

# **Untersuchungen und Einsatz von Rekultivierungs-/Methanoxidationsschichten auf Deponien des Landes Sachsen-Anhalt**

**PD Dr. Marion Martiensen, UFZ Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH,  
PD Dr. Albrecht Palm, SIG Umweltprojekt Stendal,  
Dipl. Ing. Wolfgang Graf, G.E.O.S. Freiberg  
Prof. Dr. Ing. Rolf Schulze, Fördergemeinschaft Kreislaufwirtschaft e.V., Magdeburg**

## **1 Einführung**

In der Vergangenheit erfolgte die Hausmüllentsorgung überwiegend durch Ablagerungen auf Deponien. In Sachsen-Anhalt entstand so eine Vielzahl von kleineren Deponien, von denen die meisten nach 1990 stillgelegt wurden. Von den verbleibenden haben die meisten gemäß den Festlegungen der DepV [1]. und der AbfAbIV [2] zum 31.05.2005 den Betrieb eingestellt. In vielen Fällen wurde dabei auch von der Möglichkeit der Anwendung alternativer Systeme zur Regelabdichtung Gebrauch gemacht.

Weil mit dem Abschluss des Deponiebetriebes die im Deponiekörper ablaufenden biologischen und chemischen Prozesse nicht zum Erliegen kommen, muss auch in der Nachsorge gewährleistet werden, dass eine Gefährdung der Allgemeinheit insbesondere durch Sickerwasser- und Deponiegasemissionen langfristig ausgeschlossen ist. Gemäß TASI soll deshalb der Abschluss der Deponie durch ein Oberflächenabdichtsystem erfolgen, welches den Stoffaustausch zwischen dem Deponiekörper und seiner Umgebung vollständig oder weitgehend verhindert. Darüber hinaus soll eine Fassung des Deponiegases und wo möglich eine Verwertung erfolgen. Dabei wird bereits jetzt nach wenigen Jahren deutlich, dass die Forderung nach einer vollständigen Abdichtung des Deponiekörpers einerseits und das Ziel einer möglichst effektiven thermischen Verwertung des Deponiegases andererseits nicht dauerhaft in Übereinstimmung gebracht werden können. Durch den vollständigen Abschluss tritt vor allem auf kleineren Deponien innerhalb kurzer Zeit eine Austrocknung des Deponiekörpers ein. Damit werden die biologischen Prozesse im Deponiekörper unterbunden mit der Folge einer erheblichen Verringerung der Deponiegasproduktion. Somit können einerseits vorhandene teure Investitionen in Anlagen zur Deponiegasnutzung nicht mit der erwarteten Effizienz betrieben werden, andererseits wird die Beseitigung des Gefährdungspotentials auf Jahrzehnte oder Jahrhunderte hinaus gezögert. Deshalb beginnen bereits jetzt einige Betreiber solcher Deponien über eine gezielte Bewässerung des Deponiekörpers nachzudenken, um die biologische Aktivität und damit die Ausbeuten an Deponiegas qualitativ und quantitativ zu verbessern. Dazu sind jedoch zusätzliche technische Maßnahmen erforderlich, die weder fachtechnisch noch ökonomisch vertretbar sind. In solchen Fällen wäre es durchaus angezeigt zu prüfen, ob durch entsprechend strukturierte Wasserhaushaltsschichten eine kontrollierte Feuchte des Deponiekörpers gewährleistet werden kann. Die Elimination der durch die nicht vollständig abgeschlossene Oberfläche entweichenden Deponiegase kann in solche Fällen durch methanotrophe Bakterien erfolgen, für die in einer optimierten Wasserhaushalts/Methanoxidationsschicht geeignete Lebensbedingungen zu schaffen sind.

