

Technischer Leitfaden

**Evapotranspirationsschichten zur
Sicherung/Sanierung von Altablagerungen**

erstellt im Forschungsprojekt
INTERLAND

April 2006

Technischer Leitfaden

Evapotranspirationsschichten zur Sicherung/Sanierung von Altablagerungen

Autoren: Bernhard Wimmer¹, Thomas Reichenauer¹



¹Abteilung Umweltforschung, ARC Seibersdorf research GmbH,
A-2444-Seibersdorf, Österreich

Gefördert aus Mitteln des
Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
Förderungsmanagement by Kommunalkredit Public Consulting GmbH



lebensministerium.at



Vorwort

Der hier vorliegende Leitfaden wurde neben weiteren Leitfäden im Zuge des Projektes INTERLAND (INnovative TEchnologies for Remediation of LANDfills and Contaminated Soils; <http://interland.arcs.ac.at>) erstellt. Ziel dieses Projektes war es, in situ Methoden für die Sanierung von Altlasten und kontaminierten Standorten weiterzuentwickeln und die wissenschaftlichen Grundlagen zu erarbeiten, die eine fundierte Anwendung der Methoden in der Praxis ermöglichen. Die nach derzeitigem Kenntnisstand mögliche praktische Anwendung der Ergebnisse des Forschungsprojektes wird in den vorliegenden Leitfäden dargestellt. Damit soll ein Beitrag zur Etablierung der Methoden als „Stand der Technik“ geleistet werden. Die Leitfäden richten sich daher vor allem als Entscheidungshilfe an Amtssachverständige und Planer, ob eine bestimmte Methode für einen aktuellen Sanierungsfall prinzipiell geeignet ist und inwieweit sie dem Stand der Technik entspricht. Diese Information wird vor allem in den Kapiteln „Einsatzbereiche und Einsatzrandbedingungen (ERB)“ sowie „Vorversuche“ gegeben. Darüber hinaus gibt der Leitfaden Informationen zu den Qualitätsanforderungen an die jeweilige Methode in den Kapiteln „Qualitätssicherung des Verfahrens“ und „Monitoring“. Schlussendlich werden als Entscheidungshilfe Informationen zur „Erreichbaren Restkontamination“, zu den „Kosten“ und zu „Nutzung/Nachnutzung“ gegeben.

Der Inhalt gibt ausschließlich die fachliche Meinung der Autoren wieder. Eine allgemeine technische oder rechtliche Gültigkeit oder ein diesbezüglicher Meinungsstand des Förderungsgebers kann daraus nicht abgeleitet werden.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	8
2	ALLGEMEINE GRUNDLAGEN	8
2.1	Wissenschaftlich/technische Grundlagen	8
2.2	Legistische und normative Grundlagen	9
3	EINSATZBEREICHE UND EINSATZRANDBEDINGUNGEN (ERB)	9
3.1	Allgemeines	9
3.2	Abschätzung von Emissionen aus einer Altablagerung.....	11
3.2.1	<i>Abschätzung der Schadstofffrachten im Sickerwasser</i>	11
3.2.2	<i>Abschätzung von Methanemissionen</i>	12
4	ERFORDERLICHE VORERHEBUNGEN UND EMPFOHLENE VERSUCHE ALS ENTSCHEIDUNGSGRUNDLAGE FÜR DIE ANWENDUNG DES VERFAHRENS	13
4.1	Vorversuche	13
4.1.1	<i>Wasserspeicherfähigkeit des Bodens bzw. Substrats</i>	13
4.1.2	<i>Bestimmung der Wasserleitfähigkeit im wassergesättigtem Zustand (Durchlässigkeitsbeiwert)</i>	14
4.1.3	<i>Fähigkeit zur Methanoxidation</i>	14
4.1.4	<i>Ermittlung allgemeiner Bodencharakteristika</i>	14
4.1.5	<i>Analyse auf toxische Substanzen:</i>	14
4.2	Qualitätssicherung der Vorversuche	14
4.3	Versuchsdauer	15
4.4	Interpretation der Vorversuche.....	15
4.5	Kosten	15
5	ERREICHBARE EMISSIONSMINDERUNG (RESTKONTAMINATION)	15
5.1	Sickerwasserminderung.....	15
5.2	Minderung der Schadstofffracht	16
5.3	Verminderung der Methanemissionen	16
6	QUALITÄTSSICHERUNG DES VERFAHRENS UND MONITORING	16
7	ZEITRAHMEN	17
8	KOSTEN (INVESTITIONEN, BETRIEBSMITTEL)	17
9	VERFAHRENSBESCHREIBUNG	17
9.1	Aufbau der Evapotranspirationsschicht	17
9.2	Allgemeine Qualitätsansprüche an die einzusetzenden Böden/Substrate:	17
9.2.1	<i>Oberboden:</i>	18
9.2.2	<i>Unterboden:</i>	18
9.3	Wasserspeicherfähigkeit	18
9.4	Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht und der Drainageschicht.....	19
9.5	Aufbringung des Substrates	19
9.6	Art der Vegetation:	19
9.7	Zusatzkriterien für Methanoxidationsschichten	20

10	ENTWICKLUNGSSTAND, BEISPIELE FÜR ERFOLGREICHEN EINSATZ	20
11	VOR- UND NACHTEILE	22
12	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	23
13	LITERATUR	23

1 EINLEITUNG

Die Sanierung von Altablagerungen hat das Ziel, die Gefährdung von Mensch und Umwelt durch die Emission von Schadstoffen zu minimieren. Hierzu stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung (z.B.: Räumung, Aufbringung einer Oberflächenabdeckung, Umschließung, Inertisierung), deren sinnvoller Einsatz je nach Standort abzuwägen ist.

Dieser Leitfaden beschreibt eine Methode, die es ermöglicht, das Gefährdungspotenzial einer Altablagerung unter kontrollierten Bedingungen mittel- bis langfristig zu reduzieren. Hierbei handelt es sich um das Aufbringen einer Evapotranspirationsschicht zur Minimierung von Sickerwasser- und Gasemissionen. In einem weiteren Leitfaden wird erläutert, wie durch Aerobisierung des Abfallkörpers der Abbau der organischen Substanz in der Altablagerung beschleunigt wird (siehe Leitfaden „In-Situ Verfahren zur Sicherung/Sanierung von Altablagerungen“). Diese Methoden können nicht nur in der Sanierung von Altablagerungen angewendet werden, sondern sie sind prinzipiell auch im Rahmen der Deponieverordnung (bei Deponien nach Stand der Technik) einsetzbar.

2 ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

2.1 Wissenschaftlich/technische Grundlagen

Eine Evapotranspiration unterscheidet sich insofern von einer „dichten“ Oberflächenabdeckung (mit mineralischer Dichtschicht und Kunststoffdichtungsbahn), als bei letzterer das Ziel ist, ein Eindringen von Niederschlagswasser möglichst vollständig zu verhindern und somit auch die Neubildung von kontaminiertem Sickerwasser sowie von Deponiegas vollkommen auszuschließen. Dabei kann es in Abhängigkeit vom Alter der Altablagerung zu einer Konservierung des Gefährdungspotenzials in der Altablagerung kommen, wenn die organische Substanz nicht ausreichend Feuchtigkeit enthält bzw. wenn kein Wasser nachgeliefert wird.

Eine Evapotranspirationsschicht (auch: Wasserhaushaltsschicht) erlaubt dagegen einen gewissen Austausch des Deponiekörpers mit der Umwelt wobei der Großteil des Niederschlagswassers durch Verdunstung des Bodens (Evaporation) bzw. durch Verdunstung über die Pflanzen nach Aufnahme über die Wurzeln (Transpiration) wieder abgegeben wird.

