

## **Sind Oberflächenabdichtungen bei Hausmülldeponien notwendig?**

K. Stief, Berlin

### **Inhalt**

1. Einleitung
2. Was versteht man unter Hausmülldeponien?
3. Definition nach dem LAGA-Deponiemerkblatt
4. Definition nach dem Richtlinienentwurf des Landes NRW
5. Was soll mit der Ablagerung im allgemeinen erreicht werden?
6. Was versteht man unter Deponieoberflächenabdichtungssystem?
7. Soll man überhaupt einmal die Oberfläche von Hausmülldeponien abdichten?
8. Wann soll man das Deponieoberflächenabdichtungssystem einbauen ?
9. Wie soll das Deponieoberflächenabdichtungssystem aufgebaut sein?
10. Schlußfolgerungen und Empfehlungen
11. Zusammenfassung
12. Literaturverzeichnis

### **1 Einleitung**

Deponieoberflächenabdichtungssysteme sind im Rahmen des Multibarrieren-Konzeptes für Deponien eine unverzichtbare Barriere, um potentiell mögliche Schadstoffemissionen von Deponien auf tolerable Werte zu vermindern.

Für sogenannte Sonderabfalldeponien wird über die Notwendigkeit von Deponieoberflächenabdichtungssystemen gar nicht mehr ernsthaft diskutiert. Sie werden allgemein als zwingend erforderlich angesehen. Diskussionen gibt es allerdings noch um die konstruktive Gestaltung, um den Aufwand, der getrieben werden muß; um die Anforderungen im allgemeinen.

Die Forderung nach einem Deponieoberflächenabdichtungssystem gilt im Grunde für alle Deponien - wenn das Sickerwasser mit Stoffen belastet sein könnte, die die Grundwasserbeschaffenheit nachteilig beeinträchtigten, wenn sie ins Grundwasser gelangen.

Sonderabfälle, die abgelagert werden, dürfen künftig nur noch sehr wenig organische Anteile enthalten (1, 26).

Kann bei Hausmülldeponien auf ein Deponieoberflächenabdichtungssystem verzichtet werden, weil sie unproblematischer sind als Sonderabfalldeponien für mineralisierte Sonderabfälle oder Deponien für mineralische Abfälle im allgemeinen?

Diese Frage soll im folgenden eingehend diskutiert und schließlich beantwortet werden.

## 2 Was versteht man unter Hausmülldeponien?

### 2.1 Definitionen nach dem LAGA-Deponiemerkblatt

Im Deponie-Merkblatt (2) heißt es: Abfallbeseitigungsanlagen zur geordneten Ablagerung von Abfällen werden in diesem Merkblatt als Deponien bezeichnet. Das Merkblatt gilt für Deponien, auf denen allein, oder überwiegend feste Siedlungsabfälle .... wie Hausmüll, Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle abgelagert werden. Diese Deponien werden als Hausmülldeponien bezeichnet.

Hinsichtlich der Art der abzulagernden Abfälle heißt es:

Auf Hausmülldeponien kann außer den festen Siedlungsabfällen

- *Hausmüll*
- *Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle*
- *Sperrmüll*
- *Straßenkehricht*
- *Marktabfälle*
- *Garten- und Parkabfälle*

in der Regel eine Vielzahl von Abfällen abgelagert werden. Über die Art und Menge der abzulagernden Abfälle entscheidet die zuständige Behörde. Dabei werden insbesondere zu berücksichtigen sein:

Lage und Leistungsfähigkeit der Deponie

- *Wasserwirtschaftliche und geologische Standortsituation (Vorfluter, Untergrund)*
- *Klimatologische Gegebenheiten*
- *Verfügbarkeit von Abdeckmaterial*
- *Verfügbares Deponievolumen und Erweiterungsmöglichkeiten*
- *Anbindung an das örtliche und überörtliche Verkehrsnetz*
- *Maschinelle und personelle Ausstattung*
- *Kontrolleinrichtungen*

Verhalten der Abfälle beim Einbau

- *Befahrbarkeit des Deponiekörpers*
- *Emissionen (Geruch, Staub, Lärm)*
- *Mengenverhältnis zu anderen als Puffer wirkenden Abfällen*
- *Erschwernisse beim Einbau*

Langzeitverhalten der Abfälle in der Deponie

- *Behandlung und Beseitigung des Sickerwassers*
- *Belastung des Vorfluters*

- *Chemische Reaktionen und Gasentwicklung*
- *Standesicherheit der Deponie*
- *Setzungen des Deponiekörpers*
- *Rekultivierung des Deponiegeländes*

Auf Hausmülldeponien kann demnach ein vielfältiges, in analytischer Hinsicht unüberschaubares Gemenge von Abfällen abgelagert werden. Das wird besonders deutlich, wenn man sich Sickerwasseranalysen und Deponiegasanalysen ansieht. Das Spektrum der Sickerwasserinhaltsstoffe von Hausmülldeponien wird aus der Anlage 1 deutlich (3).

## **2.2 Definitionen nach dem Richtlinienentwurf des Landes NRW**

Im Land NRW ist im Juni 1987 ein Richtlinienentwurf bekanntgemacht worden, in dem Deponieklassen definiert werden (4). Die Deponieklasse 3 entspricht der klassischen Hausmülldeponie. Zugelassene Abfallarten sind: Hausmüll und hausmüllähnliche Abfälle sowie Abfälle aus dem gewerblichen Bereich, die nach Art und Menge mit Hausmüll beseitigt werden können.

Ein Deponieoberflächenabdichtungssystem wird nicht ausdrücklich gefordert. Unter 'Mindestanforderungen an wasserwirtschaftliche Merkmale' heißt es u. a.: - *Die Deponieoberfläche ist nach Maßgabe von Richtlinien für diese Deponieklasse und der abfallrechtlichen Zulassung zu gestalten.*

Gefordert werden aber eine Deponiebasisabdichtung und Einrichtungen zur Erfassung und Behandlung des Sickerwassers (physikalische, chemische und/oder biologische Reinigung). Der vollständige Text des Richtlinienentwurfes für die Deponieklasse 3 ist in Anlage 2 wiedergegeben.