Gleiches gilt für andere kleinere Deponien, wo nur geringe Gasausbeuten erzielt werden, die für eine effektive Verwertung nicht ausreichen. Auch für solche Deponien können bei Vorhandensein geeigneter klimatischer und deponietechnischer Bedingungen standortangepasste Wasserhaushaltsschichten so optimiert werden, dass diese sowohl eine hinreichende Restbefeuchtung des Deponiekörpers für den biologischen Abbau der vorhandenen organischen Substanz ermöglichen, wie auch eine hinreichend effiziente biologische Methanoxidation gewährleisten.

Damit jedoch auch bei abweichendem Aufbau der Oberflächenabdeckung langfristig ein Schutz vor austretenden Emissionen sowohl über den Wasserpfad, wie auch in die Atmosphäre sichergestellt werden kann, sind die Anforderungen an eine standortangepasste Wasserhaushalts-/Rekultivierungsschicht in Abhängigkeit von regionalen Bedingungen und Methanbildungspotential des Deponiekörpers zu definieren. Im Rahmen dieses, von Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt geförderten Projektes soll deshalb anhand von ausgewählten Modellabdecksystemen unterschiedlicher Leistungsfähigkeit deren Methanoxidationspotential quantifiziert und das dafür erforderliche Aufwand-Nutzen-Verhältnis bestimmt werden. Damit wird für den Betreiber ein Planungsinstrument erarbeitet, welches es ermöglicht, anhand vorhandener und prognostizierter Methanemissionen für definierte Zeitpunkte eine fachtechnische und ökonomische Abwägung zwischen aktiver und passiver Entgasung vorzunehmen und flexibel auf sich ändernde Methanemissionen zu reagieren.

## 2 Leistungen methanoxidierender Bakterien

Die Mechanismen der biologischen Methanoxidation sind seit vielen Jahren bekannt und intensiv untersucht. Eine umfangreiche Zusammenfassung findet sich z.B. bei HUMER UND LECHNER [3]. Im Zuge der Methanoxidation wird Methan auf mikrobiellem Wege zu  $\text{CO}_2$ , Wasser und Biomasse umgesetzt. Dieser Prozess ist obligat aerob, d.h. er verläuft unter Verbrauch von Sauerstoff.

Methanoxidierende (methanotrophe) Bakterien sind auf der Erde ubiquitär verbreitet und obligat methyloolithroph. 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. Für eine dauerhafte effektive Methanoxidation muss eine ausreichende Versorgung mit Nährstoffen, insbesondere mit verfügbarem Stickstoff und Phosphor gewährleistet werden. Der Nährstoffbedarf lässt sich dabei wie folgt abschätzen:

Die biologische Methanoxidation erreicht unter optimalen Bedingungen ca. 10L Deponiegas/m<sup>2</sup>·h. Das sind 240 L/m<sup>2</sup>·d oder 6,4 Mol  $\text{CH}_4$ /m<sup>2</sup>·d. Davon werden 20-30% als Biomasse festgelegt welche je 100g C ca. 5g N und 1g P enthält. (C:N:P=100:5:1). Dies entspricht 19,2 g C/m<sup>2</sup>·d, 1 g N/m<sup>2</sup>·d und 0,24 g P/m<sup>2</sup>·d. Daraus ergibt sich für die ersten 30d, in der eine intensive Biomassebildung abläuft, ein Bedarf von ca. 30g N/m<sup>2</sup> (=20 mg/kg oder 300 kg/ha). Dieser sollte leicht verfügbar sein, um eine schnelle Biomasseentwicklung nicht zu behindern. In der Folgezeit kann auch N genutzt werden, welcher während der ersten Wachstumsperiode in Biomasse inkorporiert und durch Absterben freigesetzt wird. Gleichzeitig erfolgt eine Langzeitversorgung durch den Abbau von organisch gebundenem Stickstoff z.B. aus gebildeter Humussubstanz oder absterbender Biomasse. Insgesamt kann der Mindeststickstoffbedarf für die Methanoxidation mit ca. 350 g/m<sup>2</sup>·a (3500 kg/ha·a) abgeschätzt werden.

Zusätzlich werden für die Begrünung zwischen 50 und 300 kg je ha benötigt (Düngeempfehlungen der Land- und Forstwirtschaft), wobei ein Teil des eingebrachten Stickstoffes auch durch Freisetzung an die Atmosphäre verloren geht.

