingungen praktisch vollständig mit Sauerstoff angereichert, wobei die Restgehalte an Methan zwischen <1 % und 4 % lagen. Eine weitere Verringerung dieser geringen Restgehalte fand bisher nicht mehr statt. Bei höheren Deponiegasmengen wurde die Abbauleistung erwartungsgemäß von der Gasmenge und der Methanfracht beeinflusst. Dabei lagen die bisher gemessenen Abbauleistungen bei durchschnittlich > 80%. Die Felduntersuchungen dauern gegenwärtig noch an.

5 Einsatzbereiche der passiven Methanoxidation und Nachweis der Leistungsfähigkeit

Die passive Methanoxidation ist vor allem für solche Deponien geeignet, die ein Methanbildungspotential von ca. 6-8l Methan je m² *h nicht überschreiten. Dies trifft insbesondere für viele bereits ältere Deponien zu. Eine passive Methanoxidation mit Hilfe einer optimierten Oberflächenabdeckung kann aber auch dort ökonomisch und ökologisch sinnvoll sein, wo am Ende einer aktiven Gasfassung die Oxidation mittels Fackel nicht mehr effektiv zu gewährleisten ist.

Nach den bisher vorliegenden Resultaten kann mit hinreichender Sicherheit davon ausgegangen werden, dass bei einer Befrachtung von bis zu 1,5 L Methan/m²*h auch nicht optimierte Oberflächenabdeckungen oder auch die oberen aeroben Schichten des Deponiekörpers selbst geeignet sind, diese Frachten nahezu vollständig zu oxidieren. Größere Methanfrachten erfordern insbesondere für einen stabilen Winterbetrieb eine entsprechend für die Methanoxidation optimierte Oberflächenabdeckung.

In der Praxis stellen vor allem der Nachweis der Wirksamkeit einer passiven Methanoxidation bzw. die Ermittlung der tatsächlichen Methanemissionen an der Deponieoberfläche eine besondere Herausforderung dar. Alle bisher verfügbaren Verfahren beruhen auf einer indirekten Berechnung anhand von Konzentrationsmessungen. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass belastbare Aussagen über die meist stark heterogenen Emissionen an Deponieoberflächen erst durch eine hinreichende Stichpunktanzahl und eine geeignete statistische Auswertung zu erlangen sind. Allgemein anerkannt sind dabei FID-Boxenmessungen und FID-Oberflächenmessungen. Die Boxenmessung stellt auf Grund ihrer robusten technischen Anordnung eine vergleichsweise zuverlässige Methodik zur Verfügung, ist aber bei der Anzahl der statistisch notwendigen Einzelmessungen finanziell aufwendig.

Umfangreiche Messprogramme im Rahmen des F+E-Projektes Methanoxidation, die sowohl an Technikumsmodellen, wie auch an unterschiedlichen Feldstandorten durchgeführt wurden haben gezeigt, dass prinzipiell auch mittels FID-Oberflächenmessungen belastbare Resultate erzielt werden können. Auf Grund der inzwischen weitgehend übereinstimmenden gerätespezifischen Messanordnungen kann davon ausgegangen werden, dass durch die Messtechnik der Deponiegasstrom nicht oder nur unwesentlich beeinträchtigt wird. Damit kann aus den Inputwerten Konzentration (c_{FID}) und Gerätevolumenstrom (V_{FID}) nach der Berechnungsformel

$$V_{\text{CH}_4} = (c_{\text{FID}} * V_{\text{FID}}) * (1 \text{ m}^2 / A_{\text{Glocke}})$$

der Emissionsvolumenstrom an Methan (nicht Deponiegas!) berechnet werden. Nach dieser Berechnung ergibt sich für den meist verwendeten Trichterdurchmesser von $d=7\text{cm}$ ein gerätespezifischer Umrechnungsfaktor von $0,013 \text{ L Methan/m}^2\cdot\text{h}$ je 1ppm FID-Konzentration. Somit wäre für eine tolerierbare Restemission von $1,5 \text{ L Methan}$ eine durchschnittliche FID-Konzentration von 115 ppm anzusetzen. Jedoch muss dabei berücksichtigt werden, dass diese Methode infolge der geringen Messfläche wesentlich stärker durch Heterogenitäten der Emission und vor allem auch durch Umwelteinflüsse, hier insbesondere durch Luftbewegungen beeinflusst wird. Messungen an Technikumsanlagen, sowie an verschiedenen Feldstandorten haben gezeigt, dass unter Feldbedingungen bei Emissionsraten von 1 bis $2 \text{ L/m}^2\cdot\text{h}$ lediglich Wiederfindungsraten von weniger als 20% erreicht wurden. Für die Deponie Gunsleben wurde z.B. ein durchschnittlicher Korrekturwert von $5,46$ ($18,3\%$ Wiederfindung) ermittelt. Dies bedeutet, dass für eine Emission von ca. $1,5 \text{ L Methan/m}^2\cdot\text{h}$ eine FID-Konzentration von 21 ppm anzusetzen wäre. Unter Berücksichtigung der starken Streuung der Messwerte muss unter Hinzuziehung der statistischen Unsicherheit sogar eine Konzentration von 10ppm gefordert werden.

Anhand der durchgeführten Untersuchungen und dargestellten Ableitungen kann somit nach bisherigem Kenntnisstand davon ausgegangen, dass bei Unterschreitung eines durchschnittlichen FID-Oberflächenmesswertes von 10 ppm eine hinreichend wirksame Methanoxidation stattfindet und die verbleibenden Restemissionen keine Gefährdung von Mensch und Umwelt mehr darstellen.