Eine Bemerkung zu der Liste 'zulässige Konzentrationen von Inhaltsstoffen in Eluaten von Abfällen bzw. löslicher Anteil pro kg Abfall (bezogen auf TS) -Deponieklasse 3-' des Richtlinienentwurfes erscheint hier notwendig. Aus der Liste (Anlage 2 a) ist nicht zu ersehen, welche Konzentrationen der Inhaltsstoffe in den Abfällen insgesamt vorhanden sind. Es sind nur die Anteile genannt, die in Eluaten der Abfälle höchstens analysiert werden dürfen, wenn die Abfälle nach dem Norm-Verfahren ausgelaugt werden. Es ist auch nicht angegeben, welche Sickerwasserzusammensetzung für die Deponieklassen zu erwarten ist. In Abschnitt 1 'Allgemeine Bewertungsgrundsätze' des Richtlinienentwurfes wird diesbezüglich gesagt: *Insbesondere ergeben sich bei Rückschlüssen aus der Konzentration im Eluat eines Abfalls auf die zu erwartende Sickerwasserbeschaffenheit einer Deponie gewisse Unsicherheiten. Das Niederschlagswasser, das einen abgelagerten Abfall eluiert, muß in der Regel einen mehr oder weniger mächtigen Müllkörper passieren, in dem durch Mischungen, chemische Reaktionen und biologische Vorgänge, komplexe Wechselwirkungen auftreten. Diese Wechselwirkungen hängen nicht nur vom "Abfallinventar" der Deponie, sondern z.B. auch von der Ablagerungstechnik und dem unterschiedlichen "Wasserangebot" ab. Die tatsächliche Sickerwasserbeschaffenheit wird deshalb nur selten von einer einzelnen Abfallart bestimmt und ist quantitativ nicht exakt prognostizierbar.*

In dem gleichen Richtlinienentwurf wird für Deponien für Gewerbe- und Industrieabfälle eine Deponieoberflächenabdichtung verlangt: *Die Deponieoberfläche ist nach Maßgabe von Richtlinien für diese Deponieklasse grundsätzlich mit einer wirksamen Abdichtung*

zu *versehen*.

### **3. Was soll mit der Ablagerung im allgemeinen erreicht werden?**

Abfälle, die in Deponien abgelagert werden, sollen dort auf Dauer von der Umwelt abgeschlossen bleiben. Eine Schadstofffreisetzung soll im Idealfall nicht auftreten. Zumindest soll keine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften zu besorgen sein (§ 34.2 WHG). Das heißt sicher nicht, daß eine Nullemission gefordert wird, sonst hätte man die Nullemission *expressis verbis* gefordert. Angaben über tolerierbare Konzentrationen und Frachten von Stoffen und Stoffverbindungen, die unter Beachtung von lokalen und regionalen hydrogeologischen Gegebenheiten in den Untergrund bzw. das Grundwasser abgeleitet werden dürfen, existieren nicht. In der Praxis wird mit der Genehmigung einer bestimmten Deponiekonzeption die Schadstofffreisetzung in die Umwelt indirekt genehmigt. Die jüngsten, z. T. heftigen Diskussionen zeigen aber, daß es darüber unterschiedliche Auffassungen gibt (12, 13). Jedermann sollte klar sein, daß Nullemissionen nur für bestimmte Zeitspannen erreichbar sind, für ein, zwei, 10 oder vielleicht auch 50 Jahre, wenn die Dichtungssysteme nicht repariert und erneuert werden können. Das ist für Deponiebasisabdichtungssysteme nur möglich, wenn außergewöhnlich aufwendige Systeme gewählt werden. Es ist aber relativ einfach, Deponieoberflächenabdichtungssysteme herzustellen, die auf Leckagen kontrollierbar sind, und bei denen die Leckstellen auch repariert werden können. Der Zweck dieser Maßnahmen, kein Sickerwasser entstehen zu lassen, kann aber trotzdem nur erreicht werden, wenn dem Deponiekörper kein Fremdwasser zufließen kann. Das aber kann erreicht werden, wenn der Deponiekörper außerhalb der Zone der aktiven Grundwasserbewegung liegt, d.h. in aller Regel oberhalb des Grundwasserdruckspiegels.

In der Bundesrepublik Deutschland findet das Multibarrierenkonzept für Planung und Betrieb von Deponien immer breitere Zustimmung und Beachtung.

Das Multibarrierenkonzept besagt, daß zu einer guten, zu einer 'sicheren' Deponie, mehrere Sicherheiten, mehrere Barrieren, gehören (14). Als Barrieren werden dabei bezeichnet:

- der Deponiestandort (insbesondere die geologischen und die hydrogeologischen Gegebenheiten),
- das Deponiebasisabdichtungssystem,
- der Deponiekörper ( d.h. die stabile, immobile Festlegung von 'Schadstoffen' in den Abfällen),
- das Deponieoberflächenabdichtungssystem,
- die kontrollierte Nutzung der Deponieoberfläche nach der Verfüllung und Abdeckung sowie, last but not least,
- die Kontrolle des Deponieverhaltens in der Betriebsphase, in der Nachbetriebsphase und in der daran anschließenden Nachsorgephase.

Das Multibarrierenkonzept ist letzten Endes nichts anderes, als die Kombination des sogenannten Einkapselungskonzeptes und dem "Selbstreinigungskonzept" früherer Jahre (im Englischen als 'dilute and attenuate strategy' bezeichnet).

Zweifellos wäre es für die Umwelt günstig, wenn aus einem Deponiekörper überhaupt keine Schadstoffe freigesetzt würden. Eine Deponie könnte auch noch als beinahe ideal angesehen werden, wenn aus den Abfällen, die ungeschützt an ausgewählten Standorten abgelagert würden, pro Zeiteinheit nur so wenig Schadstoffe freigesetzt würden, daß diese von der Umwelt 'verkräftet' werden könnten. ("Verkräftet werden" könnte heißen, daß in einer sehr geringen Entfernung vom Deponiekörper nur tolerierbare Schadstoffkonzentrationen auftreten.)