Natürliche lösshaltige Böden im mitteldeutschen Raum enthalten meist nur zwischen 100 und 500 mg/kg von denen jedoch nur 5-10 mg/kg (80-150 kg/ha) löslich und damit sofort verfügbar sind. Das offensichtliche Defizit muss durch den Zusatz organischer humusreicher Substanz ausgeglichen werden. Als gut geeignet haben sich dafür in zahlreichen Untersuchungen gut ausgereifte Komposte (Rottegrad mind. IV bis V) gezeigt.

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 [3].

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. Thermotolerante Stämme können ihr Wachstum bis zu 55°C aufrechterhalten. Für den Einsatz im Umweltbereich von größerem Interesse sind jedoch eher psychrophile Arten, 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 Erwärmung 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.

Methanotrophe Bakterien sind obligat aerob. Bei der Umsetzung von Methan werden je Mol Methan 2 Mol Sauerstoff benötigt. Eine optimale Gasphasenzusammensetzung zeichnet sich demzufolge durch ein Methan-Sauerstoff-Verhältnis von 1:2 aus. Jedoch können viele Bakterien auch noch unter mikroaerophilen Bedingungen eine gute Methanoxidation realisieren. Auch wird durch Biomasseproduktion der Sauerstoffbedarf vermindert.

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

### 3 Ableitung von Anforderungen an Wasserhaushaltsschichten für die Methanoxidation

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, was mit Abdeckungen aus bindigen, schluffigen Böden geringer Durchlässigkeit nicht gewährleistet werden kann. Die biologisch aktive Schicht, in der Sauerstoff und Methan in stöchiometrischen Verhältnissen für einen vollständigen Umsatz verfügbar sind, muss darüber hinaus 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.

Für das Gesamtkonzept einer methanotrophen Oberflächenabdichtung lassen sich folgende Anforderungen ableiten:

- Gewährleistung eines möglichst ungestörten Gasdurchtrittes aus dem Deponiekörper in die biologisch aktivierte Schicht.
- Sicherung einer hinreichenden Sauerstoffversorgung.
- Gewährleistung eines kontrollierten Wasserhaushaltes sowohl im Deponiekörper, wie auch in der mikrobiell wirksamen Abdeckung.
- Gewährleistung einer hinreichenden Temperaturkonstanz in der mikrobiologisch aktiven Zone.
- Gewährleistung einer ausreichenden Nährstoffversorgung für die methanotrophen Bakterien.

Die Auswahl eines geeigneten Substrates ist bei der Herstellung einer Oberflächenabdichtung mit aktiver Methanoxidation in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung. Zum einen wirkt das Trägersubstrat als Siedlungsfläche für die Bakterien. Zum anderen muss durch die Aufrechterhaltung einer geeigneten Porenstruktur und Wasserhaltung ein effektiver Gasaustausch mit der Atmosphäre gewährleistet werden. Wie Abb. 1. verdeutlicht, sind dabei das Wasseraufnahmevermögen und die Verdichtung des Bodens als wesentliche Qualitätsparameter anzusehen.

Eine gewisse Restdurchlässigkeit für eintretendes Oberflächenwasser soll verhindern, dass der Deponiekörper vollständig austrocknet. Angestrebt wird dabei für den mitteldeutschen Raum eine Restdurchlässigkeit der gesamten Abdeckung zwischen 10 und 20 % (70-100 mm/a Versickerung). Geringere Versickerungen sind nicht wünschenswert, weil dadurch der biologische Abbauprozess im Deponiekörper behindert wird oder gar zum Erliegen kommt. Dies würde jedoch bedeuten, dass dann zu späteren Zeitpunkten mit unkontrollierten neuen Gas- und Sickerwasseremissionen gerechnet werden muss.

Zusätzlich ist auch die Bereitstellung und Nachlieferung von ausreichend Nährstoffen für das Wachstum der Bakterien und damit für die Funktionstüchtigkeit der jeweiligen Methanoxidationsschichten essentiell.