Der Zutritt von Niederschlagswasser in den Deponiekörper ist allerdings möglich. Dadurch kann es einerseits zu einer Auswaschung von Stoffen (Salze, Stickstoff, etc) kommen und außerdem wird dadurch in einem gewissen Umfang der Abbau der im Abfall vorhandenen organischen Substanz ermöglicht. Das dabei entstehende Methan kann im Idealfall in der Abdeckschicht durch Methan oxidierende Bakterien zu Wasser und Kohlenstoffdioxid oxidiert werden. Somit wird über einen längeren Zeitraum das in der Altablagerung vorhandene Gefährdungspotenzial vermindert (Luckner und Schinke, 2001).

Dazu kommt, dass eine Evapotranspirationsschicht auch über längere Zeiträume weitgehend wartungsfrei funktioniert. Es ist sogar mit der Zeit eine Zunahme der Funktionalität zu erwarten, da durch das Wachstum der Pflanzen die Evapotranspiration steigt und durch ein Eindringen von Wurzeln in den Abfall der aerobe Abbau von organischer Substanz zumindest in den obersten Schichten gefördert wird.

2.2 Legistische und normative Grundlagen

Die Deponieverordnung (DVO) definiert den Aufbau von Deponieoberflächenabdeckungen (Ausgleichsschicht, Gasdrainschicht, Oberflächendichtung, Oberflächenentwässerung, Rekultivierungsschicht) und legt den Stand der Technik für die Oberflächendichtung von Baurestmassendeponien (mineralische Dichtungsschicht von mindestens 40 cm Mächtigkeit) und Reststoff/Baurestmassendeponien (Kombinationsdichtung: mineralische Dichtungsschicht von mindestens 50 cm sowie Kunststoffdichtungsbahn von mindestens 2,5 mm Stärke) dar. Bezüglich der Wahl der Oberflächendichtung lässt die DVO einen Spielraum: *„Art, Aufbau und Zeitpunkt der Herstellung der Oberflächendichtung sind insbesondere in Abhängigkeit von Deponietyp- und form sowie der abgelagerten Abfälle und der meteorologischen Verhältnisse im Einzelfall festzulegen. Abweichungen zum Regelaufbau gemäß lit. b und c. oder die Ausführung alternativer Dichtungssysteme, insbesondere im Bereich von Böschungen, sind zulässig“*.

Die Rekultivierungsschicht ist laut DVO mit einer Mindestschichtstärke von 50 cm herzustellen und muss einen ausreichenden Schutz der Oberflächendichtung und -entwässerung vor Wurzel- und Frosteinwirkung gewährleisten. Die Vegetation muss die Oberflächenabdeckung vor Erosion schützen. Weitere Eigenschaften der Rekultivierungsschicht sind in der DVO derzeit nicht näher definiert.

Hinweise zum Aufbau einer Rekultivierungsschicht gibt auch das Altlastensanierungsgesetz (AISAG). Dort sind in § 3 (3) und Anlage 1 die Voraussetzungen definiert unter der eine Rekultivierungsschicht vom AISAG befreit ist. Für die Aufbringung einer Rekultivierungsschicht wird das Vorhandensein eines Planes gefordert. Außerdem gibt es Hinweise, zu Aufbau und Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht, sowie zu den Qualitätskriterien des aufzubringenden Substrates. Diese Angaben können als absolute Minimalanforderungen für die Aufbringung einer „Evapotranspirationsschicht“ betrachtet werden, die allerdings im Einzelfall möglicherweise nicht ausreichend sind.

Als Grundlage für die Gefährdungsabschätzung einer Altablagerung ist die ÖNORMen Reihe S 2088-1 bis S 2088-3 heranzuziehen.

3 EINSATZBEREICHE UND EINSATZRANDBEDINGUNGEN (ERB)

3.1 Allgemeines

Die Aufbringung einer „Evapotranspirationsschicht“ zur Sicherung/Sanierung einer Altablagerung erscheint dann sinnvoll, wenn damit mittelfristig die **aktuellen Emissionen** (Sickerwasser, Deponiegas) vermindert werden können und langfristig das **Gefährdungspotenzial**, das von der Altablagerung ausgeht, verringert werden kann. Besteht eine akute Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit bzw. der Umwelt, die unmittelbaren Handlungsbedarf erfordert, so kann die „Evapotranspirationsschicht“ nur eine mittel- bis langfristige zusätzliche Maßnahme darstellen. Die Anwendung „Evapotranspirationsschicht“ ist somit auf eine langfristige Wirkung hin ausgerichtet und nicht auf die rasche Behebung akuter Probleme.

Der Einsatz einer Evapotranspirationsschicht ohne zusätzliche Oberflächenabdichtung ist vor allem dann sinnvoll, wenn eine Mumifizierung der Altablagerung vermieden werden soll und die dabei anfallende, unvermeidliche Restmenge an Sickerwasser aus der Altablagerung die Qualität des Aquifers unterhalb der Altablagerung nicht wesentlich vermindert.

Folgende Kriterien für die Beurteilung werden vorgeschlagen, um zu entscheiden, ob eine Evapotranspirationsschicht für die Sicherung der Altablagerung eingesetzt werden kann:

- Eine Emission von Schadstoffen aus einer Altablagerung ins Grundwasser gilt dann als akzeptabel, wenn nach 60-tägigem Durchfließen des Grundwassers abstromig von der Altablagerung (60 – Tage Zone) die Differenzschwellenwerte (Vergleich zu Grundwasser aus dem Anstrom der Altablagerung) und die Maßnahmen-Schwellenwerte gemäß ÖNORM S 2088-1 eingehalten werden und keine akute Gefährdung eines Schutzgutes vorliegt (Berechnung der 60 – Tage Zone und Planungsgrundlagen hierzu, siehe: Richtlinie W 72: Schutz und Schongebiete der Österreichischen Vereinigung für das Gas- und Wasserfach, Feb. 2004).
- Für die Parameter CSB und BSB₅ gelten die in Tabelle 1 angeführten Differenz- und Schwellenwerte nach der 60-Tage Zone.

Tabelle 1: Differenz- und Maßnahmenschwellenwerte von CSB und BSB₅ zur Beurteilung der Grundwasserqualität in Ergänzung zur ÖNORM 2088-1

Parameter	Einheit	Mindestbestimmungs- grenze	Differenzschwelle		Maßnahmen- schwellenwert
			A ¹⁾	B ²⁾	
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB ₅)	mg O ₂ l ⁻¹	3	100 %	50 %	15
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	mg O ₂ l ⁻¹	15	100 %	50 %	30

¹⁾ Werte kleiner als das Fünffache der Mindestbestimmungsgrenze

²⁾ Werte größer als das Fünffache der Mindestbestimmungsgrenze

Ob diese Kriterien durch den Einsatz einer Evaporationsschicht erreicht werden können, ist an Hand der Sickerwasserzusammensetzung (oder aus der Schätzung der zu erwartenden Schadstofffrachten) sowie der hydrogeologischen Bedingungen zu beurteilen (siehe Kap. 3.2)

Bei Auftreten folgender Kriterien ist eine Sicherung einer Altablagerung mit Hilfe einer Evapotranspirationsschicht ohne Durchführung von zusätzlichen Maßnahmen auszuschließen:

- Akute Bedrohung einer Trinkwassergewinnungsanlage durch das Sickerwasser der Altablagerung.
- Wenn sich durch die Berechnung der Schadstofffracht aus der Altablagerung auf eine nicht akzeptable Belastung des obersten Grundwasserleiters durch die Sickerwässer schließen lässt (siehe dazu nachfolgendes Unterkapitel Abschätzung der Schadstofffracht aus einer Altablagerung). Nicht akzeptabel wäre z.B. der Eintrag von nicht abbaubaren, stark adsorbierenden Schadstoffen, welche langfristig im Aquifer verbleiben und dessen geogenen Grundgehalt an diesen Schadstoffen um ein Vielfaches anheben.
- Austritt hoher Methanmengen aus der Altablagerung (mehr als 5 kg Methan m⁻² Jahr⁻¹), die auch durch den Einsatz einer optimalen Evapotranspirationsschicht nicht auf ein akzeptables Maß reduziert werden können.
- Geotechnische Kriterien (Hanglage, Gefahr von Rutschungen) machen den Einsatz einer adäquat dimensionierten Evapotranspirationsschicht unmöglich.