Aus der Erfahrung wissen wir, und aufgrund der Analyse der Wirksamkeit von Betriebskontrollen bei Deponien kann auch für die Zukunft angenommen werden, daß Fehler im Deponiebetrieb und Irrtümer bei Entscheidungen über die Deponierbarkeit von Abfällen nicht ausgeschlossen werden können. Deshalb halte ich ein Deponiebasisabdichtungssystem bei jeder Deponie für sinnvoll. Anderenfalls müßte man konsequent die abgelagerten Abfälle auskoffern, wenn vorher festgelegte Grenzwerte für tolerierbare Schadstoffe im Sickerwasser bzw. im Grundwasser überschritten werden. Trotz des sorgfältig ausgewählten Standortes, der zu den Schadstoffen in den abgelagerten Abfällen 'paßt', muß alles darangesetzt werden, die Schadstoffe in den Abfällen so immobil wie möglich zu machen, wenn man der idealen Deponie nahe kommen will. Schadstofffreisetzungen dürfen nur ganz langsam erfolgen, und die Konzentrationen im Eluat und im Sickerwasser dürfen nur gering sein. Die Möglichkeit der Verwehung von Stäuben sollte durch die Konsistenz der Abfälle ausgeschlossen werden. Gasförmige Emissionen werden eine untergeordnete Rolle spielen, wenn nur mineralische oder mineralisierte Abfälle abgelagert werden. Aber selbst wenn diese Forderungen sehr gut erfüllt werden können, darf das Ziel der Abfallvermeidung nicht außer acht gelassen werden. Eine Abfalldeponie stellt grundsätzlich eine potentielle Quelle der Umweltverschmutzung dar. Die Tatsache, daß die Ablagerung bestimmter Abfälle unter Einhaltung gerade geltender Grenzwerte ermöglicht bzw. zugelassen wird, darf niemals als Begründung genommen werden, vermeidbare oder verwertbare Abfälle abzulagern, nur weil es betriebswirtschaftlich vorteilhaft ist. Volkswirtschaftlich wird sich die Ablagerung von Abfällen, aus denen Stoffe und Stoffverbindungen freigesetzt werden können, die dann von der Deponie aus in die Umwelt emittieren, immer als nachteiliger erweisen, als die Vermeidung und Verwertung von Abfällen.

Wenn aber denn nun schadstoffhaltige Abfälle abgelagert werden (müssen), sollte man sie längerfristig nicht mutwillig den atmosphärischen Einflüssen aussetzen. Durch Verwitterungs- und Auslaugungsprozesse werden die für viel Geld immobilisierten Schadstoffe wieder mobilisiert werden, so daß sie sich leicht in der Umwelt ausbreiten können. Durch Deponieoberflächenabdichtungssysteme kann die Infiltration von Niederschlagswasser in den Deponiekörper für bestimmte, endliche, Zeitspannen verhindert und auch die Wind- und Wassererosion von Abfällen bzw. Abfallinhaltsstoffen unterbunden werden. Repariert oder erneuert man sie, kann dieser Zustand ad infinitum aufrecht erhalten werden.

Deponieoberflächenabdichtungssysteme können sich aber eher negativ als positiv auswirken, wenn sie eingeplant werden, um eine Deponie an einem ungeeigneten Standort, bei unvollkommener Deponiebasisabdichtung und vor allem bei einem 'schlechten' Deponiekörper durchzusetzen. Die Probleme der Deponie sollen durch das Deponieoberflächenabdichtungssystem nicht verschleiert werden. Die langfristig unvermeidlichen Schadstofffreisetzungen in nicht tolerablen Konzentrationen und Frachten dürfen auch theoretisch, rechnerisch nicht schnell zu gravierenden Umweltschäden füh-

ren können, falls das Deponieoberflächenabdichtungssystem versagt. Das Deponieoberflächenabdichtungssystem als einzige Barriere im Sinne des Multibarrierenkonzeptes ist unakzeptabel. Es macht die Deponie dann eigentlich erst recht 'unsicher'. Solch eine Deponie wird mit eher schnell zu einer Altlast, anstatt zu einer tolerablen Altablagerung. Nachlässigkeiten bei der Erhaltung der Wirksamkeit des Deponieoberflächenabdichtungssystems, werden sich schnell durch unzulässige Emissionen auf die Umgebung der Deponie auswirken.

Diese Argumentation spricht m. E. auch eindeutig gegen die sogenannten „Behälterdeponien“, in denen unbehandelte gefährliche Abfälle abgelagert werden sollen. Sie werden neuerdings allerdings glücklicherweise nur noch als Zwischenlager angeboten, obwohl die Bezeichnung 'Behälterdeponie' oft beibehalten wird, was häufig zu (gewollten ?) Mißverständnissen führt.

Wenn ein Deponieoberflächenabdichtungssystem geplant und ausgeführt wird, muß auch eine, auf dieses System abgestimmte, 'schonende' Nutzung geplant und gewährleistet werden.

Und obwohl alle genannten Barrieren entsprechend dem Stand der Technik geplant und ausgeführt werden, darf auf eine langfristige Kontrolle des Deponieverhaltens nicht verzichtet werden. Das Langzeitverhalten der Deponie muß gemessen werden. Die Meßergebnisse müssen ausgewertet, mit den Annahmen verglichen und dokumentiert werden. Vom Deponiebetreiber bzw. vom Eigentümer der Deponie sollte jährlich eine 'Erklärung über das Deponieverhalten' verlangt werden, die veröffentlicht werden muß. In der Erklärung über das Deponieverhalten wird über die Funktionsfähigkeit und die Wirksamkeit aller Barrieren, auf der Basis der Meßergebnisse berichtet und die Abweichungen von den Planungsannahmen deutlich gemacht.

#### **4. Was versteht man unter Deponieoberflächenabdichtungssystemen?**

Das Deponieoberflächenabdichtungssystem verhindert die Infiltration von Niederschlagswasser in die Deponie. Es verhindert damit weitgehend die Entstehung von Sickerwasser, wenn Sickerwasser nicht zum großen Teil auch durch sogenanntes Fremdwasser gebildet wird.

Das Deponieoberflächenabdichtungssystem besteht in der Regel aus folgenden Komponenten:

- Vegetationsschicht<sup>22</sup>
- vegetationsfähige Schicht (Oberboden)
- Entwässerungsschicht (Dränschicht)
- Dichtungsschicht
- Entgasungsschicht (Gasdränschicht)
- Planum

In Anlehnung an die Diskussionen über die Dichtigkeit von Deponiebasisabdichtungen streitet man sich auch heftig um die erforderliche und erreichbare Dichtigkeit von Dichtungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen.

Nach meiner Auffassung kann nur mit einer Kombinationsdichtungsschicht die Infiltration von Niederschlagswasser in den Deponiekörper wirklich verhindert werden.