Aus den dargestellten Anforderungen und aus bisherigen Feldversuchen lassen bereits Erfahrungen hinsichtlich der Struktur leistungsfähiger Oberflächenabdeckungen ableiten:

- großes Luftporenvolumen (auch bei hohen Wassergehalten, Luftkapazität mind. 10 Vol.%) und langfristige Strukturstabilität, um eine dauerhafte Zufuhr von Luftsauerstoff und Methan zu gewährleisten.

- Hohes Wasserhaltevermögen. Angestrebt werden dabei eine Feldkapazität von >45% bei einer nutzbaren Feldkapazität >20%.
- Gute und dauerhafte Nährstoffversorgung in Abhängigkeit von der erreichbaren Methanoxidationskapazität (vgl. Abschn. 2). Bei angestrebten Abbauleistungen von bis zu 10 l Deponiegas/m<sup>3</sup>·h sind N-Gehalte von 0,1 bis 0,3 % erforderlich. Dabei sollte durch ausreichend hohe Humusgehalte zwischen 6,5% und 11,5% (C:N= 12-16) gewährleistet werden, dass die Verluste an Stickstoff durch Auswaschung minimiert werden.
- Geringe Verdichtung (Trockendichte < 1,5kg/m<sup>3</sup>).

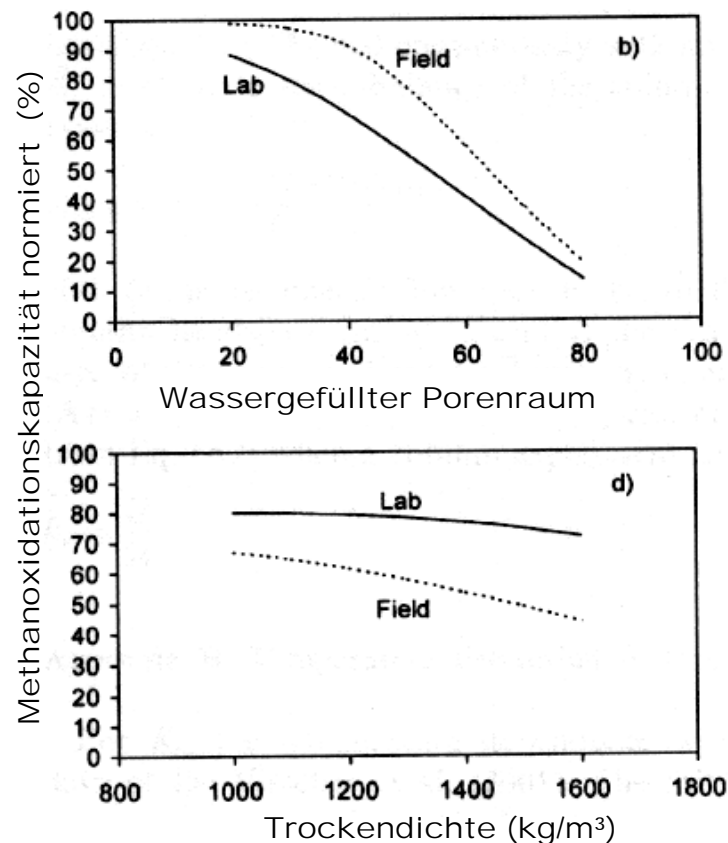


Abb. 1: Abhängigkeit der Methanoxidationsleistung von der Bodenstruktur (nach [4])