Für andere Trichtergrößen bzw. auch für Boxenmessungen sind für die gleiche Methanemission entsprechend veränderte Konzentrationswerte anzusetzen.

6 Zusammenfassung

Konventionelle Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien haben die Funktion, das Eintreten von Sickerwasser in den Deponiekörper zu verhindern. Durch diese vollständige Einkapselung werden die biologischen Prozesse im Deponiekörper unterbunden. Damit kann auch der Austritt von Deponiegas und Sickerwasser weitgehend verhindert werden. In diesem konservierenden Abschluss besteht jedoch auch ein wesentlicher Nachteil der so genannten Regelabdichtung. Die vollständige Einkapselung verhindert, dass die im Deponiegut enthaltenen Schadstoffe biologisch abgebaut werden. Eine Beschädigung der Abdichtungssysteme kann deshalb selbst nach Jahrzehnten jederzeit zu einer Reaktivierung der Stoffumsätze und damit zu einer akuten Gefährdung von Mensch und Umwelt führen. Die Entlassung einer solchen Deponie aus der Nachsorge ist daher aus fachtechnischer Sicht auf absehbare Zeit nicht denkbar.

Im Gegensatz zur abdichtenden Konservierung des Schadstoffpotentials durch die Regelabdichtung kommt gerade für kleinere Deponien mit geringem Gefährdungspotential eine in-situ-Stabilisierung als nachhaltige Alternative in Betracht. Dabei werden die Schadstoffemissionen nicht vollständig unterbunden, sondern gezielt gesteuert um durch Nutzung der natürlichen Selbstreinigungspotentiale langfristig eine Wiedereingliederung des Deponiekörpers in den natürlichen Stoffkreislauf zu gewährleisten. Eine wesentliche Maßnahme dabei stellt die biologisch aktivierte Oberflächenabdichtung dar. Eine solche Abdichtung soll den Wassereintritt gezielt reduzieren, aber nicht vollständig unterbinden. Gleichzeitig wird ein freier Gasaustritt aus dem Deponiekörper angestrebt. Eine mit methanotrophen Bakterien biologisch aktivierte und mit Sauerstoff angereicherte Schicht sorgt in einem solchen System für die weitgehend vollständige Umwandlung des freigesetzten Methans in CO_2 . Die für die biologische Methanoxidation notwendige kontinuierliche Sauerstoffbereitstellung in einer für den Stoffumsatz geeigneten Tiefe der Abdeckung kann durch geeignete Konstruktion der Oberflächenabdeckung gewährleistet werden. Durch Auswahl geeigneter Materialien und entsprechende konstruktive Maßnahmen kann mit einer optimierten Oberflächenabdeckung auch der Wasserhaushalt des Deponiekörpers gesteuert werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, durch die Verwendung von Sauerstoff freisetzenden Verbindungen (ORC) eine Verbesserung der Sauerstoffbereitstellung in größeren Tiefen zu gewährleisten. Die ORC werden in die Abdeckung eingebracht und können den Sauerstoffbedarf mindestens für die ersten 2-3 Jahre sichern. Durch gezielte Formulierung der ORC kann die Sauerstoff bereitstellende Schicht zusätzlich so gestaltet werden, dass mit zunehmendem Verbrauch auch eine zunehmende Abdichtung des Deponiekörpers erfolgt. Damit übernimmt die ORC-Schicht in späteren Deponiephasen die Funktion einer zusätzlichen Barriere.

Das Konzept der biologisch aktivierten Oberflächenabdichtung wird seit 2006 im Rahmen eines Pilotprojektes an einem Deponiestandort in Sachsen-Anhalt erprobt. Erste Resultate belegen, dass durch geeignete Materialien und konstruktive Maßnahmen in der Tat eine effektive Methanoxidation erreicht werden kann. In Technikumsversuchen wurde belegt, dass Methanbefrachtungen bis zu $6\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ mit einem Wirkungsgrad von ca. 90% biologisch abgebaut werden. Unter Beachtung der entsprechenden Randbedingungen kann dabei dem erhöhten Nährstoffbedarf Rechnung getragen werden, ohne dass dafür ein erhöhter Nährstoffaustrag zu erwarten ist.

Ein besonderes Problem stellt der Nachweis der Wirksamkeit der methanoxidierenden Schicht dar. Nach bisher vorliegenden Erkenntnissen ist unter Berücksichtigung einer Restemission von maximal $1,5\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ für FID-Oberflächenmessungen eine durchschnittliche Maximalkonzentration von 10 ppm zu fordern.

7 Literatur

Humer, M., Lechner, P. 1997. Grundlagen der biologischen Methanoxidation. Waste Reports 5, S. 1-40

Gebert, J. Gröngröft A. 2005. Mikrobielle Methanoxidation zur Behandlung von Rest-Emissionen bei der passiven Deponieentgasung. Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, 2005 S. 213-223

Hupe, K., Heyer, K.-U., Becker, J.F., Traore, O., Koop, A., Stegmann, R. 2004. Standortangepasste Oberflächenabdichtungen zur Methanoxidation – Systeme und Funktionsweise.

Lechner, P., Humer, M. 2000. Technischer Aufbau einer Deponieabdeckung zum Zwecke der Methanoxidation. Hamburger Berichte zur Abfallwirtschaft 16, S. 285-299

Anschrift der Verfasser(innen)

PD. Dr. rer. nat. habil. Marion Martienssen

UFZ – Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

in der Helmholtzgemeinschaft

Dept. Hydrogeologie

D-06120 Halle/S.

Telefon +49 345 5585212

Email marion.martienssen@ufz.de

Website: www.ufz.de