Problematisch sind ohne Zweifel starke und ungleichförmige Setzungen des Deponiekörpers, die zu Dehnungen und Zerrungen in den Dichtungsschichten führen können, die die Dichtungsmaterialien nicht aushalten. Kombinationsdichtungen sind möglicherweise empfindlicher gegen Setzungen als mineralische Dichtungsschichten mit hohem Tonanteil, weil die Kunststoffdichtungsbahnen reißen können, und, wenn sie nicht reißen, aber fehlerhaft sind, das "Selbsteheilungsvermögen" der Tondichtungsschichten behindern. Bei den Dichtungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen spielt darüber hinaus sicherlich die Austrocknung der mineralischen Dichtungsschichten in der Kombinationsdichtungsschicht eine größere Rolle als bei den Basisabdichtungen. Letztere sind in der Regel grundwassernah, Dichtungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen aber nicht. Wenn kein erheblicher Sickerwasserstau in der Deponie vorhanden ist, - was ja eigentlich nicht vorkommen sollte - liegt ein geschlossener Wasserspiegel sicher tiefer als 3 m unter der Dichtungsschicht des Deponieoberflächenabdichtungssystems. Bei größeren Abständen des geschlossenen Wasserspiegels von der Unterkante der mineralischen Dichtungsschicht als 3 m, also bei Deponieoberflächenabdichtungssystemen, ist es ratsam, Betrachtungen über die Möglichkeit der Austrocknung anzustellen und ggf. konstruktive Gegenmaßnahmen einzuplanen. Auf diese Frage wird hier nicht weiter eingegangen. Es wird auf die neueren Veröffentlichungen zu diesem Thema hingewiesen (7, 8).

Diese Probleme können aber nicht zum Verzicht auf eine Kombinationsdichtungsschicht im Deponieoberflächenabdichtungssystem führen, sondern höchstens zu geeigneten Maßnahmen, um die Dichtungsschicht ausreichend lange funktionsfähig zu halten. Einfache Dichtungsschichten aus Kunststoffdichtungsbahnen oder einfache mineralische Dichtungsschichten sind keine ernsthafte Alternative zu Kombinationsdichtungsschichten.

Am leichtesten lassen sich natürlich Oberflächenabdichtungssysteme auf Deponien herstellen, bei denen nur minimale Setzungen auftreten, weil die Setzungen bereits abgeklungen sind, was bei sehr alten Hausmülldeponien der Fall sein kann, aber auch bei Bauschuttdeponien, Schlackendeponien, Ablagerungen von Abfällen aus dem Bergbau, o. a., wenn diese gut verdichtet worden sind. Wenn der Deponiekörper beim Einbau sehr gut verdichtet worden ist, kann mit geringen und vor allem gleichmäßigen Setzungen gerechnet werden.

Wenn ein Deponieoberflächenabdichtungssystem angewendet wird, sollte dafür im Rahmen der Planung unbedingt eine Wasserhaushaltsberechnung durchgeführt werden, um eine begründete, zahlenmäßig fundierte Vorstellung von der Wirksamkeit des Systems zu erhalten (27). Nach Fertigstellung des Deponieoberflächenabdichtungssystems sollte die Überprüfung der Berechnungsergebnisse anhand von Meßergebnissen, die am tatsächlich ausgeführten Deponieoberflächenabdichtungssystem gewonnen wurden, Pflicht sein. Nur wenn man sich wirklich mit der Wirksamkeit des Deponieoberflächenabdichtungssystems auseinandersetzt, wird erreicht werden, daß die Anforderungen, die der Planung zugrunde lagen, auch in der Praxis erfüllt werden.

Zur Berechnung des Wasserhaushalts von Oberflächenabdichtungssystemen steht das Programmsystem HELP (Hydrologie Evaluation of Landfill Performance) zur Verfügung (9, 10). HELP simuliert den zeitlichen Verlauf von Oberflächenabfluß, Evapotranspiration (Verdunstung), Dränwasserabfluß und Durchsickerung von Dichtungen in Abhängig-

keit der Klimadaten für ein vorgegebenes Oberflächenabdichtungssystem. Die Ergebnisse lassen sich in täglichen, monatlichen oder jährlichen Intervallen ausgeben (10).

## **5. Soll man überhaupt einmal die Oberfläche von Hausmülldeponien abdichten?**

Siedlungsabfälle, also Hausmüll und sogenannte hausmüllähnliche Abfälle, können die ganze Palette der Schadstoffe enthalten, über die man im Rahmen des Umweltschutzes und des Grundwasserschutzes im besonderen diskutiert. Zugegebenermaßen sind die Schadstoffmengen im Sickerwasser aus Hausmülldeponien und im Deponiegas oft nicht sehr bedeutend im Verhältnis zu anderen Schadstoffmengen, die in die Umwelt emittiert werden. Außerdem sind die Konzentrationen im Deponiegas und im Sickerwasser nicht immer sehr hoch. Trotzdem werden die Emissionen aus Deponien besonders kritisch betrachtet, weil sie lokal bedeutend sein können.

Unbestritten spielen sich im Deponiekörper einer Hausmülldeponie eine Reihe von ungesteuerten physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen ab, wenn Feuchtigkeit zur Verfügung steht. Bei diesen Prozessen im Deponiekörper können auch neue Stoffe und Stoffverbindungen entstehen. Stoffe, die in den Abfällen relativ festgelegt waren, als sie auf der Deponie abgelagert wurden, können mobilisiert werden. Stoffe die mobil waren, können immobil werden.

Die abbaubaren organischen Schadstoffe in Hausmülldeponien werden im Laufe der Zeit abgebaut, d.h. es findet eine biologische Umsetzung in Deponiegas und in Sickerwasserinhaltsstoffe statt. Schwermetalle werden nicht abgebaut. Bei einem alkalischen Milieu mit pH-Werten zwischen 7 und 9 im Deponiekörper können Schwermetalle als Schwermetallsulfide immobilisiert werden. Bei pH-Werten über 9 können bestimmte Schwermetalle wieder mobil werden. Im Deponiekörper von Hausmülldeponien können praktisch alle vorstellbaren Reaktionen ablaufen, insbesondere, wenn Gewerbeabfälle aller Art und vielleicht sogar noch industrielle Abfälle gemeinsam mit Hausmüll abgelagert werden.