Das nachfolgende Flussdiagramm gibt eine Entscheidungshilfe, ob eine Evapotranspirationsschicht, die einen kontrollierten Sickerwasserzutritt erlaubt, prinzipiell möglich ist, oder nicht.

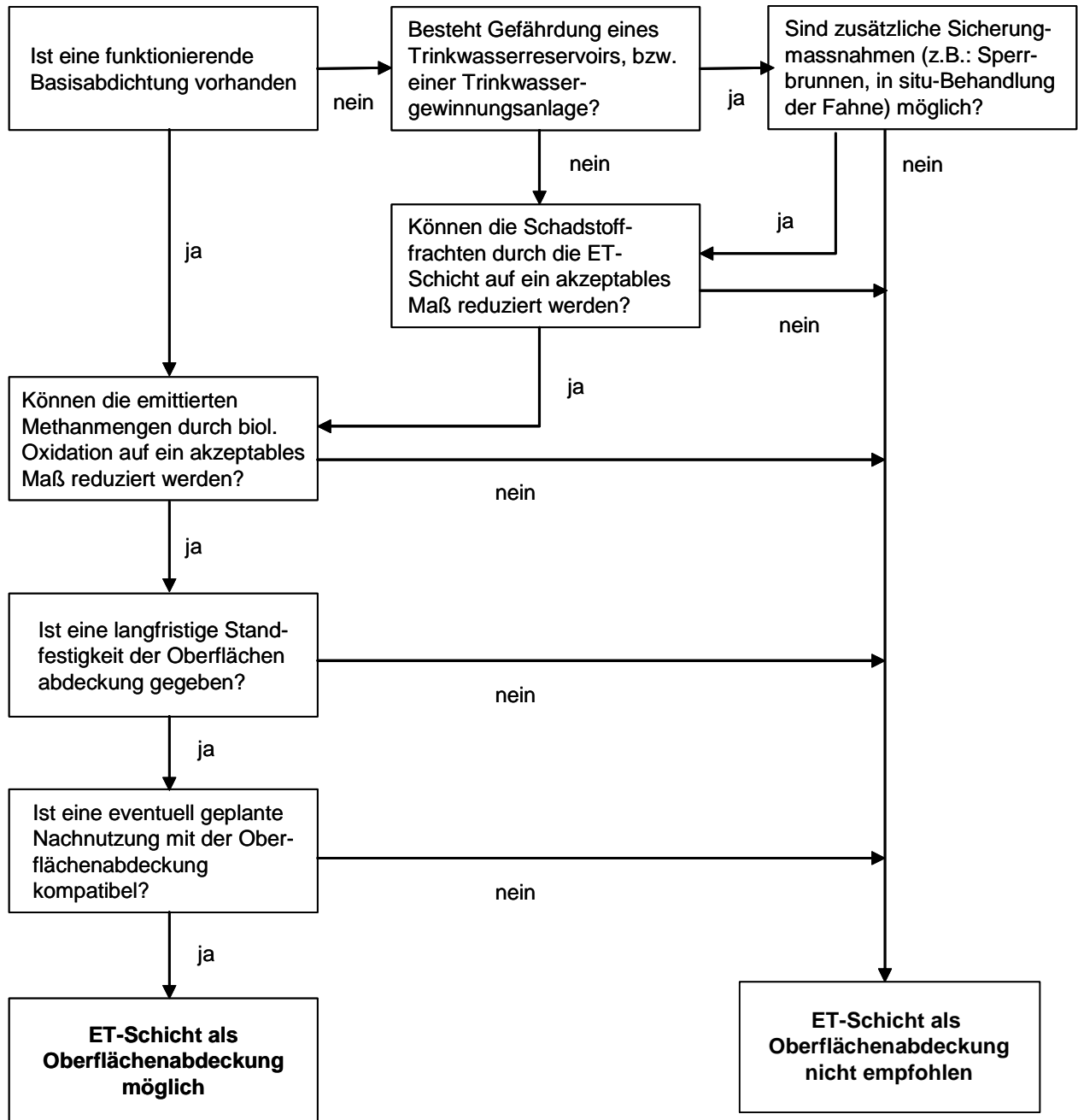


Abbildung 1: Flussdiagramm zur Eignungsfeststellung einer Evapotranspirationsschicht

3.2 Abschätzung von Emissionen aus einer Altablagerung

Ein wesentlicher Faktor, der über die Anwendbarkeit einer Evapotranspirationsschicht als Oberflächenabdeckung entscheidet ist die Abschätzung der aktuellen bzw. der zu erwartenden Emissionen.

3.2.1 Abschätzung der Schadstofffrachten im Sickerwasser

A) Berechnung der Schadstofffracht

In Abhängigkeit von der Datenlage bzw. den hydrogeologischen Gegebenheiten ist die Schadstofffracht je Zeitspanne aus der Berechnung der Sickerwassermengen sowie den Sickerwasserkonzentrationen durchzuführen.

- Berechnung der Sickerwassermenge:

Die Abschätzung der Sickerwassermenge erfolgt durch die Modellierung des Wasserhaushaltes (z.B. Computermodell HELP) unter Einbezug der geplanten Oberflächenabdeckung und Vegetation sowie der lokalen Klimabedingungen (Parameter siehe Kap. 4).

Bei bekannter hydrogeologischer Situation und Auftreten von Tritium im Sickerwasser kann dieses zur Berechnung der Sickerwassermenge herangezogen werden (s. Leitfaden „Alternative Monitoringmethoden für Altablagerungen“)

- Erfassung der Sickerwasserkonzentration:

Idealerweise können bei Vorliegen einer Sickerwasserfassung die Schadstoffkonzentrationen durch chemische Analytik bestimmt werden (Mittelwert der Schadstoffkonzentrationen aus mindestens 2 Messungen innerhalb des letzten Jahres (Sommer, Winter). Besser ist das Vorliegen einer Zeitreihe der Schadstoffkonzentrationen über einige Jahre).

Existiert bei einer Altablagerung keine Sickerwasserfassung, so sind die Schadstoffkonzentrationen abzuschätzen. Dies kann erfolgen durch:

- gesammeltes Sickerwasser aus Erkundungs sonden in der Altablagerung
- Rückschlüsse aus den Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser
- Elutionsversuche
- Erfahrungswerte von anderen Altablagerungen ähnlichen Alters und ähnlicher Zusammensetzung

B) Abschätzung der Vermischung der Sickerwässer im obersten Grundwasserleiter und dessen Auswirkung auf die Schadstoffgehalte im Grundwassers unter Berücksichtigung der hydrogeologischen Situation

3.2.2 Abschätzung von Methangasemissionen

A) Messung aktueller Methanemissionen

Für die Messung von aktuellen Methanemissionen aus einer Altablagerung existieren verschiedene Methoden (Tregoures et al., 1999) wie z.B.:

- Kammermessung
- Mikrometeorologische Methoden (z.B. Eddy Korrelation)
- Infrarotthermographie
- Konzentrationsmessungen kombiniert mit Tracergasmessungen (Bestimmung eines Transferkoeffizienten)

B) Abschätzung des Emissionspotenziales

Diese erfolgt durch Bestimmung der Gasspendensumme des Abfallmaterials (s. Leitfaden „Alternative Monitoringmethoden für Altablagerungen“).