Diesen Anforderungen kann langfristig nur durch das Zusammenwirken von technischen und technologischen Maßnahmen entsprochen werden. Weil geeignete Böden mit den erforderlichen Qualitätsparametern meist nicht zur Verfügung stehen, kann eine qualitative Aufwertung der verfügbaren Materialien z.B. mit gut ausgereiften Komposten erreicht werden. Der Einsatz von Klärschlamm zur Verbesserung des C- und N-Angebotes ist hingegen eher kontraproduktiv, weil die darin enthaltene Biomasse selbst abgebaut wird und dabei große Mengen an Sauerstoff verbraucht. Dies verhindert nicht nur eine effektive Methanoxidation sondern es entstehen auch toxische Abbauprodukte wie Amine, Mercaptane und H<sub>2</sub>S. Zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Verteilung des austretenden Deponiegases ist eine effektive Gasdrainage erforderlich. Zur Verbesserung der Sauerstoffbereitstellung kann eine ORC-Schicht auf der Oberfläche der Gasdrainage angeordnet werden, welche die Mikroorganismen mit Sauerstoff versorgt und die Anordnung des Methan oxidierenden Horizontes in hinreichender Bodentiefe ermöglicht. Durch die

Gestaltung der Vegetationsschicht wird zusätzlich auf den Wasserhaushalt und damit auf die Sauerstoffversorgung Einfluss genommen. Erst durch das Zusammenwirken einer mehrstöckigen Vegetation mit den technischen Maßnahmen in der Abdichtung selbst kann auch langfristig eine Regulation des Wasserhaushaltes von Abdeckung und Deponiekörper gewährleistet werden.

#### **4 Kleintechnische Modellversuche zur Charakterisierung der Methanoxidationsleistung unterschiedlich strukturierter Oberflächenabdeckungen.**

In kleintechnischen Modellversuchen werden gegenwärtig 5 unterschiedliche Szenarien für potentielle Methanoxidationsschichten hinsichtlich ihrer Methanoxidationskapazität und der entsprechenden Stoffstromcharakteristik untersucht.

Eine entsprechende Versuchsanordnung mit 5 unterschiedlichen Versuchskammern wurde konstruiert und am Standort Leuna installiert. Als Basis für die Berechnung des Wasserrückhaltevermögens der einzelnen Abdecksysteme werden am Standort die Niederschlagsmengen erfasst.

Die Untersuchungen dienen der Vorbereitung und Unterstützung von Feldversuchen und ermöglichen eine exaktere Quantifizierung der einzelnen Prozessparameter. Ziel dieser Untersuchungen ist eine Ermittlung der erwarteten Abbauleistungen für Methan, sowie der tatsächlichen Wasserhaltung und Auswaschung in den einzelnen Systemen.

Anhand bisheriger Labordaten wurden zunächst 3 Oberflächenabdecksysteme konzipiert, welche auch in Versuchfeldern am Standort Deponie Gunsleben zum Einsatz kommen sollen (vgl. Abschn. 5). Die Auswahl erfolgte so, dass die einzelnen Systeme modular ineinander übergeführt werden können. Zusätzlich wurden zwei weitere Anordnungen in die Untersuchungen einbezogen, die an verschiedenen Standorten von technischem Interesse sein können. Daraus ergeben sich die folgenden 5 Szenarien:

**System 1:** 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. Im Technikum wird zunächst mit natürlichen Bakterien, sowie bei Bedarf mit gezielt ausgewählten Spezialisten gearbeitet. Im System 1 wird folgender Aufbau verwendet:

- Gasdrainage aus Ziegelsplitt (10 cm, Qualität wie in Abschnitt 4 bzw. Anhang 1 beschrieben), die gleichzeitig als Aufwuchsfläche für methanotrophe Bakterien dienen kann.
- 70cm schluffiger Sandboden. Eingesetzt wird Boden der Bodenklasse I gem. Abschn. 4. Da der untersuchte Boden keinen hinreichenden Nährstoffgehalt erwarten lässt, wird der Boden mit 4% gut ausgereiftem Kompost abgemischt.
- Rekultivierungsschicht aus 30 cm humushaltigem Mutterboden.

**System 2:** wie 1 mit ORC (5kg/m<sup>2</sup>) zur Unterstützung der Sauerstoffversorgung in tieferen Bodenschichten. Die Mg-Peroxidformulierung wird auf die Oberfläche der Gasdränschicht aufgebracht und soll eine verbesserte Sauerstoffbereitstellung in tieferen Bodenschichten sicherstellen. Damit wird eine verbesserte Methanoxidation vor allem im Winterbetrieb erreicht.