Weil aber, wie schon mehrfach betont, alle im Deponiekörper ablaufenden Prozesse ungesteuert sind, ist bisher eine Prognose der Sickerwasser- und der Deponiegaszusammensetzung nicht möglich. Es besteht auch sehr geringe Hoffnung, daß in näherer Zukunft solche Prognosen für Hausmülldeponien möglich sein werden.

Nach der Stabilisierung des Deponiekörpers wird zwar die Gasproduktion und werden die Setzungen abgeklungen sein, aber es werden weiterhin auslaugbare, schadstoffhaltige Abfälle in der Deponie abgelagert bleiben, die, wenn sie ungeschützt der atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt werden, verwittern und vom Niederschlagswasser ausgelaugt werden, so daß ein Schadstoffaustrag ins Grundwasser zu erwarten ist.

Durch ein Deponieoberflächenabdichtungssystem kann dieser Schadstoffstrom, wenn auch nicht von heute auf morgen, gestoppt werden. Würde die Oberflächenabdichtung im Laufe der Zeit wieder undicht, so hätte das sicherlich bei einem 'guten' Deponiekörper nicht eine unmittelbare starke Zunahme des Schadstoffstromes zur Folge. Die Verwitterungseinflüsse werden sich zunächst kaum und Auslaugungsprozesse nur langsam auf den Deponiekörper auswirken können. Unsere Nachkommen werden also relativ viel Zeit haben, um sich zu entscheiden, ob sie das unwirksam werdende Deponieoberflächenabdichtungssystem erneuern wollen oder nicht.

## 6. Wann soll man das Deponieoberflächenabdichtungssystem einbauen?

Es erscheint erforderlich eine Hausmülldeponie im Rahmen des Deponiebetriebes so weit wie irgend möglich zu stabilisieren, bevor ein Deponieoberflächenabdichtungssystem installiert wird. Eine Hausmülldeponie 'stabilisieren' bedeutet hier, den Abbau organischer Abfälle soweit wie möglich ablaufen zu lassen und auch ungesteuerte chemisch-physikalische Reaktionen zu aktivieren, um sie unter der Kontrolle des Deponiebetriebes abklingen zu lassen, damit man später vor bösen Überraschungen sicher ist. In dieser Zeit kann durch das Deponiebasisabdichtungssystem, ein sehr guter Grundwasserschutz erreicht werden, wenn eine qualitativ hochwertige Kombinationsdichtung verwendet wurde. Die Sickerwasserreinigung muß in dieser Zeit ohne Zweifel gewährleistet sein.

Zur 'Stabilisierung' der Hausmülldeponie gehört aber auch die Verdichtung der abgelagerten Abfälle, so daß langfristig die Setzungen und Sackungen des Deponiekörpers minimale Werte annehmen, bzw. auf minimale Werte abnehmen.

Über die Verdichtung von Hausmülldeponien durch Auflasten aus der Ablagerung von mineralischen Abfällen, z.B. Bauschutt oder Erdaushub, sollte nachgedacht werden.

Bei Hausmülldeponien, die vor dem Ende der Stabilisierungsphase, d.h. vor Ende der Nachbetriebsphase an der Oberfläche abgedichtet werden, muß Wasser in den Deponiekörper, unterhalb des Deponieoberflächenabdichtungssystems infiltriert werden, um die Abbauprozesse aufrecht zu erhalten.

Das Deponieoberflächenabdichtungssystem und das Bewässerungssystem müssen trotz der Setzungen, die zu erwarten sind, funktionsfähig bleiben.

Ein großer Vorteil der sofortigen Abdichtung der Deponieoberfläche, bei gleichzeitiger Infiltration von Wasser in den Deponiekörper, liegt in der unmittelbaren Zuordnung der Maßnahmen und der Kosten zum Deponiebetrieb.

Es wird sicherlich von mancher Seite als Widerspruch angesehen werden, daß einerseits die Deponieoberfläche abgedichtet wird, und andererseits Wasser in den Deponiekörper infiltriert wird. Es wird vermutlich auch nicht versäumt werden, dieses Konzept ins Lächerliche ziehen zu wollen.

Wenn geeignete Strategien gefunden werden, um die Installation des Deponieoberflächenabdichtungssystem nach Ende der Nachbetriebsphase, also nach Ende der Stabilisierung des Deponiekörpers, auch wirklich zu gewährleisten, kann man vielleicht auf die sofortige Oberflächenabdichtung verzichten. Die Installation eines Deponieoberflächenabdichtungssystems gewährleisten heißt hier, die Verfügbarkeit der finanziellen Mittel zu garantieren und sicherzustellen, daß das Deponieoberflächenabdichtungssystem auch wirklich eingebaut wird.

## 7. Wie soll ein Deponieoberflächenabdichtungssystem aufgebaut sein?

Im Grunde unterscheiden sich Deponieoberflächenabdichtungssysteme und Deponiebasisabdichtungssysteme nur gering. Für Deponieoberflächenabdichtungssysteme ist das Auflager der Deponiekörper. In der Regel werden Ausgleichsschichten notwendig werden, um ein Planum für die Dichtungsschichten zu schaffen. Die Ausgleichsschichten werden zweckmäßigerweise bei Hausmülldeponien als Entgasungsschichten aus-

gebildet werden, denn es ist nicht zu erwarten, daß man mit der Abdichtung der Oberfläche solange wartet, bis jegliche Gasbildung ausgeschlossen werden kann. Einen hundertprozentigen Abbau der abbaubaren organischen Substanz anzunehmen, wäre eine leichtfertige Übertreibung, die letzten Endes dem Image der Deponie nur schaden kann. Irgendwann, sicherlich nicht in allzu ferner Zeit, würde sich herausstellen, daß doch Gasprobleme auftreten, und daß man sich wieder einmal geirrt hat.

Der Schaden der entsteht während das Deponieoberflächenabdichtungssystem undicht ist, wird von der Zeit abhängen die vergeht, bis die Undichtigkeiten erkannt werden. Außerdem von der Zeit, die vergeht, bis die Undichtigkeiten wieder repariert worden sind. Sicherlich kann die Leckdetektionszeit verkürzt werden, wenn eine Leckanzeigeeinrichtung in das Deponieoberflächenabdichtungssystem integriert wird, und die Leckdetektion nicht über Grundwasserkontrollen erfolgt. Nach derzeitiger Erkenntnis kommt dafür nur ein doppeltes Dichtungssystem in Frage, bei der die unterste Dichtungsschicht eine Kombinationsdichtungsschicht ist. Für doppelte Deponieoberflächenabdichtungssysteme ist m. E. z. Z. eine Anlehnung an die Richtlinien der US EPA ratsam (17). Die US EPA hat zur Sensitivität von Leckdetektionsschichten interessante Untersuchungen durchführen lassen und daraus Richtlinien für die Messung der Leckwassermengen sowie für die Interpretation der Meßergebnisse entwickelt (16, 25). Darauf kann hier aber nicht eingegangen werden.