4 ERFORDERLICHE VORERHEBUNGEN UND EMPFOHLENE VERSUCHE ALS ENTSCHEIDUNGSGRUNDLAGE FÜR DIE ANWENDUNG DES VERFAHRENS

Neben der Erkundung, die der Abklärung der prinzipiellen Einsetzbarkeit einer Evapotranspirationsschicht dient, werden im Rahmen von Vorerhebungen die spezifischen Eigenschaften des Standortes festgestellt, auf Basis derer der Aufbau der Evapotranspirationsschicht geplant wird. Danach wird nach Auswahl eines geeigneten Substrates, sowie der Bepflanzung in Vorversuchen die tatsächliche Tauglichkeit der ausgewählten Materialien getestet.

Folgende Vorerhebungen sind notwendig, um zu entscheiden, ob eine Sicherung einer Altablagerung mit Hilfe einer optimierten Evapotranspirationsschicht möglich ist und wie diese gegebenenfalls zu dimensionieren ist:

- Historische Recherche (Abfallart, Ablagerungsdauer, etc.)
- Dimension der Altablagerung (vor der Sicherung): Fläche, Mächtigkeit, derzeitiger Aufbau (ist Basisabdichtung vorhanden; wie ist die derzeitige Oberflächenabdeckung beschaffen; wurde eine Wasserbilanz erstellt,...).
- Folgende meteorologische Parameter sind an Wetterstationen möglichst nahe der Altablagerung (< 10 km, abhängig von der kleinräumigen Variabilität der Witterungsverhältnisse) zur Bestimmung der Niederschlagsmengen und der potenziellen Evapotranspiration zu erheben:
 - Niederschlag (täglich)
 - Temperatur (täglich; maximale, minimale, Mittel)
 - Relative Luftfeuchte (täglich; maximale, minimale, Mittel)
 - Windgeschwindigkeit (tägliches Mittel)
 - Globalstrahlung (tägliche Strahlungsmenge in J/m^2): falls die Globalstrahlung nicht in unmittelbarer Nähe der Altablagerung erfasst wird, kann auch auf entferntere Stationen zurückgegriffen werden bzw. kann diese auch über andere Parameter abgeschätzt werden (Sonnenscheindauer, Bewölkungsgrad,.....).
- Vegetation: Als Endstufe für die Begrünung der Altablagerung ist ein Baumbestand kombiniert mit einer Strauchschicht vorzusehen, wenn dies das Landschaftsbild zulässt. Es sind daher die für den Standort angepassten, natürlich vorkommenden Baum- und Straucharten zu erheben. Die maximale Durchwurzelungstiefe der einzelnen Pflanzen bzw. deren Standortansprüche (Mindestmächtigkeit des Bodens, Nährstoffansprüche an den Boden, Wasseransprüche der Pflanzen an den Boden) sind zu berücksichtigen.

4.1 Vorversuche

4.1.1 Wasserspeicherfähigkeit des Bodens bzw. Substrats

Durchführung:

Der Boden, welcher für den Aufbau der Evapotranspirationsschicht herangezogen werden soll, wird in Stechzylinder (Mindestgröße 200 cm^3) unter Berücksichtigung unterschiedlicher Lagerungsdichten (für humusreiche Oberböden z.B.: 0,9, 1,1, 1,3 $Mg\ m^{-3}$; für Unterböden: 1,3, 1,4, 1,5 $Mg\ m^{-3}$) eingebaut. Die Saugspannungs – Wassergehaltsbeziehung mittels Druckmembranapparat wird nach ÖNORM EN L 1063 ermittelt.

Die nutzbare Feldkapazität bzw. des für die Pflanzen nutzbaren Wasseranteils in [Vol - %] und in [mm] bezogen auf die Bodenmächtigkeit wird errechnet.

Alternativ kann die Abschätzung der Wasserspeicherfähigkeit durch die Ermittlung der Wasserkapazität erfolgen. Dabei wird nach einem vorgegebenen Schema der Boden aufgesättigt und die Wassermenge bestimmt, die der Boden nach definierter Drainagedauer gegen die Schwerkraft halten kann. Diese Methode ist vor allem dann einzusetzen, wenn auf Grund von Zeitmangel bzw. von stark quellenden Materialeigenschaften (wie z.B. bei Kompost) die Ermittlung der Saugspannungs – Wassergehaltsbeziehung nicht möglich ist.

4.1.2 Bestimmung der Wasserleitfähigkeit im wassergesättigtem Zustand (Durchlässigkeitsbeiwert)

Der Boden (das Substrat), welcher(s) für den Aufbau der Evapotranspirationsschicht herangezogen werden soll, wird in Stechzylinder (Mindestgröße 200 cm³) unter Berücksichtigung unterschiedlicher Lagerungsdichten (für humusreiche Oberböden z.B.: 0.9, 1.1, 1.3 Mg m⁻³; für Unterböden: 1.3, 1.4, 1.5 Mg m⁻³) eingebaut. Der Durchlässigkeitsbeiwert wird im Labor nach ÖNORM L 1065 oder einer gleichwertigen Methode bestimmt.

Eine Abschätzung des Durchlässigkeitsbeiwertes ist schwierig und mit großen Fehlern behaftet. Auf die Durchführung dieses Versuches sollte nicht verzichtet werden!

4.1.3 Fähigkeit zur Methanoxidation

Methanabbauende (methanotrophe) Bakterien sind ubiquitär, d.h. in allen Böden vorhanden. Die Abbaurrate ist einerseits neben der Bodenart (Nährstoffgehalt, Gasdurchlässigkeit) vor allem auch von meteorologischen Faktoren (Temperatur, Feuchtigkeit) abhängig und ist somit auch jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Zur Bestimmung der Methanoxidationsrate des verwendeten Substrates wird empfohlen einen Säulen bzw. Kleinlysimeter-Versuch durchzuführen.

4.1.4 Ermittlung allgemeiner Bodencharakteristika

Bestimmung der Korngrößenverteilung (Feinboden und Grobboden) nach ÖNORM L1061

Bestimmung des organischen Kohlenstoffs (Humusanteil) nach ÖNORM L 1080

Bestimmung des Gesamtstickstoffgehaltes nach ÖNORM L 1095

Bestimmung der Acidität (pH-Wert) nach ÖNORM L 1083

Bestimmung von Carbonat nach ÖNORM L 1084

Bestimmung von pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphor nach ÖNORM L 1087 bzw. ÖNORM L 1088

Bestimmung der austauschbaren Kationen und der Kationenaustauschkapazität nach ÖNORM L 1086

4.1.5 Analyse auf toxische Substanzen:

Schwermetalle, zu hohe Salzgehalte (Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit nach ÖNORM L 1092) oder organische Kontaminationen, die das Pflanzenwachstum oder die biologische Methanoxidation beeinträchtigen könnten sind zu erfassen. Weiters sind die rechtlichen Grundlagen, die die Verwendung des ausgewählten Bodenmaterials erlauben, zu berücksichtigen.

4.2 Qualitätssicherung der Vorversuche

Die angeführten Untersuchungen sind in fachlich dazu befähigten Institutionen durchzuführen.

Bei der Durchführung der Vorversuche zur Bestimmung der Einsetzbarkeit eines Bodenmaterials sind die angeführten Normen einzuhalten. Die Untersuchungen zur Saugspannungs – Wassergehaltsbeziehung und zur Wasserleitfähigkeit sind zumindest in 3-facher Wiederholung durchzuführen (3 Stechzylinder pro Probe). Die Beprobung der Bodenmaterialien und die Festlegung der Mindestprobenanzahl hat nach ÖNORM L 1052 zu erfolgen.

4.3 Versuchsdauer

Vor allem die Bestimmung der Wasseranteils – Saugspannungsbeziehung ist eine zeitaufwändige Methode, die die Dauer der notwendigen Voruntersuchungen bestimmt. Bei der Durchführung dieser Methode ist mit einer Dauer von bis zu einem halben Jahr zu rechnen. Die übrigen Untersuchungen sind weniger zeitaufwendig und können von einschlägig tätigen Institutionen innerhalb eines Monats durchgeführt werden.