System 3: wie 1, jedoch unter Verwendung eines nährstoffarmen Sandbodens der durch Zusatz von 25% Biokompost in seiner Wasserhaltekapazität und in seinem Nährstoffgehalt aufgewertet wird. 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 4: wie 1, jedoch mit einer Wasserhaushalts/Methanoxidationsschicht von 70cm bindigem verdichtetem Boden ( $k_f 1 \cdot 10^{-7}$  bis  $5 \cdot 10^{-7}$ ). In dieser Versuchsführung soll 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. In diesem Versuchsansatz besteht auch die Möglichkeit zu untersuchen, ob und in welchem Maße durch z.B. Einarbeiten organischer Substanz, die Methanoxidationsleistung auch in solchen Materialien noch nachträglich verbessert werden kann.

System 5: wie 1, jedoch mit einer erhöhten Mächtigkeit der Wasserhaushalts-/Methanoxidationsschicht von 100 cm. Ziel dieser Versuchsanstellung ist es zu prüfen, ob durch Vergrößerung der Mächtigkeit eine Verbesserung der Methanoxidationsleistung zu erzielen ist.

Für die Bestimmung des Methanoxidationspotentials wird das Modell mit einem synthetischen Gasmisch betrieben, welches je nach Bedarf aus Methan,  $\text{CO}_2$  und  $\text{N}_2$  abgemischt werden kann.

Für die Bilanzierung der Methanoxidation werden folgende Parameter bestimmt.

- Stoffumsätze: Sauerstoffzehrung, Methanumsatzleistungen, Nitrifikationsrate. Dazu werden die Parameter Sauerstoff, Methan,  $\text{CO}_2$  und  $\text{N}_2\text{O}$ , sowie Nges., Ammonium, Nitrat und Nitrit an mindestens 5 Punkten in vertikaler Anordnung gemessen. Dabei wird das Angebot an Methan variiert. Aus den Resultaten kann die jeweilige Abbauleistung für Methan in unterschiedlichen Tiefen der Abdeckung bilanziert werden.
- Auswaschungen und Stoff-Freisetzungen: pH-Wert, Salzfrachten für Anionen und Kationen, Ammonium, Nitrat, Nitrit, Phosphat.
- Potentielle und tatsächliche Aktivitäten methanotropher Bakterien in verschiedenen Schichten der Abdeckung. Dazu werden an 4 Stichtagen Proben entnommen und die entsprechenden Abbauleistungen im Respirometer untersucht.
- Wasserhaltung und Sickerwasseranfall.
- Ermittlung der Änderungen in der Durchlässigkeit der Abdeckungen. Die Änderungen von Durchlässigkeit und Sickerwasserbildung geben u.a. Aufschluss über mögliche Prozesse der biologischen Verblockung des Porensystems (z.B. durch Schleime). Als weitere Ursachen für solche Änderungen kommen auch Strukturänderungen der verwendeten Materialien selbst in Betracht. Im Bedarfsfall wird bei erheblichen Änderungen der Durchlässigkeit eine detaillierte Untersuchung der Ursachen (Bestimmung von Porosität, Oberflächenladung, Biomassegehalt und Schleimgehalt) durchgeführt.

## 5 Verifizierung der Ergebnisse im Feldversuch

Die Ergebnisse aus den Technikumsversuchen werden in einem Feldversuch verifiziert. Dazu werden 3 Versuchsfelder von je 20 x 20 m errichtet. Die Anlage und Untersuchungen der geplanten Versuchsfelder sollen hinsichtlich der Zielstellung des F/ E – Vorhabens dazu beitragen, einen bilanziell abgesicherten und übertragbaren Nachweis des Methanabbaus in alternativen biologisch aktivierten Oberflächenabdichtungen/-abdeckungen zu führen. Im Vergleich mit Untersuchungen an bereits stillgelegten Deponien sollen die gewonnenen Ergebnisse aus der Versuchsanlage den Kenntnisstand von temporären und endgültigen Oberflächenabdichtungen hinsichtlich ihrer Methanoxidation insbesondere unter den Bedingungen Sachsen-Anhalts erweitern, um eine Ausarbeitung von allgemeingültigen Hinweisen und eine den praktischen Belangen entsprechende Nachweismethodik zu ermöglichen.