Die Kombinationsdichtungsschicht entspricht der in Deponiebasisabdichtungssystemen.

Die vegetationsfähige Schicht und die Entwässerungsschicht müssen so dick sein, daß die Dichtungsschicht nicht durch Frost- und Tauwechsel unwirksam werden kann. Die Dicke der vegetationsfähigen Schicht bestimmt sich außerdem durch die Nutzung, d.h. im allgemeinen durch die Wurzeltiefe der Pflanzen.

Die Niederschlagswässer, die in die Entwässerungsschicht einsickern können, müssen kontrolliert und schadlos abgeleitet werden.

Besonderer Aufmerksamkeit im Hinblick auf die langfristige Funktionsfähigkeit bedarf das Erosionsproblem. Die USEPA empfiehlt zur Beherrschung der Erosionsprobleme bei Oberflächenabdichtungssystemen die Beachtung der Universal Soil Loss Equation (USLE) des US Department of Agriculture (6), Danach darf die maximale jährliche Erosionsrate für keinen Teil der Oberfläche 2 tons/acre (entspricht etwa 5 t/ha) überschreiten, um die Bildung von Auskolkungen und damit künftige Unterhaltungsarbeiten zu minimieren.

In dem Entwurf der Österreichischen Richtlinien für Mülldeponien (11), wird für sogenannte geschlossene Deponien ebenfalls ein Deponieoberflächenabdichtungssystem gefordert. Der vorgeschlagene Aufbau ist folgendermaßen:

- Kiesflächenfilter 30 cm dick
- Dichtungsschicht aus mineralischem Material 60 cm dick
- Kiesflächenfilter mit Dränrohren zur Entwässerung der kulturfähigen Schlußabdeckung
- Geotextil
- kulturfähige Schlußabdeckung in einer der Folgenutzung angepaßten Mächtigkeit.

- Eine Durchwurzelung der darunterliegenden Entwässerungsschicht darf nicht erfolgen

Hierin ist als Dichtungsschicht nur eine einfache mineralische Dichtung vorgesehen!

## **8. Schlußfolgerungen und Empfehlungen**

Deponieoberflächenabdichtungssysteme sind für Hausmülldeponien nicht nur sinnvoll, sondern langfristig auch notwendig, um den Stoffaustrag aus der Deponie in die Umwelt zu minimieren. Das Vorsorgeprinzip im Umweltschutz gebietet, auch die Freisetzung derzeit tolerabler Stoffmengen und -konzentrationen zu vermeiden, wenn es mit angemessenen Maßnahmen entsprechend dem Stand der Technik, möglich ist. Das ist mit Deponieoberflächenabdichtungssystemen möglich.

Da bis heute auch nicht annähernd zuverlässig gezeigt werden kann, daß durch die Vegetationsschicht, die Oberbodenschicht und die Entwässerungsschicht der Wasserhaushalt so beeinflußt bzw. gesteuert werden kann, daß über das Jahr keine oder nur minimale Infiltrationen in den Deponiekörper erfolgen (27), ist eine Dichtungsschicht unumgänglich, wenn eine Infiltration verhindert oder auf ein Minimum reduziert werden soll. Durch Kontrolle der Wirksamkeit von Deponieoberflächenabdichtungssystemen in der Praxis, und dem langjährigen Nachweis, daß die Restwassermenge in der Entwässerungsschicht nahe Null liegt, kann möglicherweise erreicht werden, daß Deponieoberflächenabdichtungssysteme in 10 oder 20 Jahren anders, einfacher, billiger gebaut werden können.

Zur Planung von Deponieoberflächenabdichtungssystemen sollten Modelle zur Simulation des Wasserhaushaltes herangezogen werden. Ein geeignetes Modell ist das Modell HELP der US EPA (10). Die Ergebnisse der Simulationen sind in der Praxis zu überprüfen.

In den Deponiekörper soll - durch das Deponieoberflächenabdichtungssystem - weniger Wasser infiltrieren können, als durch die Dichtungsschicht des Deponiebasisabdichtungssystems in den Untergrund versickern kann. Deshalb sollten Deponieoberflächenabdichtungssysteme als Dichtungsschicht auch mindestens eine Kombinationsdichtungsschicht erhalten.

Doppelte Deponieoberflächenabdichtungssysteme ermöglichen eine relativ schnelle Anzeige von Leckagen, die infolge äußerer Einwirkungen entstanden sind.

Bei Deponieoberflächenabdichtungssystemen mit doppelten Dichtungsschichten muß die untere Dichtungsschicht eine Kombinationsdichtung sein, weil nach derzeitiger Erkenntnis nur dann eine ausreichende Empfindlichkeit des Systems erreicht werden kann. Für die Gestaltung doppelter Dichtungsschichten und für die Bewertung der Leckdetektionsergebnisse, sollten bis auf weiteres die Empfehlungen der US EPA beachtet werden (16, 17, 25).

Eine sorgfältige Qualitätssicherung hat für die Funktionsfähigkeit von Deponieoberflächenabdichtungssystem herausragende Bedeutung. Entsprechende Richtlinien und Empfehlungen müssen unbedingt beachtet bzw. auf den Einzelfall modifiziert angewendet werden (19, 20, 21, 22, 23).

Ob bei Hausmülldeponien das Deponieoberflächenabdichtungssystem sinnvollerweise sofort nach der Verfüllung eines Deponieabschnittes, also am Ende der Betriebsphase aufgebracht werden sollte, oder erst am Ende der Nachbetriebsphase, muß der Einzel-

fallprüfung vorbehalten bleiben. Wird der Abbau der organischen Substanz, das Abklingen der Deponiegasproduktion und das Abklingen der Setzungen abgewartet, bevor ein kostengünstiges, qualitativ hochwertiges Deponieoberflächenabdichtungssystem eingebaut werden kann, hat man folgende Probleme zu erwarten:

- die Berechnung der 'wahren' Kosten
- die Rücklage und die spätere Verfügbarkeit der Gelder, die mit den Abfallablagerungsgebühren eingenommen wurden.
- wie die Verantwortlichkeit des Deponiebetreibers für das Deponieoberflächenabdichtungssystem auch gewährleistet werden kann.