4.4 Interpretation der Vorversuche

Die Interpretation der Vorversuche erfolgt, indem die ermittelten Ergebnisse mit den in Kap. 9 definierten Anforderungen verglichen werden

4.5 Kosten

Die Kosten für die Vorversuche können den Preislisten einschlägig tätiger Institutionen entnommen werden.

5 ERREICHBARE EMISSIONSMINDERUNG (RESTKONTAMINATION)

Durch den Einsatz von geeigneten ET-Schichten können die Sickerwassermengen und Deponiegasemissionen minimiert werden.

5.1 Sickerwasserminderung

Die zu erwartenden Sickerwassermengen können an Hand folgender Formel für die Wasserbilanz grob abgeschätzt werden.

$$SIWA = N - ET - A_0 - S \pm W_B$$

SIWA Sickerwasser

N Niederschlag

ET Evapotranspiration (inkl. Interzeption)

A_0 Oberflächenabfluss

W_B Neubildung/Verbrauch von Wasser durch biologische Prozesse z.B.: Methanoxidation (s. Kap. 5.3)

S Speicherung im Substrat und im Abfallkörper (s. Kap. 9.3)

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Abschätzung jährlicher Evapotranspirationsleistungen unterschiedlicher Pflanzenbestände (Wattendorf & Sokollek, 2000).

Tabelle 2: Evapotranspirationsleistung unterschiedlicher Pflanzenbestände

Pflanzenbestand	Evapotranspirationsleistung in mm a ⁻¹
Immergrüne Nadelwälder (mittelalt/alt)	600 – 700
Laubwald (alt)	500 – 600
Geschlossener Buchenbestand	500 – 600
Grünlandvegetation (Gräser und Kräuter)	450 – 550
Ackerkulturen	400 – 500

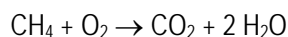
Die Sickerwasserbildung kann mit Hilfe von Simulationsprogrammen unter Einbezug der Speicherleistung der Evapotranspirationsschicht, der meteorologischen Basisdaten sowie der Evaporation der Substratoberfläche und der Transpiration des Pflanzenbestandes errechnet werden.

5.2 Minderung der Schadstofffracht

Je nach vorhandener Schadstoffausstattung der Altablagerung lassen sich aus den zu erwartenden Sickerwassermengen grob die entsprechenden Schadstofffrachten abschätzen. Durch die Stabilisierung des Abfallmaterials ist einerseits eine Reduktion der Schadstoffkonzentration im Sickerwasser zu erwarten. Weiters kommt es durch die Verminderung der Sickerwassermenge zu einer Verminderung der Schadstofffracht pro Zeiteinheit.

5.3 Verminderung der Methanemissionen

Durch biologische Methanoxidation durch im Substrat enthaltene methanotrophe (Methan oxidierende) Bakterien wird Methan mit Hilfe von Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid, Wasser und bakterieller Biomasse umgewandelt. Die Stärke der Methanoxidation ist abhängig von der Art des Substrates (Porenraum, Nährstoffe), sowie von klimatischen/meteorologischen Faktoren (Feuchtigkeit, Temperatur). Dabei wird nach nachfolgender Formel Methan zu Kohlenstoffdioxid und Wasser oxidiert:



In der Literatur findet man Oxidationsraten von Deponieabdeckungen zwischen $3,37 \times 10^{-9}$ und $1,93 \times 10^{-3} \text{ g m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Bogner et al. 1997). Unter der Annahme, dass bei der Oxidation von Methan keine Biomasse gebildet wird, werden bei den angegebenen Oxidationsraten Wassermengen zwischen 0,0002 und 11 mm pro Monat gebildet.

6 QUALITÄTSSICHERUNG DES VERFAHRENS UND MONITORING

Das Aufbringen einer Evapotranspirationsschicht auf eine Altablagerung ist zunächst einmal als eine Sicherungsmaßnahme zu betrachten, indem der Sickerwasseranfall reduziert und das in der Ablagerung gebildetete Methan in der Abdeckung oxidiert wird. Zusätzlich wird durch diese Maßnahme, wie bereits ausgeführt, ein Ausreagieren der Altablagerung ermöglicht. Die Stärke des Ausreagierens hängt allerdings von zahlreichen Rahmenbedingungen wie z.B. der Mächtigkeit des Abfallkörpers, oder der Verteilung von präferenziellen Fliesswegen ab. Langfristig betrachtet kann daher das Aufbringen einer Evapotranspirationsschicht als Sanierung betrachtet werden.

Als Erfolgskontrolle ist ein Monitoringprogramm durchzuführen. Als Grundlage dazu dient der im Zuge des Projektes Interland ausgearbeitete Leitfaden: "Alternative Monitoringmethoden für Altablagerungen"

Das Monitoringprogramm soll folgende Schritte enthalten:

- Vor der Aufbringung der Evapotranspirationsschicht: Erfassung der Ausgangssituation (Emissionsquelle)
- In den ersten 10 Jahren nach dem Aufbringen der Evapotranspirationsschicht: Jährlich durchzuführendes Verfahrensmonitoring
- Danach in Abstand von 5 Jahren: Monitoringprogramm um die langfristige Entwicklung zu dokumentieren.

Als Monitoringmethoden wird vorgeschlagen (Details siehe Leitfaden „Alternative Monitoringmethoden für Altablagerungen“):

- Feststoff Abfall: chemische Zusammensetzung, Inkubationsversuch, Atmungsaktivität, Infrarotspektroskopie, Toxizitätstests
- Sickerwasser: Bestimmung der Sickerwassermengen und -zusammensetzung falls Sickerwassererfassung vorhanden.
- Grundwasser: Chemische Zusammensetzung, Gehalt an Tritium
- Methanausgasung an der Oberfläche mittels FID – Rastermessungen

7 ZEITRAHMEN

Aufbringung des Substrates und Rekultivierung: je nach Fläche einige Tage bis Wochen. Die Evapotranspirationsleistung ist vom aktuellem Sukzessionsstadium der Vegetationsdecke abhängig. Die maximale Evapotranspiration wird erst nach einigen Jahren bzw. Jahrzehnten nach Ausbildung eines geschlossenen Waldbestandes erreicht.

Monitoring: Jahre bis Jahrzehnte, wobei der Aufwand je nach vorhandenen Schadstoffen und möglicher Gefährdung von Schutzgütern sehr unterschiedlich sein kann.

8 KOSTEN (INVESTITIONEN, BETRIEBSMITTEL)

Kosten fallen an für:

- Planung
- Voruntersuchungen
- Errichtung der Evapotranspirationsschicht
- Pflege und Erhalt der Evapotranspirationsschicht
- Monitoringprogramm

9 VERFAHRENSBESCHREIBUNG

9.1 Aufbau der Evapotranspirationsschicht

Die Evapotranspirationsschicht besteht (von unten nach oben) aus einer Drainageschicht und einer Rekultivierungsschicht aus Unterboden und Oberboden sowie einer Bepflanzung. Die Drainageschicht dient einerseits einer homogenen Verteilung von eindringendem Niederschlagswasser in den Abfall um einen möglichst gleichmässigen Abbau der organischen Substanz zu ermöglichen und andererseits einer gleichmässigen Verteilung von aufsteigendem Deponiegas und somit eine gleichmässige Anströmung der Methanoxidationsschicht.

9.2 Allgemeine Qualitätsansprüche an die einzusetzenden Böden/Substrate:

Die angestrebte Evapotranspirationsschicht (verwendete Materialien, Mächtigkeit) hängt neben den Kriterien, die sich aus den Einsatzgrenzen (Kap. 3) ableiten lassen vor allem auch davon ab, ob sie hauptsächlich der Minimierung der Sickerwassermengen dienen soll, oder ob auf Grund einer relativ hohen Bildungsrate an Deponiegas auch eine Oxidation von Methan im Vordergrund steht.