Dabei steht die Optimierung des Schichtenaufbaus im Vordergrund, so dass eine nahezu ganzjährige Methanoxidation in der Oberflächenabdichtung/-abdeckung erfolgen kann. Aus diesem Grund werden in der Versuchsfeldanlage auf Basis bodenkundlicher und biologischer Kriterien Systeme mit unterschiedlichem Schichtenaufbau untersucht. Die zu untersuchenden Systeme sollen nach aktuellem Planungsstand den Systemen 1 bis 3 aus den Technikumsversuchen entsprechen.

## 6 Zusammenfassung

Verfahren zur biologischen Methanoxidation in einer Oberflächenabdeckung mit passiver Entgasung und Wasserhaushalts/Methanoxidationsschicht können unter verschiedenen verfahrenstechnischen Voraussetzungen zum Einsatz kommen:

1. Auf Deponien, auf denen die entstehenden Deponiegasmengen nicht ausreichen, um eine effektive Verwertung zu ermöglichen.
2. Auf Deponien, wo durch hinreichende Befeuchtung des Deponiekörpers eine Austrocknung des Deponiekörpers vermieden werden soll, um eine effektive Gasausbeute über längere Zeiträume zu gewährleisten. In diesem Fall wird durch den Einsatz einer nicht vollständig abschließenden Deckschicht eine ökonomisch sinnvollere Ausnutzung vorhandener Anlagen zur Deponiegasnutzung erreicht. Gleichzeitig erfolgt eine Verkürzung der Nachsorgezeiträume durch schnellere Stoffumsätze im Deponiekörper.
3. Zum Ende der produktiven Phase werden die Gasausbeuten so gering, dass eine effektive Verwertung technisch nicht mehr realisiert werden kann. Durch den Einsatz der mikrobiellen Methanoxidation kann unter solchen Bedingungen auf eine weitere aktive Entgasung verzichtet werden

Die passive Entgasung über eine Wasserhaushalts/Methanoxidationsschicht nutzt eine mit methanotrophen Bakterien biologisch aktivierte und mit Sauerstoff angereicherte Schicht, die für eine weitgehend vollständige Umwandlung des freigesetzten Methans in CO<sub>2</sub> und Wasser sorgt. Dazu muss jedoch die Struktur der Wasserhaushaltsschicht hinsichtlich Wasserhaltung, Porosität und Gaspermeabilität qualifiziert werden. Die



kontinuierliche Sauerstoffbereitstellung in einer für den Stoffumsatz geeigneten Tiefe der Abdeckung kann zusätzlich u.a. durch die Verwendung Sauerstoff freisetzender Verbindungen (ORC) unterstützt werden.

## **7 Danksagung**

Das Projekt wird mit Mitteln des Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt gefördert (FKZ: 76213/04/05-2). Wir danken dem Landesamt für Umweltschutz und dem Landesverwaltungsamt Sachsen-Anhalt für die gute und fachkompetente Zusammenarbeit.

## **8 Zitierte Literatur**

- [1] Verordnung über Deponien und Langzeitlager und zur Änderung der Abfallablagerungsverordnung (Deponieverordnung), 2002
- [2] Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen (Abfallablagerungsverordnung), 2001
- [3] Humer, M., Lechner, P., Grundlagen der biologischen Methanoxidation. Waste Reports 1997 (5), S. 1-40
- [4] De Visscher, A. and O. Van Cleemput. Simulation model for gas diffusion and methane oxidation in landfill cover soils. Waste Management 23, 2003 S. 581-591.