Baut man das Deponieoberflächenabdichtungssystem sofort am Ende der Betriebsphase ein (das gilt auch für Teilabschnitte), so muß dem Deponiekörper Wasser zugeführt werden, um den Abbau der organischen Substanz weiterlaufen zu lassen muß man die voraussichtlich großen Setzungen bei der Planung des Deponieoberflächenabdichtungssystems und des Bewässerungssystems berücksichtigen.

Die Reparatur von Deponieoberflächenabdichtungssystemen ist grundsätzlich einzuplanen. Die Nutzung der abgedichteten Deponieoberfläche muß darauf abgestimmt sein. Die Nutzer der Deponieoberfläche, aber auch die Anlieger sollten darauf vorbereitet werden, daß in 10, 20 oder 50 Jahren auf der gesamten Deponieoberfläche, zumindest aber auf Teilen, ein 'Kahlschlag'<sup>1</sup> erforderlich werden wird, um das Deponieoberflächenabdichtungssystem zu reparieren. Man kann sich schon heute vorstellen, daß sich Bürgerinitiativen bilden werden, die dagegen sind. Und man kann sich auch vorstellen, daß die Kostenträger geneigt sind abzuwägen, ob denn die Reparatur auch wirklich notwendig ist, zumal wenn Bürgerinitiativen dagegen sind. Es wird künftigen Generationen überlassen werden müssen, zu entscheiden, ob man den 'Kahlschlag', d. h. die Reparatur will. Wir haben aber dafür zu sorgen, daß eine Reparatur prinzipiell und wirtschaftlich angemessen möglich wird.

Diejenigen, die die Abfälle verursachen, die abgelagert werden müssen, sollen auch die langfristigen Kosten für die Beherrschung des Gefährdungspotentials einer Deponie zahlen.

Wer sich für die Hausmülldeponie statt für die Hausmüllverbrennung entscheidet, muß die Unsicherheiten, die eine Hausmülldeponie gegenüber einer Reststoffdeponie mit sich bringt, berücksichtigen. Er muß mehr Aufwendungen bei der Kontrolle des Deponieverhaltens inkaufnehmen, und er muß auch für die laufenden Nachbesserungen und Reparaturen bezahlen, die sicherlich bei Deponieoberflächenabdichtungssystemen von Hausmülldeponien notwendig werden.

## **9. Zusammenfassung**

In Hausmülldeponien werden in der Regel Abfälle abgelagert, die die breite Palette der Stoffe und Stoffverbindungen enthalten, die unsere Industriegesellschaft hervorbringt.

In Hausmülldeponien laufen ungesteuerte physikalische, chemische und biologische Prozesse ab. Eine einigermaßen zuverlässige Prognose der Sickerwasser- und der Deponiegaszusammensetzung, sowie des Verlaufes der Setzungen, ist bei den derzeit betriebenen Hausmülldeponien nicht möglich. Solch eine Prognose wird auch für Hausmülldeponien in Zukunft kaum möglich sein. Eine Prognose der Sickerwasserzu-

sammensetzung anhand der Ergebnisse der Eluate der Abfälle, gilt derzeit ebenfalls als unmöglich.

Die im Deponiekörper nach der rechnerischen Lebensdauer von Deponiebasisabdichtungssystemen verbleibenden Stoffe und Stoffverbindungen, werden in der Regel ein Schadstoffpotential darstellen, vor dem die Umwelt im allgemeinen, das Grundwasser aber im besonderen geschützt werden muß, wenn das Vorsorgeprinzip im Umweltschutz ernstgenommen wird.

Zur weitgehenden Verhinderung des Stoffaustrages aus Deponien sind Deponieoberflächenabdichtungssysteme geeignet, wenn die Entstehung von Sickerwasser ausschließlich von der Infiltration von Niederschlagswasser abhängt, der Zufluß von Fremdwasser also praktisch ausgeschlossen ist.

Die Dichtungsschicht in Deponieoberflächenabdichtungssystemen sollte unbedingt eine Kombinationsdichtung sein, wenn im Basisabdichtungssystem eine Kombinationsdichtungsschicht vorhanden ist.

Doppelte Dichtungssysteme ermöglichen eine schnellere Anzeige von Leckagen, die infolge äußerer Einwirkungen entstehen, als die Leckanzeige über den erhöhten Sickerwasserabfluß aus den Entwässerungsschichten des Deponiebasisabdichtungssystems oder über die Analyse des Grundwassers in den Grundwasserkontrollbrunnen.

Die Aufstellung und Einhaltung eines Qualitätssicherungsplanes ist unbedingt notwendig, um die planmäßige Funktionsfähigkeit des Deponieoberflächenabdichtungssystems sicherzustellen.

Die Reparatur und Erneuerung von Deponieoberflächenabdichtungssystemen muß von vornherein mit in die Planung und die Kostenrechnung einbezogen werden.

Es wird keine Deponieoberflächenabdichtungssysteme geben, die auf Ewigkeit halten.

## **10 Literaturverzeichnis**

(1) Zubiller, C. O.: Stand der TA-Abfall aus der Sicht eines Ländervertreeters. 7. Abfallwirtschaftliches Fachkolloquium, Kommunalen Abfallbeseitigungsverband Saar/Universität Stuttgart, 23. und 24. April 1987

(2) Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Merkblatt: Die geordnete Ablagerung von Abfällen (Deponie-Merkblatt, Stand 1. September 1979), Müllhandbuch Kennziffer 4690, 55. Lfg. 1/80, Erich Schmidt Verlag Berlin

(3) Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Sickerwasser aus Hausmüll- und Schlackendeponien - Informationsschrift - Oktober 1984, Müllhandbuch Kennziffer 4725, Lfg. 3/85, Erich Schmidt Verlag Berlin

(4) Landesamt für Wasser und Abfall NRW: Entwurf einer Richtlinie über die Untersuchung und Beurteilung von Abfällen, Teil 2: Empfehlungen zur Beurteilung der Ergebnisse von Abfalluntersuchungen - Beseitigung von Abfällen durch Ablagern unter besonderer Berücksichtigung wasserwirtschaftlicher Gegebenheiten, Düsseldorf, Juni 1987

(5) Stief, K.: Einkapselung von Altlasten, Vortrag beim Forum Umweltschutz, TÜV Rheinland GmbH, > Altlasten und kontaminierte Standorte <, Januar 1988

(6) USEPA: Draft RCRA Guidance Document: Landfill Design, Liner Systems and Final

Cover (to be used with RCRA Regulations Sections 264.301 (a) and 264.310 (a).