9.2.1 Oberboden:

- muss eine ausreichende Infiltrationskapazität aufweisen, um einen Oberflächenabfluss und somit Erosionsvorgänge zu verhindern. Das bedeutet eine Wasserleitfähigkeit (gesättigt) Bereich zwischen 10 und 50 cm/Tag.
- Bodenart: sandig – schluffiges Material ist zu bevorzugen, Grobanteil (> 2mm) darf maximal 20 M-% betragen. Das Größtkorn darf maximal 60 mm betragen.
- Humusgehalt > als 3 M-% garantiert günstige Nährstoffverhältnisse sowie gute bodenmikrobiologische Verhältnisse, wodurch das Pflanzenwachstum gefördert und die Methanoxidation begünstigt wird.
- pH – Wert zwischen 6 und 8
- Das Vorhandensein von Karbonaten ist vorteilhaft, um langfristig neutrale Bodenbedingungen zu garantieren
- Elektrische Leitfähigkeit: < 500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
- Kationenaustauschkapazität: der Austauschkomplex muss mindestens zu 80 % mit Ca, 5 % mit Mg, 2 % mit K und zu weniger als 1 % mit Na belegt sein.
- Phosphor, Kalium: die Gehalte müssen mindestens der Gehaltsstufe B der „Richtlinie für die sachgerechte Düngung“ entsprechen.
- Stickstoff: das C:N Verhältnis muss zwischen 10:1 und 15:1 liegen

9.2.2 Unterboden:

- Bodenart schluffbetont, Lehm, Lößboden
- Wasserleitfähigkeit: zwischen 1 und 10 cm pro Tag
- Humusgehalt < 0,5 M-%, damit keine anaeroben Prozesse in tieferen Bodenschichten induziert werden
- Karbonatanteil: das Vorhandensein von Karbonaten ist vorteilhaft, um langfristig neutrale Bodenbedingungen zu garantieren. Der Karbonatanteil muss zwischen 1 und 15 M-% liegen
- Elektrische Leitfähigkeit: < 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
 - Kationenaustauschkapazität: der Austauschkomplex muss mindestens zu 80 % mit Ca, 5 % mit Mg, 2 % mit K und zu weniger als 1 % mit Na belegt sein.

9.3 Wasserspeicherfähigkeit

Die Wasserspeicherfähigkeit (Feldkapazität) des Bodenmaterials wird in Kombination mit der Auswahl der Mächtigkeit der Bodenschichten so gewählt, dass ein möglichst hoher Anteil des Niederschlagwassers zwischengespeichert wird und den Pflanzen zur Evaporation zur Verfügung steht. Dabei ist vor allem darauf Rücksicht zu nehmen, dass vor allem der Winterniederschlag zum größten Teil gespeichert werden kann.

Die Wasserspeicherfähigkeit des Materials muss mindestens 200 mm pro Meter Bodenmächtigkeit betragen.

Tabelle 3: Beispiel für den Aufbau einer Evapotranspirationsschicht

	Mächtigkeit der Bodenschicht	Tiefe [in cm]		Bodenart	Humusgehalt [M-%]	Wasserspeicherfähigkeit in mm
		Von	bis			
Oberboden	30 – 50 cm	0	30 (50)	sU, IU, IS, sL	> 3	60 – 90 mm
Unterboden	150 - 170 cm	30 (50)	200	sL, L, IU, uL	< 0,5	300 – 400 mm
Drainageschicht	50 cm	200	230	Kies, Grobsand	<0,1	< 10 – 30 mm

Unterhalb des Unterbodens ist der Einbau eines Trennvlieses sinnvoll, um das Einschwemmen von Feinteilchen in die Drainageschicht zu verhindern.

9.4 Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht und der Drainageschicht

Die Drainageschicht sollte eine Mächtigkeit von minimal 30 cm, optimal 50 cm aufweisen, um im Falle von aufsteigendem Deponiegas eine ausreichende Verteilung und somit eine gleichmäßige Anströmung der Methanoxidationsschicht zu gewährleisten.

Die Mächtigkeit der aufzubringenden Rekultivierungsschicht ist standortabhängig. Sie hängt letztendlich von der benötigten Speicherkapazität ab. Demzufolge ist bei einem niederschlagsreichen Standort eine entsprechend mächtigere Substratschicht zu wählen. Prinzipiell sollte von einer Mächtigkeit von **zumindest 200 cm** ausgegangen werden, da bei geringeren Schichtdicken mit einer unzureichenden Speicherkapazität gerechnet werden muss. Ein Beispiel für mögliche Schichtmächtigkeiten einer ET-Schicht ist in Tabelle 3 angeführt.

Bei Nachweis, dass bei einer geringeren Mächtigkeit des Unterbodens unter spezifischen meteorologischen Bedingungen der Sickerwasseranfall und die Schadstofffracht auf ein akzeptables Niveau entsprechend Kapitel 3 (Einhaltung der Differenzschwellen und Maßnahmen – Schwellenwerte nach ÖNORM S 2088-1) abgesenkt werden kann, sowie eine ausreichende Methanoxidation garantiert ist, kann die Mächtigkeit des Unterbodens bis auf maximal 100 cm reduziert werden.

9.5 Aufbringung des Substrates

Bei der Aufbringung des Substrates ist darauf zu achten, dass es zu keinen Verdichtungen kommt, da diese den Grob- und Mittelporenanteil verringern und somit sowohl die Wasserspeicherfähigkeit, wie auch die Gaswegigkeit und somit die Methanoxidation vermindern würde. Außerdem behindert eine Verdichtung das Wurzelwachstum und vermindert so die Wuchskraft der Pflanzen, was sich wiederum negativ auf die Transpirationsleistung auswirkt.

9.6 Art der Vegetation:

Als Endstufe für die Begrünung der Altablagerung ist ein Baumbestand kombiniert mit einer Strauchschicht vorzusehen, wenn dies das Landschaftsbild, die Nachnutzung/Widmung zulassen. Prinzipiell sollten nach Möglichkeit lokale Pflanzen verwendet werden, da diese einerseits an die lokalen Witterungsbedingungen (z.B.: Trockenheit, tiefe Wintertemperaturen) besser angepasst sind und außerdem nicht die Gefahr einer Florenverfälschung besteht. Eine lokale Vegetation ermöglicht überdies die Einpassung in das Landschaftsbild.

Bei Zulassen einer natürlichen Sukzession ist unter österreichischen Klimabedingungen als Endzustand ein Wald zu erwarten. Das sollte bei der Auswahl des Substrates und dessen Mächtigkeit ebenfalls berücksichtigt werden.

9.7 Zusatzkriterien für Methanoxidationsschichten

Bei Herstellung einer Evapotranspirationsschicht, die vor allem als Methanoxidationsschicht dienen soll, sind zusätzlich folgende Kriterien einzuhalten:

Drainageschicht: Mächtigkeit > 50 cm, Körnungsgruppe 16/32 ist nicht zu unterschreiten; Kantkorn bevorzugt.

Oberboden:

Mächtigkeit 80 – 120 cm

- Humusgehalt > 5 M-%; hoher Anteil an pflanzenverfügbaren Nährstoffen;
- Luftgefüllte Poren bei Wasserkapazität: 15 – 20 Vol. %
- Wasserleitfähigkeit und Wasserspeicherfähigkeit laut Kapitel 9.2 bzw. 9.3 sollen angestrebt werden, sind aber nicht verpflichtend.

Unterboden:

- Luftgefüllte Poren bei Wasserkapazität: 15 – 20 Vol. %
- Wasserleitfähigkeit und Wasserspeicherfähigkeit laut Kapitel 9.2 bzw. 9.3 sollen angestrebt werden, sind aber nicht verpflichtend.

Wenn für eine Methanoxidationsschicht Kompost verwendet wird, so ist auf folgende minimale Qualitätskriterien zu achten:

- Atmungsaktivität: $AT_7 < 8 \text{ mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ TS}$
- Ammoniumkonzentration: $\text{NH}_4\text{-N} < 350 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$
- Strukturmaterial (Siebüberlauf mindestens > 20 mm): mind. 5-15 Gew.% in der TS
- Güteklasse B der KompostVO (Kompost aus Haus- und Restmüll ist auszuschließen)

10 ENTWICKLUNGSSTAND, BEISPIELE FÜR ERFOLGREICHEN EINSATZ

Es existieren in der Praxis der letzten Jahre keine Beispiele, bei denen bewusst auf eine Oberflächenabdichtung bei einer Deponieabschließung verzichtet wurde. Es wurden allerdings bereits einige Forschungsprojekte durchgeführt, die der Frage nachgegangen sind, wie sich die Sickerwasserbildung bei einem Einsatz unterschiedlicher Oberflächenabdichtungen bzw. -abdeckungen entwickelt.

Beim „Alternative Cover Assessment Project (ACAP)“ wurde ein Monitoring konventioneller Abdichtungssysteme mit alternativen, auf dem Wasserspeicher-Prinzip beruhenden Abdeckungen durchgeführt. Die 24 Testfelder lagen an 11 Standorten in den USA, die verschiedene Klimate, von ariden (Apple Valley, CA, durchschnittlicher Niederschlag = 138 mm/Jahr) bis hin zu humiden, subtropischen (Albany, GA, durchschnittlicher Niederschlag = 1280 mm/Jahr) repräsentierten.

Die Lysimeter hatten eine Größe von 10 x 20 m. Die Hangneigung betrug – je nach Standort variierend – zwischen 5 und 20 %. Das Projekt wurde vom „US EPA Superfund Innovative Technology Evaluation (SITE) Program“ gefördert (Albright et al, 2004; Benson et al., 2002; Licht et al., 2004; Roesler et al., 2002).

An humiden Standorte betrug die Sickerwasserrate konventioneller Oberflächenabdichtungen (mit Geomembran) weniger als 12 mm/Jahr (1,4 % des Niederschlages), konventionelle Oberflächenabdichtungen mit mineralischen Dichtschichten zeigten eine Sickerwasserrate von 52 bis 192 mm/Jahr (6 - 17 % des Niederschlages). Dieser hohe Abfluss ist wahrscheinlich auf bevorzugte Fließwege die durch Defekte in der Dichtschicht führen zurückzuführen. Bei einer alternativen Abdeckung mittels Evapotranspirationsschicht unter Baumbewuchs betrug der Sickerwasserabfluss zwischen 123 und 160 mm/Jahr (10 - 18 % des Niederschlages). Kam zudem noch eine Kapillarsperre zum Einsatz, konnte die Sickerwassermenge auf von 33 bis 57 mm/Jahr (6 - 10 % des Niederschlages) reduziert werden.

An ariden, semiariden und subhumiden Standorten betrug die Sickerwasserrate konventioneller Oberflächenabdichtungen (mit Geomembran) 1,5 mm/Jahr (0,4 % des Niederschlages), alternative Oberflächenabdeckungen (Evapotranspirationsschicht) zeigten ebenfalls weniger als 1,5 mm/Jahr (0,4 % des Niederschlages).

Die Leistungen alternative Oberflächenabdeckungen waren an ariden, semiariden und subhumiden Standorte mit den konventionellen mehrteiliger Oberflächenabdichtungen vergleichbar, an humiden Standorten konnten sie das Ziel, die Sickerwassermenge effektiv zu reduzieren nicht erreichen (Albright et al, 2004).

Bei diesen Untersuchungen waren die relativ hohen Sickerwasserraten der Evapotranspirationsschichten vermutlich auf zu wenig stark entwickelte Vegetation zurückzuführen. An einem weiteren humiden Untersuchungsstandort (Albany, Georgia) brachte die Etablierung von Pappeln eine Reduktion des Sickerwassers um einen Faktor von mehr als 25 (Benson et al, 2002).

Ein Ergebnis des Projektes ACAP war, dass ungeschützte mineralische Dichtschichten versagten. Dies konnte auch im Projekt INTERLAND nachgewiesen werden.

In Albany, Georgia, führte eine einmonatige Dürre bereits sechs Monate nach Installation zur Austrocknung der Tonschicht, Schrumpfungsrisse waren die Folge. Sickerwasser, das zuvor gleichmäßig verteilt durchsickerte, trat nun kurz nach Regenereignissen auf.

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit, die beim Einbau 4.0×10^{-8} cm/s betrug, nahm mit einem Faktor in der Größenordnung von ungefähr drei bis fünf während des vierjährigen Versuches zu. Aufgrabungen zeigten, dass die Tonschicht mit Rissen durchzogen war (Licht et al., 2004).

Von Mai 1997 bis Juni 2002 wurde das "Alternative Landfill Cover Demonstration (ALCD) research program" der Sandia National Laboratories an der Kirtland Air Force Base in Albuquerque, New Mexico, unter ariden Klimabedingungen durchgeführt. Vier alternative Oberflächendeckungen bzw. – dichtungen wurden mit je einer nach den Vorschriften der Environmental Protection Agency (EPA) hergestellten Abdeckung und einer Abdichtung verglichen. Jedes Testfeld war 100 x 13 m groß und wies ein Gefälle von 5% auf.

Die Evapotranspirationsschicht (15 cm Oberboden über 90 cm verdichtetem Boden) war mit einem durchschnittlichen Abfluss von 0,05 mm/Jahr beinahe so effizient wie die „RCRA Subtitle 'C' Compacted Clay Cover“ mit einem durchschnittlichen Abfluss von 0,04 mm/Jahr. Der Sickerwasseranfall der Kapillarsperre betrug durchschnittlichen 0,16 mm/Jahr. Die der EPA – Vorschrift entsprechende Abdeckung „RCRA Subtitle 'D' Soil Cover“ (15 cm Oberboden über 45 cm verdichtetem Boden) war mit einem durchschnittlichen Abfluss von 1,39 mm/Jahr im Gegensatz zur Evapotranspirationsschicht wenig effizient. Trocknungsrisse und Frostschäden führten hier zur Bildung bevorzugter Fließwege.

Die Wasserbewegung in den einzelnen Abdeckungen/Abdichtungen. war immer ungesättigt. Die Spitzenwerte der Wassersättigung erreichten in keiner der Schichten jemals die volle Sättigung. Der Anteil am Abfluss in

bevorzugten Fließwegen war in jeder Abdeckung/Abdichtung groß (Dwyer, 1999; Dwyer, 2000a; Dwyer, 2000b; Dwyer et al., 2000; Dwyer, 2003).

Seit 1990 wurden in den USA mehr als 15 Evapotranspirationsschichten mit Baumvegetation auf Deponien etabliert. Vor allem Pappeln kommen aufgrund ihres raschen Wachstums, der hohen Wasseraufnahmeraten, dem starken Wurzelwachstum und der Toleranz niedriger, an Deponiestandorten häufig anzutreffender, Bodensauerstoffkonzentrationen, zum Einsatz (Aitchinson, 2003). Die erste dieser Evapotranspirationsschichten wurde 1990 auf der Deponie Lakeside in Beaverton, Oregon, installiert. Die Hybrid-Pappeln, die in 1,2 m sandig-lehmigen Boden gepflanzt wurden, wuchsen bis zum Jahre 2000 ungefähr zwei Meter pro Jahr bis zu einer Höhe von 18 - 24 m. Die Wurzeln wuchsen bis zu einer Tiefe von 1,2 m, während das Wachstum der Graswurzeln auf eine Tiefe von 30-46 cm limitiert war. Bodenwassergehaltsmessungen zeigten geringere Wassergehalte unter den Hybrid-Pappeln als unter den Gräsern. Dies wurde auf einen höheren Entzug durch die Pappeln zurückgeführt (Licht et al., 2001).