(7) Holzlöhner, U., Das Feuchteverhalten mineralischer Schichten in der Basisabdichtung von Deponien, (Veröffentlichung geplant) Müll und Abfall, 20. Jg. (1988), Heft 5

(8) Göttner, J.J. und Braun, G.: Das Austrocknungsverhalten des Tons in der Kombinationsdichtung -Folgerungen für das Deponierungskonzept- , (Veröffentlichung geplant) Müll und Abfall 20.Jg. (1988), Heft 5

(9) Schroeder, P.,R.: Gibson, A.C., Smolen, M.D., The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model, Environmental Protection Agency 530-sw-84-010, Cincinnati, Ohio

(10) Markwardt, N. und Reich G.: Das Programmsystem HELP zur Wasserhaushaltsberechnung von Deponien, Müll und Abfall, 19. Jg. Heft 12, 1987, Erich Schmidt Verlag

(11) Lechner, P., Pawlick, R., et. al.: Richtlinienentwurf für Mülldeponien, TU Wien Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau, Abtlg. Abfallwirtschaft, O. Univ. Prof. Dr. W. Kemmerling, Wien im September 1987

(12) Staupe, J.: Der Besorgnisgrundsatz beim Grundwasserschutz - Verdrängt durch Abfallrecht und Pflanzenschutzrecht? 150. Seminar Boden-/Grundwasser-Forum Berlin, FGU Berlin e.V. und IWS TU Berlin, Oktober 1987

(13) Lühr, H.P., Staupe, J.: Der Besorgnisgrundsatz beim Grundwasserschutz, Wasser und Boden, 1986, Heft 12, S. 600 - 603

(14) Stief, K.: Das Multibarrierenkonzept als Grundlage von Planung, Bau , Betrieb und Nachsorge von Deponien, Müll und Abfall, 18. Jg. (1986), Heft 1, S. 1 ff

(15) Stief, K.: Praxisnahe und realisierbare Deponiestrategien, Fortschritte der Deponietechnik 1987, Fehlau / Stief (Hrsg.), in Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis Bd. 19, Erich Schmidt Verlag Berlin, ISBN 3-503-02683

(16) US EPA: Liners and Leak Detection for Hazardous Waste Land Disposal Units; Notice of Proposed Rulemaking, Federal Register, Friday May 29, 1987; Part II, Environmental Protection Agency 40 CFR Parts 260, 264, 265, 270, and 271

(17) U SEPA: Draft Minimum Technology Guidance on Double Liner Systems for Landfills and Surface Impoundments - Design, Construction, and Operation, EPA/530-SW-85-014, Second Version, May 24, 1985

(18) Stief, K.: Zur Vorteilhaftigkeit der Verminderung von Sickerwasser durch Oberflächenabdichtung von Deponien, Wasser und Boden, 1979, Heft 9, S. 259 - 261

(19) USEPA: Technical Guidance Document: Construction Quality Assurance for Hazardous Waste Land Disposal Facilities. EPA/530-SW-86-031, OSWER Policy Directive No. 9472.003, October 1986

(20) Jessberger, H.L.: Qualitätssicherung beim Einbau von Deponieabdichtungen, in Fehlau/Stief (Hrsg.) Fortschritte der Deponietechnik 1985, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 15, Erich Schmidt Verlag Berlin, ISBN 3-503-02544-8

(21) Düllmann, H. : Geotechnische und baubetriebliche Einflüsse auf die Dichtigkeit von Deponieabdichtungen aus Ton - Ergebnisse von Praxisversuchen, in Fehlau/Stief (Hrsg.) Fortschritte der Deponietechnik 1987, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 19, Erich Schmidt Verlag Berlin, ISBN 3-503

-02683-5

(22) Rappert, J.: Kombinationsdichtung auf der Deponie Tonnenmoor, Landkreis Vechta - Aufgaben der Bauüberwachung, in Fehlau/ Stief (Hrsg.) Fortschritte der Deponietechnik 1987, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 19, Erich Schmidt Verlag Berlin, ISBN 3-503-02683-5

(23) Schwaab, R.: Basis bzw. Oberflächenabdichtung der Deponien Dreieich-Buchschatz, Mörfelden und Gerolsheim, unter besonderer Berücksichtigung der Qualitätssicherung, Symposium Deponiebauwerke Frankfurt 1987, Geotechnische Langzeitaspekte bei Sanierung oder Neuanlage von Abfalldeponien, Eigenverlag der FE-Gruppe an der Deponie Dreieich-Buchschatz über ETN Erdbaulaboratorium, 6303 Hungen/Oberhessen

(24) Jessberger, H.L.: Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten" der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. Bautechnik 64(1987), H. 9. S. 289-303, Wilhelm Ernst 6. Sohn, Berlin

(25) Grimski, D.: Dichtungssysteme für Deponien - Die bundesdeutschen Ansätze im internationalen Vergleich. Fachtagung 4.-5. Febr. 1988 in München: Die sichere Deponie; Grundwasserschutz mit Kunststoff-Dichtungsbahnen, Süddeutsches Kunststoff Zentrum Würzburg.

(26) Bundesamt für Umweltschutz: Leitbild für die Schweizerische Abfallwirtschaft, Schriftenreihe Nr. 51, Bern, Juni 1986

(27) Wohnlich, S.: Auswirkungen nachträglicher Grundwasserschutzmaßnahmen auf den Wasserhaushalt von Deponien unter besonderer Berücksichtigung von Oberflächenabdichtungen, Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe (Hrsg. Czurda, K./Hötzl, H.), 1,269 S. Karlsruhe 1987

-----  
Autor

Dipl.-Ing. Klaus Stief, früher Umweltbundesamt, Berlin  
jetzt <http://www.deponie-stief.de>

Quelle: Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft Band 29. Manuskriptsammelband zum Seminar „Zeitgemäße Deponietechnik II“. Erich Schmidt Verlag Berlin. 1988 ISBN 3-503-02070-5

Gescannt und redaktionell geringfügig bearbeitet Februar 2004