Bönecke (2001) empfahl in einem Behördenverfahren bezüglich der Neugestaltung der Rekultivierung der Kreismülldeponie Neuenburg (Bundesrepublik Deutschland) in einem als „Altdeponie“ ausgewiesenen Abschnitt auf eine Oberflächenabdichtung zu verzichten und den Sickerwasseranfall mit Hilfe eines Deponiewaldes zu minimieren. Für einen bisher noch nicht rekultivierten Abschnitt im Bereich der Deponiekuppe „verständigte man sich mit den zuständigen Behördenvertretern auf eine temporäre Abdichtung (Kunststoffdichtungsbahn, deren Dichtungswirkung ca. 30 Jahre gewährleistet sein muss) mit darüber liegender Rekultivierungsschicht und Aufforstung“.

In einem österreichischen Forschungsprojekt (Reichenauer, 2000) konnte in einem Lysimeterexperiment gezeigt werden, dass verschiedene Pflanzenarten bei Einsatz auf Evapotranspirationsschichten einen unterschiedlichen Einfluss auf die biologische Methanoxidation und die Sickerwasserbildung haben. Die unterschiedlichen Bepflanzungen wirkten sich auch auf die Menge des Sickerwassers unterschiedlich aus. Die Pflanzen reduzierten die Sickerwassermenge in folgender Reihung: Pappel, Miscanthus, Luzerne+Gras > Gras >> Brache. In den Lysimetern, die mit Deponiegas beaufschlagt wurden, war die Sickerwassermenge deutlich höher, was vermutlich auf den durch die Methanoxidationsschicht in einer Tiefe zwischen 25 und 35 cm eingeschränkten Wurzelraum der Pflanzen zurückzuführen ist. Somit war Wasser, das sich unterhalb dieser Tiefe befand für die Pflanzen nicht mehr verfügbar.

11 VOR- UND NACHTEILE

Der Vorteil einer Abdeckung von Altablagerungen ohne sie vollkommen abzudichten, liegt darin, dass die Reaktionen im Abfallkörper nicht vollständig unterbunden werden und mikrobielle Umsetzungen stattfinden können und somit innerhalb von Jahren / Jahrzehnten eine weitgehende Stabilisierung und somit eine nachhaltige Emissionsminderung der Altablagerung erreicht werden kann. Eine naturnah gestaltete Evapotranspirationsschicht ist nahezu wartungsfrei und benötigt nur in der Anfangsphase vegetationstechnische Maßnahmen. Zumindest langfristigt betrachtet ist eine Oberflächenabdeckung mittels Evapotranspirationsschicht auch ökonomisch günstig, da bei sorgfältiger Anwendung (Voruntersuchung etc.) mit keinen Wartungsarbeiten zu rechnen ist.

Als Nachteil ist anzuführen, dass Emissionen aus der Altablagerung für einige Zeit in Kauf genommen werden müssen, was eine sorgfältige Risikoanalyse unumgänglich macht.

12 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

a	Jahr
A_0	Oberflächenabfluss
AISAG	Altlastensanierungsgesetz
AT_7	Atmungsaktivität in 7 Tagen [$\text{mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ TM}$]
BSB_5	Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen [$\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$] bzw. [$\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ TM}$]
C	Kohlenstoff
CH_4	Methan
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf [$\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$] bzw. [$\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ TM}$]
DVO	Deponieverordnung
ET	Evapotranspiration
ET-Schicht	Evapotranspirationsschicht
mg	Milligramm
Mg	Megagramm (entspricht einer Tonne)
Mm	Millimeter als Einheit für den Niederschlag; 1 mm entspricht 1 Liter pro m^2
N	Stickstoff
$\text{NH}_4\text{-N}$	Ammonium-Stickstoff [mg l^{-1}] bzw. [$\text{mg kg}^{-1} \text{ TM}$]
O_2	Sauerstoff
S	Speicherung von Wasser
SIWA	Sickerwasser
T	Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]
TM	Trockenmasse [kg]
Vol-%	Volumsprozent
W_B	Neubildung/Verbrauch von Wasser

13 LITERATUR

- Aitchinson, E. (2003) Not Your Ordinary Cap – Tree landfill covers growing in numbers, April 2003, Waste Age, 50-51. www.Ecolotree.com
- Albright W., Benson C., Gee G., Roesler A., Abichou T., Apiwantragoon P., Lyles B., Rock, S. (2004) Field Water Balance of Landfill Final Covers. J. of Environmental Quality , 33(6), 2317-2332. <http://www.uwgeotech.org/publications4.htm>
- Benson C., Albright W., Roesler A., Abichou, T. (2002) Evaluation of Final Cover Performance: Field Data from the Alternative Cover Assessment Program (ACAP), Proc. Waste Management 02, Tucson, AZ. <http://www.uwgeotech.org/publications4.htm>
- Bogner J., Meadows M., Czepiel P. (1997) Fluxes of methane between landfills and the atmosphere: natural and engineered controls. Soil Use and Management, 13, 268-277.
- Dwyer S. F. (1999), Conventional vs. Alternative Landfill Cover Designs: Which is the Best for Arid Climates, U.S. Department of Energy (DOE), Oak Ridge Offices Site Technology Coordination Group, Landfill Covers Workshop Oak Ridge, Tennessee January 14, 1999.
- Dwyer S.F., Reavis B., Newman G. (2000) Alternative landfill cover Demonstration, FY2000 Annual Data Report, SAND2000-2427, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico.

- Dwyer S.F. (2000a) Construction Overview of Six Landfill Cover Designs, SAND2000-2428, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico.
- Dwyer S.F. (2000b) Landfill covers: Is it time to change current regulations?, SAND2000-2303, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico.
- Dwyer S.F. (2003) Water Balance Measurements and Computer Simulations of Landfill Covers, Dissertation, University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico.
- Licht L.A., E. Aitchison, W. Schnabel, M. English, M. Kaempf (2001) Landfill Capping with Woodland Ecosystems, Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management, October 2001, pp. 176-184. www.ecolotree.com
- Liebhard P. Wriessnig K. (2005), Einfluss unterschiedlicher Kultursubstrate und Pflanzenqualität auf Sickerwassermenge und Sickerwasserqualität bei der Schließung von Deponien (Gefäßversuch), BAL – Bericht über die 11. Gumpensteiner Lysimeteranlage, S. 195 – 197, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für alpenländische Landwirtschaft, 5. und 6. April 2005, Irding, Österreich.
- Luckner L., Schinke R. (2001) Wie dicht muss bei Altdeponien und Altablagerungen eine Oberflächenabdeckung sein? – Mumifizierung oder kontrollierte natural attenuation des Deponiekörpers. in: Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten 2001 (Hrsg.: Egloffstein, Burkhardt, Czurda), Band 122, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Reichenauer T. (2001) Deponiebegrünung - Entwicklung einer Pflanzendecke zur Optimierung der biologischen Methanoxidation und Minimierung der Sickerwassermengen, OEFZS--UL-0162, Seibersdorf, Austria.
- Roesler A.C., Benson C.H., Albright W.H. (2002) Field Hydrology and Model Prediction for Final Covers in the Alternative Assessment Program – 2002, Geo Engineering Report No. 02-08, University of Wisconsin, Madison, WI.
- Tregoures A. et al (1999) Comparison of seven methods for measuring methane flux at a municipal solid waste landfill site. Waste Management & Research, 17, 453-458
- Wattendorf P, Sokollek V. (2000) Gestaltung und Entwicklung von standortgerechtem Bewuchs auf Rekultivierungsschichten. In: Wasserhaushalt der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien und Altlasten. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, 47, 225-234
- Waugh W.J., Smith G.M., Mushovic P. (2004) Monitoring the Performance of an Alternative Cover Using Caisson Lysimeters, Proceedings of the Waste Management 2004 Symposium, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA.