

Klaus Stief

Ablagern von Abfällen

1. Einleitung

Die Abfallentsorgung umfaßt das Gewinnen von Stoffen oder Energie aus Abfällen (Abfallverwertung) und das Ablagern von Abfällen, sowie die hierzu erforderlichen Maßnahmen des Einsammelns, Beförderns, Behandelns und Lagerns (AbfG § 1, Abs. 2).

Anlagen zum Ablagern von Abfällen sind Deponien.

Deponien sind für mineralische Abfälle unverzichtbar.

Deponien sind in der Vergangenheit, und sie werden nicht selten auch heute noch als Alternativen für Verbrennungsanlagen oder Kompostierungsanlagen angesehen, wenn wirtschaftliche Gründe gegen die Verbrennung und die Kompostierung zu sprechen scheinen.

Im Abfallgesetz ist der Vermeidung und Verwertung von Abfällen Vorrang vor der Ablagerung eingeräumt worden. Die Ablagerung von Abfällen auf Deponien kann deshalb nunmehr nicht mehr als Alternative zu Verwertungsverfahren angesehen werden.

Es wird aber wohl immer Abfälle geben, für die eine Verwertung aus hauptsächlich verfahrenstechnischen Gründen nicht möglich oder wirtschaftlich unzumutbar ist. Es wird sich dann die Frage stellen, ob diese Abfälle, wie bisher, ohne Vorbehandlung abgelagert werden können. Wenn man die derzeitigen Bemühungen zur Umsetzung des Vorsorgeprinzips beim Grundwasserschutz in der Praxis zum Erfolg führen will, wird die Antwort für die überwiegende Art der Abfälle »nein« lauten müssen.

Wir werden uns daran zu gewöhnen haben, daß auch und gerade an Abfälle, die abgelagert werden müssen, besondere Anforderungen hinsichtlich Auslaugbarkeit, Abbaubarkeit und Festigkeit gestellt werden, wenn die Deponien, die aus den Abfällen aufgeschüttet werden, ein vorhersehbares und akzeptables Langzeitverhalten haben sollen.

2. Grundsätzliches zur Ablagerung von Abfällen auf Deponien

Allgemeine Ziele der Deponietechnik sind:

Umweltveränderungen im Umfeld der Deponie sollen insgesamt gering sein,

Umweltveränderungen sollen auf kleine Bereiche im Umfeld der Deponie begrenzt bleiben,

unvermeidliche Umweltveränderungen sollen langsam und stetig erfolgen.

Bei Planung, Betrieb und nach der Stilllegung von Deponien muß das Multibarrierenkonzept beachtet werden.

Das Multibarrierensystem besagt, daß bei jeder Deponie immer mehrere Sicherheiten vorhanden sein müssen, um langfristig und einigermaßen zuverlässig die o.g. Ziele erfüllen zu können. [Stief, 1986]

Als »echte« Barrieren werden bezeichnet:

der Deponiestandort (insbesondere die geologischen und die hydrogeologischen Gegebenheiten),

das Deponiebasisabdichtungssystem,

der Deponiekörper (d.h. die stabile, immobile Festlegung der »Schadstoffe« in den Abfällen),

das Deponieoberflächenabdichtungssystem.

Darüberhinaus können als »unechte« Barrieren angesprochen werden:

die kontrollierte Nutzung der Deponieoberfläche nach der Verfüllung des Deponievolumens und Einbau des Deponieoberflächenabdichtungssystems,

die Kontrolle des Deponieverhaltens in der Betriebsphase, in der Nachbetriebsphase und in der daran anschließenden Nachsorgephase.

An die Wirksamkeit und die Funktionsfähigkeit der genannten Barrieren müssen konkrete Anforderungen gestellt werden, die man unmittelbar nach der Bauausführung und aber natürlich auch später, wenn der Deponiebetrieb läuft, und nach Stilllegung, überprüfen kann.

Die Planung einer Deponie beruht zwangsläufig auf Annahmen über Art und Menge der Abfälle, sowie über die zeitliche Folge der Anlieferung und über die räumliche Verteilung im Deponiekörper. Daraus folgt, daß auch für das Deponieverhalten nur Annahmen getroffen werden können. Es sollte selbstverständlich sein, daß die Annahmen im Rahmen des Deponiebetriebes überprüft werden, und daß bei ungünstigen Abweichungen der Annahmen über das Deponieverhalten von dem tatsächlichen Deponieverhalten korrigierende Maßnahmen getroffen werden.

Unter dem Begriff »Deponieverhalten« wird verstanden:

Sickerwasseremission (Menge, Zusammensetzung, zeitlicher Verlauf),

Gasemission (Menge, Zusammensetzung, zeitlicher Verlauf)

Temperaturverhältnisse im Deponiekörper,

Setzung des Deponiekörpers,

Immobilität/Mobilität der Schadstoffe im Deponiekörper (chemische Bindungen, Abbaugrad organischer Abfälle),

Festigkeit der Abfälle,

Funktionsfähigkeit und Zustand der Entwässerungssysteme,

Wirksamkeit und Zustand der Dichtungsschichten,

ggf. Funktionsfähigkeit und Zustand der Leckdetektionssysteme,

Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit,

Veränderung des Kleinklimas im Umfeld der Deponie,

Setzungen des Deponieuntergrundes.

Abfälle, die auf einer bestimmten Deponie abgelagert werden können, müssen festgelegte Kriterien für die »Deponierbarkeit« auf dieser Deponie erfüllen [LWA, 1987; Drescher, 1988 c].

Grundsätzlich wird man bemüht sein, die Kriterien für die Deponierbarkeit landes- oder sogar bundeseinheitlich festzulegen. Diese Vereinheitlichung hat aber zur Konsequenz, daß die Berücksichtigung örtlicher Standortgegebenheiten oder spezieller Bauausführungen bei Deponieabdichtungen, Schächten, etc. nicht möglich sein wird.

Die Kriterien für die Deponierbarkeit von Abfällen werden dadurch bestimmt, daß die Sickerwasseremissionen und die Gasemissionen in bestimmten vorgegebenen Grenzen bleiben sollen, und daß der Deponiekörper die rechnerisch erforderliche Stabilität haben soll.

Die besondere Schwierigkeit bei der Festlegung der Kriterien für die Deponierbarkeit liegt in der Tatsache, daß bei der Prüfung sowohl das Langzeitverhalten des einzelnen Abfalls im Deponiekörper allein, als auch das Langzeitverhalten bei gemeinsamer Ablagerung mit anderen,

u. U. nur sehr ungenau zu beschreibenden Abfällen, abgeschätzt werden müßten, um zu entscheiden, ob durch den zu prüfenden Abfall das geforderte Deponieverhalten nicht nachteilig beeinflußt wird.

3. Möglichkeiten der Deponietechnik

Die Möglichkeiten der Deponietechnik zur Verminderung und langfristigen Beherrschung der Emissionen sind abhängig von der Wirksamkeit und Funktionsfähigkeit der o.g. Barrieren.

Deponietechnik ist eben nicht nur der Deponiebetrieb, der Einbau der angelieferten Abfälle in den Deponiekörper, im engeren Sinne. Unter Deponietechnik kann im weitesten Sinne auch die Standortwahl, die Planung, die Ausführung und die Unterhaltung der Abdichtungssysteme und der Deponiebetrieb verstanden werden. Es würde aber wohl zu weit gehen, auch die Vorbehandlung der Abfälle, mit dem Ziel sie deponierbar zu machen, zur Deponietechnik zu zählen.

3.1 Deponiestandort

Die Wahl eines geeigneten Deponiestandortes ist von großer Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der Transportkosten, für den Nachbarschaftsschutz und nicht zuletzt für die Barrierewirkung gegen die Schadstoffausbreitung im Untergrund.

Um den geeigneten Deponiestandort aus einer Reihe von Alternativstandorten auszuwählen, werden die unterschiedlichsten Bewertungsverfahren angewendet. *Seng* [1979 und 1983] hat eine Methode entwickelt mit der es möglich ist, auf rationale Weise zu einer Standortbewertung zu kommen. Denkbare Auswirkungen von Hausmülldeponien auf die Nachbarschaft und den Untergrund werden aufgelistet, natürliche Gegebenheiten oder künstliche Maßnahmen zur Verminderung der Umweltauswirkungen werden geprüft, inwieweit und in welchem Maße sie geeignet sind, die Umweltbeeinträchtigungen zu mindern. Entsprechend der Eignung werden Bewertungen vorgenommen, die nach einer Gewichtung zu einer Gesamtpunktzahl addiert werden. Aus den Punktesummen für die alternativen Deponiestandorte ergibt sich der relativ beste Standort.

Natürlich kann man um die Gewichtung der einzelnen Kriterien streiten, und es gibt keinen Zweifel, daß immer gestritten wird, wenn die Entscheidung gegen die örtlichen Interessen ausgefallen ist. Aber die Entscheidung ist nachvollziehbar, was zweifellos ein Vorteil ist, auch wenn es von den Beteiligten nicht immer so empfunden wird, weil transparente Entscheidungen immer zu langwierigen Debatten mit Opponenten führen. Zweifellos werden transparente Standortentscheidungen, aus denen eben auch die Schwächen des jeweiligen Standortes deutlich werden, mißbraucht, um überhaupt zu verhindern, daß eine Deponie eingerichtet wird.

Der Nachbarschaftsschutz hat bei der Standortwahl für eine Deponie eine hohe Priorität, nicht zuletzt um in der Bevölkerung für Deponien eine höhere Akzeptanz zu erreichen.

Aus der Sicht des langfristigen Umweltschutzes ist es aber noch wichtiger einen geologisch und hydrogeologisch geeigneten Standort zu finden. [*Dörhöfer*, 1988]

Kriterien für die Eignung sind:

hohe Sorptionskapazität des Untergrundes für Schwermetalle,

geringe Wasserdurchlässigkeit (große Dichtigkeit) des Untergrundes/Gebirgsdurchlässigkeit,

Lage des Grundwasserdruckspiegels mindestens 1 m unter der Deponiesohle bzw. Lage des Deponiekörpers außerhalb der Zone aktiver Grundwasserbewegung,

geringe Mächtigkeit und Ergiebigkeit der Grundwasserleiter,

Lage außerhalb eines wasserwirtschaftlich zu schützenden Gebietes (festgesetzte oder geplante Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete — im Gebietsentwicklungsplan festgelegte Bereiche für die Wasserwirtschaft),

kein oder nur sehr geringer Zufluß von Fremdwasser.

Um einen ungewollten Aufstau von Sickerwasser in den Deponiekörper dauerhaft zuverlässig und weitgehend wartungsfrei zu verhindern, muß für das Sickerwasser eine freie Vorflut vorhanden sein. D.h. Deponien müssen als Hochdeponien oder als Hangdeponien angelegt werden. Grubendeponien haben keine freie Vorflut. Unkontrollierte, unsichtbare Sickerwasserausstritte sind nur schwer zu kontrollieren. Hoch- und Hangdeponien sind allerdings sehr erosionsempfindlich.

Die Nutzung von Sand- und Kiesgruben, von Steinbrüchen und von ungeeigneten Tongruben als Deponiestandort, um mit dem abgelagerten Abfall auch gleichzeitig Landschaftspflege zu erreichen, ist aus der Sicht des Grundwasserschutzes wohl nur in Ausnahmefällen zu verantworten.

Für jeden Deponiestandort sollte vorsorglich geprüft werden, wie sich Sickerwasser, das in den Untergrund infiltriert, ausbreitet. Im Rahmen der Deponieplanung ist dazu eine Simulation der Schadstoffausbreitung erforderlich, der Annahmen für Menge und Zusammensetzung der Sickerwässer zugrundeliegen müssen. Außerdem müssen die maßgeblichen Parameter des Untergrundes, durch die die Schadstoffausbreitung bestimmt wird, eingegeben werden. Dazu ist eine gründliche Erkundung der geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten unerlässlich [Schneider und Tietze, 1987; Zipfel, 1988].

Die Simulation für die Sickerwasserausbreitung muß entsprechend den wasserwirtschaftlichen Veränderungen im »Einzugsgebiet« der Deponie sowie entsprechend der tatsächlichen Sickerwasserzusammensetzung nach Verfüllung der Deponie korrigiert werden. Erst dann wird man in der Lage sein, langfristig zuverlässige Vorkehrungen zur Beherrschung denkbarer Sickerwasserableitungen in den Untergrund zu planen und die notwendigen baulichen Maßnahmen im Zusammenhang mit der Stilllegung der Deponie vorzunehmen.

Für den Nachbarschaftsschutz ist der Abstand der Deponie von schützenswerten Gebieten, insbesondere aber auch von Gebieten mit Wohnbebauung, sehr wichtig. Bundeseinheitliche Abstandsregeln sind auch im Deponiemerkblatt [LAGA, 1979] nicht festgelegt. Es wird bisher im Rahmen der Planfeststellung im Einzelfall geprüft, ob der geplante Abstand zur Nachbarschaft ausreicht, um eine Beeinträchtigung des Wohles der Allgemeinheit zu gewährleisten. Ohne Zweifel bietet aber ein größerer Abstand bei gleichen Betriebsmaßnahmen eine größere Sicherheit dieses Ziel zu erreichen, als ein kleinerer.

3.2 Deponiebasisabdichtungssystem

Das Deponiebasisabdichtungssystem besteht aus (von oben nach unten):

Schutzschicht,

Entwässerungsschicht (einschließlich der Entwässerungsrohre),

Dichtungsschicht (im Ausnahmefall mit Leckdetektionsschicht),

Planum.

Stand der Technik für die Dichtungsschicht ist die Kombinationsdichtung [August, 1986; Stief, 1984]. Eine Kunststoffdichtungsbahn wird unmittelbar auf eine mineralische Dichtungsschicht so aufgelegt, daß ein Preßverbund entstehen kann. Damit werden Fehlstellen in der Kunststoffdichtungsbahn durch die mineralische Dichtungsschicht kompensiert, und die mineralische Dichtungsschicht wird durch die Kunststoffdichtungsbahn vor dem hoch belasteten Sickerwasser »geschützt«.

Als Kunststoff für die Kunststoffdichtungsbahn ist PEHD am besten gegenüber einer breiten Palette an Chemikalien beständig. Das ist von großer Bedeutung, wenn die Sickerwasserzusammensetzung nur sehr unsicher prognostizierbar ist, wie das insbesondere auch bei Hausmülldeponien der Fall ist. Die Dicke der Kunststoffdichtungsbahn ist mindestens 2,0 mm. Es gibt aber eigentlich keinen

vernünftigen Grund für die Dicke der Kunststoffdichtungsbahn nicht 3,0 mm zu wählen und damit den Grundwasserschutz in der Betriebsphase der Deponie dem Stand der Technik entsprechend zu erhöhen. Hier erscheint der Vorwurf der übertriebenen Sicherheit unpassend und unbegründet [August, 1988].

Die mineralische Dichtungsschicht wird in der Regel aus 20 cm dicken Lagen, die miteinander »verzahnt« sind, aufgebaut. In der Regel wird als Gesamtdicke der mineralischen Dichtungsschicht bei Hausmülldeponien mindestens 60 cm gewählt. Hinsichtlich des Mindesttongehaltes gibt es bisher ebensowenig verbindliche Festlegungen, wie für die Art der Tonminerale. Im Entwurf für die TA Abfall ist für mineralische Dichtungsschichten bei Sonderabfalldeponien ein Anteil an Feinstkorn ($< 2 \mu\text{m}$) von 20 Gew.-% gefordert. Davon müssen mehr als die Hälfte aus Tonmineralien bestehen. [Drescher, 1988a]

Vom Arbeitskreis »Deponien und Altlasten der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau sind Empfehlungen herausgegeben worden, in denen deutlich gemacht wird, daß der Beständigkeit der mineralischen Dichtungsschichten gegenüber dem Sickerwasser und der tonmineralischen Zusammensetzung große Bedeutung zukommt und welche Analysen erforderlich sind, um zuverlässige Abschätzungen über die mögliche Veränderung der Wirksamkeit machen zu können [Jessberger, 1987; Jessberger, 1988].

Doppelte Deponiebasisabdichtungssysteme, bei denen zwischen zwei Dichtungsschichten eine Leckdetektionsschicht vorhanden ist, sowie Kontrollstollen unter den Dichtungsschichten im gewachsenen Untergrund, bringen kaum mehr Sicherheit für den Grundwasserschutz, als einfache und zweifache Kombinationsdichtungsschichten. Die scheinbar mit der Kontrollierbarkeit verbundene Möglichkeit der Reparierbarkeit ist realistisch gesehen nur unmittelbar nach der Herstellung und in den ersten Betriebsjahren gegeben. Es erscheint vorteilhafter nicht kontrollierbare wartungsarme Basisabdichtungssysteme von hoher Qualität zu planen und auszuführen, und die Konzeption des Deponiekörpers und der Oberflächenabdichtung auf eine begrenzte Lebensdauer der Basisabdichtung abzustellen, als sich durch Scheinsicherheiten verleiten zu lassen ungeeignete Abfälle abzulagern [Stief, 1987].

Von großer Wichtigkeit für die Funktionsfähigkeit des gesamten Deponiebasisabdichtungssystems ist die Funktionsfähigkeit der Entwässerungsschicht [Ramke, 1987].

Für die Entwässerungsschichten ist chemisch und physikalisch stabiles, gut wasserwegesames Material (vorzugsweise Rundkorn) zu verwenden. Die Körnung soll 16/32 mm sein, so daß ein Durchlässigkeitsbeiwert von $k \gg 10^{-3} \text{m/s}$ langfristig erhalten bleibt. Die Dicke der Entwässerungsschicht soll nicht geringer als 30 cm sein. Dicken von 50 cm sind empfehlenswert. Ein Sickerwasseraufstau in den Abfall soll nicht möglich sein.

Die Entwässerung wird durch geradlinig verlegte, spülbare Entwässerungsröhre von möglichst DN 300 mm unterstützt. Durch regelmäßige Kamerainspektion können sowohl Verockerungen als auch mechanische Schäden durch Auflast (zerbrochene Rohrpartien) leicht festgestellt werden.

Das Gefälle der Entwässerungsschichten soll möglichst groß sein. Empfehlenswert sind mindestens 3% für das Quer- und das Längsgefälle [Ramke, 1987].

3.3 Deponiekörper/Deponiebetrieb

Der Deponiekörper ist die eigentliche Deponie. Durch die abgelagerten Abfälle wird das langfristige Deponieverhalten bestimmt.

Vor Ablagerung, im Rahmen der Eingangskontrolle, werden die Abfälle gewogen, die Zulässigkeit der Ablagerung wird kontrolliert und ggf. werden die Abfälle auch chemisch untersucht. Bei Hausmülldeponien ist die Eingangskontrolle auf kleine Mengen nicht

zugelassener Abfälle natürlich besonders schwierig und niemals hundertprozentig möglich. Deshalb ist wichtig, daß das gesamte System der Abfallentsorgung so organisiert ist, daß nur in ganz geringem Maße das Bedürfnis und die Möglichkeit besteht, unzulässige Abfälle in den Hausmüll »zu mogeln« [Boll, 1987].

Sollen auch andere Abfälle mit Siedlungsabfällen gemeinsam abgelagert werden, dann müssen diese hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung und der Auslaugbarkeit bestimmte Kriterien erfüllen. Im Entwurf einer Richtlinie des Landes Nordrhein-Westfalen sind solche Kriterien im Detail festgelegt [LWA, 1986].

Zum Deponiebetrieb gehört auch der Betrieb und die Unterhaltung der Anlagen zur Sickerwasserfassung an der Deponiebasis, der Sickerwasserableitung zu einer Sickerwasserreinigungsanlage und in Ausnahmefällen auch der Betrieb einer deponieeigenen Sickerwasserreinigungsanlage [Stegmann, 1983].

Zum Deponiebetrieb von Hausmülldeponien gehört weiterhin der Betrieb der Entgasungsanlagen und ggf. auch der Anlagen zur Deponiegasnutzung [Tabasaran und Rettenberger, 1987; Franzius, 1987 a].

Auf größeres Unverständnis stößt häufig, daß zum Deponiebetrieb auch die Kontrolle des Langzeitverhaltens der Deponie gehört und der Vergleich der Meßergebnisse mit den Annahmen, die bei der Planung und der Genehmigung gemacht wurden. Aber die Einsicht, daß diese Maßnahmen erforderlich sind, setzt sich durch [Friedrichs und Eixler, 1987; Bothmann, 1987].

Für den Deponiebetrieb muß qualifiziertes Personal zur Verfügung stehen. Ingenieure und Techniker werden neben gelernten Ver- und Entsorgern erforderlich sein, um Hausmülldeponien zu betreiben, die den allgemeinen gesetzlichen Anforderungen, sowie den gesteigerten, speziellen Anforderungen an das Langzeitverhalten der abgelagerten Abfälle entspricht.

Für das Langzeitverhalten der abgelagerten Abfälle (des Deponiekörpers) sind maßgebend:

Art und Menge der Abfälle,
chemische Zusammensetzung,
Auslaugbarkeit,
biologische Abbaubarkeit,
Reaktivität mit Wasser und mit anderen Abfällen,
Festigkeit.

Besonders eng hängen der Deponiebetrieb und der Nachbarschaftsschutz zusammen. Für den Nachbarschaftsschutz bzw. die Nachbarschaftsbeeinträchtigungen sind maßgebend:

Staubemissionen, Verwehungen,
Geruchsemissionen [Harkort, 1987; Jager, 1984],
Lärmemissionen
durch den Anlieferverkehr,
beim Einbau der Abfälle,
Ungeziefer [Iglisch, 1982),
Vögel [Vauk, 1985).

Nachlässigkeiten bei der Planung und Durchführung des Deponiebetriebes sowie falsche Kostenüberlegungen, falsche Sparsamkeit, führen zur Verärgerung der in der Nachbarschaft einer Deponie lebenden Bürger. Schlechte Beispiele sprechen sich

besonders schnell herum. Und die Verantwortlichen, auch die Kommunalpolitiker, sollten sich nicht wundern, wenn die Bevölkerung Versprechungen, daß es bei der neuen Deponie viel besser werden wird, skeptisch gegenübersteht.

Zum Deponiebetrieb gehört auch die Unterhaltung, Instandsetzung und Reparatur von Anlagen zur Fassung und kontrollierten Ableitung von Sickerwasser, Oberflächenwasser und des Deponiegases, ferner die Kontrolle des Deponieverhaltens nach Stilllegung der Deponie, bis die Meßwerte für die maßgebenden Parameter auf akzeptable Werte abgesunken sind, also in der Nachbetriebsphase.

3.4 Deponieoberflächenabdichtungssystem [Stief, 1988]

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, was nicht sein soll.

Das Deponieoberflächenabdichtungssystem besteht in der Regel aus folgenden Komponenten:

Vegetationsschicht,
vegetationsfähige Schicht (Oberboden),
Entwässerungsschicht (Dränschicht),
Dichtungsschicht,
Entgasungsschicht (Gasdränschicht),
Planum.

Im Grunde 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. Einfache Dichtungsschichten aus Kunststoffdichtungsbahnen oder einfache mineralische Dichtungsschichten sind keine ernsthafte Alternative zu Kombinationsdichtungsschichten.

Am leichtesten lassen sich Oberflächenabdichtungssysteme für und 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 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 bereits im Rahmen der Planung unbedingt eine Wasserhaushaltsberechnung durchgeführt werden, um eine begründete, zahlenmäßig fundierte Vorstellung von der Wirksamkeit des Systems zu erhalten [Markwardt, 1988]. 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.

Es wurde schon mehrfach betont, daß die Ablagerung mineralischer Abfälle vorteilhafter ist, als die Ablagerung von organischen Abfällen, die biologisch abbaubar sind. Wenn aber die Ablagerung von Hausmüll und anderen brennbaren oder kompostierbaren Abfällen — aus welchen Gründen auch immer — vorgenommen wird, erscheint es erforderlich eine

Hausmülldeponie im Rahmen des Deponiebetriebes soweit wie irgendmöglich 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 der Stabilisierungsphase 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, ggf. auch die Nachverdichtung, so daß langfristig die Setzungen und Sackungen des Deponiekörpers minimale Werte annehmen, bzw. auf minimale Werte abnehmen.

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.

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

Der Schaden, der entsteht wenn 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.

Die vegetationsfähige Schicht und die Entwässerungsschicht zusammen 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.

Besonderer Aufmerksamkeit im Hinblick auf die langfristige Funktionsfähigkeit bedarf, insbesondere bei Hochdeponien, das Erosionsproblem.

3.5 Messungen und Dokumentation des Deponieverhaltens

In der Planungsphase einer Deponie ist normalerweise nicht bekannt, welche Hauptschadstoffe in den Abfällen sein werden, und welche Mengen von diesen

Schadstoffen im Deponiekörper noch gespeichert sein werden, wenn die Deponie stillgelegt wird. Das Risikopotential einer Deponie ist also bei der Planung nur in ganz groben Grenzen abzuschätzen.

Deshalb sind der Aufbau des Deponiekörpers und die Emissionen sorgfältig zu messen und die Meßergebnisse zu dokumentieren.

Die Dokumentation des Deponieverhaltens kann durch eine regelmäßige »Erklärung zum Deponieverhalten« unterstützt werden.

Die Erklärung zum Deponieverhalten sollte mindestens folgende Angaben umfassen:

Art, Menge und Zusammensetzung der Abfälle; Lokalisierung im Deponiekörper,

Mobilität der Schadstoffe im Deponiekörper,

Menge und Zusammensetzung des Deponiegases bzw. der gasförmigen

Emissionen,

Menge und Zusammensetzung des Sickerwassers,

Setzung des Deponiekörpers,

Ablagerungsdichte,

Funktionsfähigkeit des Deponieoberflächenabdichtungssystems,

Funktionsfähigkeit des Deponiebasisabdichtungssystems,

Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit.

Natürlich wird es erforderlich sein, die Sickerwasser- und Gasemissionen, die Setzungen und die Ablagerungsdichte nicht nur einmal, sondern regelmäßig, täglich, wöchentlich oder monatlich zu messen. Die Messungen dürfen auch nicht nur auf einem Punkt der Deponie beschränkt werden, sondern sie sollten das Deponieverhalten möglichst flächendeckend erfassen. Die Meßhäufigkeit bestimmt sich aus der mathematisch-statistisch ermittelten Aussagekraft der Daten. Selbstverständlich ist es erforderlich, die Messungen mit geeichten und zuverlässig arbeitenden Meßgeräten vorzunehmen [Tybus, 1987].

Die »erklärten« Daten werden relativ zuverlässig Informationen über Art und Menge der Hauptschadstoffe geben, die für die Abschätzung der Umweltbeeinträchtigungen von Bedeutung sind. Man wird auch, genauer als das heute der Fall ist, wissen welche Abfälle, wann, wo abgelagert worden ist, und wieviel Schadstoffe über das Sickerwasser und die gasförmigen Emissionen aus der Deponie ausgetragen worden sind. Insbesondere wird die Beschreibung der Mobilität der Schadstoffe im Deponiekörper helfen, das Gefahrenpotential der Deponie besser abschätzen zu können.

Durch die Erklärung zum Deponieverhalten, die mindestens jährlich abgegeben werden sollte, wird es möglich werden, Daten zur Verfügung zu haben, anhand derer das Langzeitverhalten der Deponie prognostiziert werden kann.

4. Erfahrungen mit dem Deponieverhalten von Hausmülldeponien

Menge und Zusammensetzung von Sickerwasser und Deponiegas werden an der überwiegenden Anzahl der Hausmülldeponien gemessen. Auch gibt es sicher aus einer ganzen Reihe von Setzungsmessungen Ergebnisse. Eine unübersehbare Datenfülle stünde zur Verfügung. Allerdings wird die Qualität der Daten in aller Regel als unzureichend angesehen, so daß eine vergleichende Auswertung von Deponieverhalten und Deponiebetriebsbedingungen verschiedener Deponien nicht möglich ist. Aber auch die Auswertung der Zusammenhänge zwischen Deponiebetrieb und Deponieverhalten an jeder einzelnen Deponie ist bisher nur unzureichend gelungen. Die

Grundvoraussetzungen dafür sind geschaffen worden. Sie sollten stärker genutzt werden [Bothmann, 1987; Tybus, 1987; Friedrichs und Eixler, 1987].

4.1 Sickerwasser

Als Faustwert bei Hausmülldeponien gilt: Sickerwassermenge ca. 25% der Niederschlagsmenge.

Das führt rechnerisch bei einer Niederschlagshöhe von 700 mm/a zu Sickerwasserspenden von ca. 175 mm/a oder 4,8 m³/ha.d. Sehr viel größere Spitzenabflüsse sind gemessen worden [LAGA, 1984, Ehrig, 1982].

In der Informationsschrift »Sickerwasser aus Hausmüll- und Schlackendeponien« [LAGA, 1984] sind Erfahrungswerte für die Beschaffenheit von Sickerwässern aus Hausmülldeponien während der Betriebszeit zusammengestellt, aus denen insbesondere auch die Spannweite zwischen den minimalen, mittleren und maximalen Konzentrationen von Sickerwasserinhaltsstoffen deutlich wird. Es muß betont werden, daß in zahlreichen Fällen auch Konzentrationen gemessen wurden, die weit über den angegebenen Maximalkonzentrationen liegen; das gilt insbesondere für chlorierte Kohlenwasserstoffe, denen man erst in den letzten Jahren erhöhte Aufmerksamkeit schenkt. Insgesamt gesehen ist die Sickerwasseranalyse bisher mehr auf die Bestimmung von Parametern ausgerichtet, die für die Sickerwasserreinigung von Bedeutung ist, als auf Parameter, die für die Abschätzung der Gefährdung des Grundwassers wichtig sind.

Sickerwasser muß grundsätzlich einer Reinigungsanlage zugeleitet werden. Welche Reinigungsverfahren geeignet sind, hängt von der Menge und der Zusammensetzung des Sickerwassers ab. Für Sickerwasser aus Hausmülldeponien dürften biologische Verfahren, ggf. in Kombination mit chemisch/physikalischen Anlagen grundsätzlich geeignet sein [Knoch und Stegmann, 1982; Lemmer, 1987].

Für Sickerwasser aus Sonderabfalldeponien ist z.B. die Sickerwassereindampfung großtechnisch erprobt. Die Anwendung nur eines Verfahrens allein wird in der Regel nicht zu einer befriedigenden Lösung führen. Die beste Reinigungsleistung ist durch eine optimale Kombination mehrerer Verfahrensschritte bei Kenntnis der Sickerwasserzusammensetzung zu erzielen [Matthes, 1988].

4.2 Deponiegas

Daß dem Deponiegasproblem Beachtung geschenkt werden muß, wird, wenn es nicht schon selbstverständlich ist, durch einen einfachen Vergleich deutlich [Tabasaran und Rettenberger, 1987]: »Von einer 20m hoch aufgeschütteten (Hausmüll)Deponie emittieren täglich im Durchschnitt pro Hektar etwa 8 m³ (t) Sickerwasser mit ca. 120 kg Feststoffen, im Maximum aber ca. 16t (!) Deponiegas mit ca. 32 kg Spurenbestandteilen. Damit ist der Schwund des Deponiekörpers zu diesem Zeitpunkt über die Gasphase über 130 mal größer als jener über die wässrige Phase (Sickerwasser)«.

Deponiegas setzt sich normalerweise aus 44-66 Vol.-% Methan (CH₄) und 55—33 Vol.-% Kohlendioxid (CO₂) zusammen. Aus einer Tonne Hausmüll können bei vorsichtiger Schätzung 60—180 m³ Deponiegas in einem Zeitraum von 15 Jahren gewonnen werden.

Außer Methan und Kohlendioxid sind aber eine Fülle von Spurenstoffen gemessen worden, die deutlich machen, daß die Schadstoffbelastung des Hausmülls erhebliche negative Auswirkungen auf die Emissionen haben [Rettenberger, 1984] und durch die die Deponiegasnutzung erheblich beeinträchtigt werden kann [Angrick, 1987].

Vor einigen Jahren war das Interesse an Kenntnissen über Menge und Zusammensetzung von Deponiegas hauptsächlich dadurch begründet, daß eine Gefährdungsabschätzung vorgenommen werden sollte [LAGA, 1983].

Seit 1980 ist das Interesse an diesen Kenntnissen maßgeblich dadurch bestimmt, daß das Deponiegas genutzt werden soll. Die Verbrennung von Deponiegas zur Erzeugung von

Heiz- und Prozeßwärme und zur Erzeugung von elektrischer Energie hat sich bundesweit durchgesetzt. Im Jahre 1986 waren 29 Anlagen zur Wärmeerzeugung und 26 Anlagen zur Verstromung in Betrieb [Franzius, 1987 b].

Insbesondere die Tatsache, daß sich explosionsfähige Gas-Luft-Gemische bilden können, erfordern, daß sicherheitstechnische Aspekte von Entgasungs- und Gasverwertungsanlagen mit Priorität beachtet werden [Müller und Rettenberger, 1986 und 1987].

4.3 Setzungen

Setzungen des Deponiekörpers können zu Verformungen an der Deponieoberfläche führen, durch die das Deponieoberflächenabdichtungssystem, aber auch andere bauliche Einrichtungen, z.B. Schächte, Entgasungsanlagen erheblich beeinträchtigt werden können.

Setzungen sind die Folge von unzureichender Verdichtung und biologischen Abbauprozessen organischer Abfälle.

Setzungen sind besonders groß bei Hausmülldeponien wegen der Art der Abfälle und des biologischen Abbaus, trotz des Einsatzes von Kompaktoren bei Einbau des Haus- und Sperrmülls. Sie sind aber auch bei Bauschuttdeponien und Schlackendeponien von Bedeutung, weil hier in der Regel die Abfälle nur mit Planiertrauben eingebaut werden.

Mit zunehmender Einbaudichte geht die Setzungsgeschwindigkeit nach Abschluß der Deponie zurück. Jährliche Setzungen (mm/m Deponiehöhe) von > 10 mm werden als schlecht, von 5 mm als befriedigend und von < 1 mm als sehr gut bezeichnet. Über den längerfristigen Verlauf von Setzungen liegen unzureichende Erfahrungen vor [Wiemer, 1983].

Den Mehrkosten für die bessere Verdichtung bei Hausmülldeponien steht, in Abhängigkeit von der Einbautechnik, ein Volumengewinn von ca. 10 - 20% bei guter Technik und 20 - 40% bei sehr guter Technik gegenüber. Damit wird deutlich, daß der betriebliche Mehraufwand geringer ist als die eingesparten Kosten für den Kapitaldienst pro m³ eingesparten Deponievolumens [Wiemer, 1983].

Die Einbaudichte schwankt je nach Einbautechnik, Typ der verwendeten Maschinen und der Art des Geräteinsatzes zwischen 0,6 und 1,2 t/m³. Die endgültige Dichte liegt, in Abhängigkeit von den Deponiegegebenheiten, höher. Besonders hohe Ablagerungsdichten von 1,45 t/m³ konnten beim Einbau von Rottemüll nachgewiesen werden [Wiemer, 1983].

Es muß aber festgestellt werden, daß die regelmäßige Messung der Ablagerungsdichte und der Setzungen, sowie die Auswertung der Abhängigkeiten von Parametern des Deponiebetriebes bisher in unzureichendem Maße erfolgt. Über die wenigen brauchbaren Masseergebnisse wird zu wenig veröffentlicht.

5. Nutzung von stillgelegten Deponien

In den Standortgemeinden besteht immer der Bedarf, stillgelegte Deponien auch einer Nutzung zuzuführen.

Bei Deponien, die an der Deponieoberfläche nicht abgedichtet sind, besteht grundsätzlich die Möglichkeit, daß die Nutzung oder die Nutzer durch die Einwirkungen der Emissionen aus dem Deponiekörper beeinträchtigt werden könnten, wenn von den Abfällen selbst Gefährdungen ausgehen können.

Das Hauptproblem bei Hausmülldeponien besteht in der Gefährdung durch Deponiegas, wenn die Entgasungsmaßnahmen nicht ausreichend wirksam sind. Die Folge können Explosionen in geschlossenen Räumen auf der Deponie und im weiteren Umfeld sein [Rettenberger und Tabasaran, 1987, Franzius, 1981].

Aber auch Schäden an der Vegetation auf der rekultivierten, abgedeckten, aber nicht abgedichteten Deponieoberfläche sind bekannt [Neumann und van Oyen, 1979, Konold und Zeltner, 1983].

Probleme bei der Nutzung können auch durch Sickerwasseraustritte an den Böschungen von Deponien entstehen, wodurch Pflanzenschäden verursacht werden können oder die Gesundheit von Menschen oder Tieren beeinträchtigt werden kann.

Gas- und Sickerwasserprobleme gewinnen an Bedeutung, wenn stillgelegte Deponien bebaut worden sind. Durch Setzungen des Deponiekörpers entstehen Risse in den Kellerräumen, durch die Sickerwasser und Deponiegas eindringen kann. Durch Setzungen im Gelände entstehen aber auch Mulden, in denen sich Sickerwasser sammeln kann, wodurch insbesondere Kinder und Tiere gefährdet werden können [LAGA, 1983].

Bei Deponien mit einem Oberflächenabdichtungssystem besteht das Problem darin, daß durch die Nutzung des Oberflächenabdichtungssystem nicht zerstört oder in seiner Funktionsfähigkeit beeinträchtigt werden darf. Auch sollten die Auswirkungen der Nutzung nicht geeignet sein, die im Deponiekörper immobilisierten Schadstoffe zu mobilisieren, wenn im ungünstigsten Falle die Oberflächenabdichtung funktionslos wird. Für die Vegetation spielt das Deponiegas und der abgelagerte Abfall praktisch keine Rolle, weil der Wurzelraum über der Dichtungsschicht liegt. Allerdings ist darauf zu achten, daß die Wurzeln der Pflanzen nicht das Deponieoberflächenabdichtungssystem beeinträchtigen oder gar zerstören. Forstwirtschaftliche Nutzung (Wald) dürfte in jedem Falle ausscheiden.

Eine landwirtschaftliche Nutzung wird bei Haldendeponien kaum in Frage kommen. Es werden immer wieder Zweifel aufkommen, ob denn die landwirtschaftlichen Produkte nicht doch durch Einflüsse aus der Deponie verdorben sein könnten. Mit großer Wahrscheinlichkeit werden Schadenersatzansprüche geltend gemacht werden. Deshalb ist von der landwirtschaftlichen Nutzung in der Regel abzuraten.

Auch die Nutzung als Kleingartengelände ist nicht unproblematisch, weil die Bau- und Wühltätigkeit der Kleingärtner nicht kontrollierbar ist und deshalb Schäden an dem Deponieoberflächenabdichtungssystem ziemlich wahrscheinlich sind.

So bleibt letzten Endes nur die Nutzung stillgelegter Deponien als Freizeit- und Erholungsgelände, wobei auch die Errichtung leichter Bauten ohne Keller möglich sein sollte.

Verschiedene Nutzungsvarianten werden im Einzelfall verglichen werden müssen. So kann zum Beispiel die Integration einer stillgelegten Deponie in einen Golfplatz durchaus vernünftig sein, weil man von einer überschaubaren und kontrollierten Nutzung ausgehen kann.

Es könnten natürlich auch ökologische Nischen geschaffen werden, indem man die natürliche Sukzession unterstützt und das rekultivierte Gelände weitgehend vor dem Betreten durch die Bevölkerung schützt. Eine Kontrolle auf tiefwurzelnde Pflanzen und das Entfernen dieser Pflanzen darf aber nicht versäumt werden.

Man sollte aber bei der Planung der Nutzung auch daran denken, daß mit großer Wahrscheinlichkeit nach einigen Jahrzehnten die Reparatur und danach die Erneuerung des Deponieoberflächenabdichtungssystems erforderlich werden wird. Dazu ist die Deponieoberfläche freizulegen. Dann muß die Nutzung zurückstehen. Die Öffentlichkeit sollte rechtzeitig darauf vorbereitet werden.

6. Nachsorge bei stillgelegten Deponien

Stillgelegte Deponien können lange Zeit nach dem Ende des Deponiebetriebes nicht einfach sich selbst überlassen werden.

Es erscheint zweckmäßig, die Zeit nach der Stilllegung einer Deponie oder eines Deponieabschnittes in zwei Abschnitte einzuteilen: in die

Nachbetriebsphase und in die

Nachsorgephase.

Die Nachbetriebsphase ist dadurch gekennzeichnet, daß sich das Deponieverhalten noch nicht auf festgelegte zulässige Werte stabilisiert hat. Es sind intensive Maßnahmen

erforderlich, um das sich ständig verändernde Deponieverhalten zu kontrollieren und die Maßnahmen zur Deponieabdichtung zu unterhalten und ggf. die Deponieoberflächenabdichtung zu reparieren. Alle anfallenden Kosten sind dem Deponiebetrieb zuzurechnen.

Wenn die Nachbetriebsphase beendet ist, beginnt die Nachsorgephase.

Nach heutiger Auffassung bedürfen Deponien aller Art grundsätzlich der »ewigen« Nachsorge. Wir müssen den kommenden Generationen so viel Informationen über die von uns angelegten Deponien überliefern wie möglich, denn in Deponien sind von uns schließlich schadstoffhaltige Abfälle, mit denen wir nichts anzufangen wußten, abgelagert worden. Und auch wenn wir den Stand der Technik bei der Planung, beim Bau und beim Betrieb der Deponien angewendet haben, so ist, wegen der wahrscheinlich zeitlich befristeten Wirksamkeit der künstlichen Barrieren nach einigen Jahrzehnten oder Jahrhunderten, mit einer intensiveren Schadstofffreisetzung zu rechnen, wenn die Deponieoberflächenabdichtungssysteme nicht repariert oder gar erneuert werden. Wir verfügen heute leider noch nicht über Techniken, durch die die Schadstoffe im Deponiekörper mit der Zeit immer immobil werden. Eher ist das Gegenteil wahrscheinlich. Die Nachsorge wird niemals aufhören können. Aber alle Maßnahmen, die denkbar notwendig werden, sollten einfach und möglichst billig sein, um unsere Nachkommen nicht übermäßig mit Kosten zu belasten, die wir zu verantworten haben.

Alle Anstrengungen, um die potentiellen Aufwendungen für Nachsorgemaßnahmen zu minimieren, sind durch das Vorsorgeprinzip im Umweltschutz gerechtfertigt. Insofern muß wohl auch die Ablagerung von Siedlungsabfällen (Definition siehe [LAGA, 1979]) auf Hausmülldeponien mittelfristig zugunsten der Ablagerung von Verbrennungsrückständen auf »Rückstandsdeponien« aufgegeben werden.

Die abzulagernden Verbrennungsrückstände sollten nur sehr geringe Anteile an organischen Stoffen enthalten, die Schwermetalle müssen schwer auslaugbar sein, und der Anteil an wasserlöslichen Stoffen muß sehr gering sein.

Wenn man Deponiestandorte findet, bei denen die potentiell möglichen Sickerwässer, wegen der geogenen Vorbelastung des Bodens und des Grundwassers, zu keinen merklichen Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit führen kann (immisionsneutrale Ablagerung), wäre das Problem der Nachsorge mehr oder weniger auf das Erosionsproblem reduziert. Unter diesem Gesichtspunkt dürften Haldendeponien ungünstiger zu bewerten sein als Grubendeponien.

Könnten Abfälle durch chemisch-physikalische Vorbehandlung oder/und thermische Behandlung (Verbrennung) so umgewandelt werden, daß von ihnen auch im Laufe von Jahrhunderten keine Schadstofffreisetzungen zu erwarten sind (Glasschlacke aus Hochtemperaturverbrennungsanlagen?), so gäbe es praktisch keine Nachsorgeprobleme für Deponien, die aus solchen Abfällen aufgebaut sind.

Solche Abfälle müßten aber aufgrund des Verwertungsgebotes des Abfallgesetzes (1986) verwertet werden. Man bräuchte dann gar keine Deponien. Man hätte eine scheinbar perfekte Abfallentsorgung. Aber: nobody is perfect. Deponien, bei denen eine Nachsorge erforderlich ist, sind unverzichtbar.

7. Kosten

Heute werden vielfach Kosten für die Ablagerung von Hausmüll in der Größenordnung zwischen 15 DM/t und 60 DM/t (mit steigender Tendenz) genannt.

Die Deponiekosten hängen vom Flächenbedarf, vom verfügbaren Deponievolumen und von den Investitionen, aber auch von den Erschließungskosten für das Deponiegelände ab.

Man kommt nicht umhin, die Kosten für eine Deponie unter Beachtung der Randbedingungen im Einzelfall zu ermitteln.

Anleitungen und Anregungen sind in der Fachliteratur vorhanden [*Hillebrecht, 1988, Hillenbrand, 1982, Franke, 1982*].

8. Literaturverzeichnis

Angrick, M., 1987

Gaszusammensetzung, Emissionen und Reinigungstechniken bei ausgewählten Anlagen zur Deponiegasnutzung - Ergebnisse einer Umfrage, Müll und Abfall, 19. Jg. (1987), Heft 4, Seite 142-150, *Erich Schmidt Verlag*

August, H., 1986

Untersuchungen zur Wirksamkeit von Kombinationsdichtungen in: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 16, *Fehlau/Stief* (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik 1986, Seite 103-122, *Erich Schmidt Verlag*

August, H., 1988

Anforderungen an Kunststoffdichtungsbahnen in Deponieabdichtungssystemen, in: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 23, *Fehlau/Stief* (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik 1988, *Erich Schmidt Verlag*

Boll, F. W., 1987

Möglichkeiten und Grenzen der Eingangskontrolle und Abfallanalytik auf Hausmülldeponien, in: Möglichkeiten der Überwachung und Kontrolle von Deponien und Altablagerungen, Zentrum für Abfallforschung der Technischen Universität Braunschweig, 24./25.9.1987, Zusammenstellung der Kurzreferate.

Bothmann, P., 1987

Kontrollen an Deponien — Vorschlag für ein erforderliches Überwachungsprogramm —, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 24, »Zeitgemäße Deponietechnik«, Seite 57-72, *Erich Schmidt Verlag*

Dörhöfer, G., 1988

Anforderungen an den Deponiestandort als geologische Barriere, in: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 23, *Fehlau/Stief* (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik 1988, *Erich Schmidt Verlag*

Drescher, J., 1988 a

Anforderungen an Deponieabdichtungssysteme, in: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 23, *Fehlau/Stief* (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik 1988, *Erich Schmidt Verlag*

Drescher, J., 1988 b

Deponiedichtungen bei Sonderabfalldeponien, Entwurf eines Abschnittes der kommenden TA Abfall, Müll und Abfall, 20. Jg. (1988), Heft 7 (Teil 1), Heft 8 (Teil 2)

Drescher, J., 1988 c

Festigkeit von abzulagernden Schlämmen, in Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 23, *Fehlau/Stief* (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik 1988, *Erich Schmidt Verlag*

Ehrig, H.-J., 1982

Sickerwasser aus Hausmülldeponien — Menge und Zusammensetzung in: Müll-Handbuch, Kennziffer 4587, Lfg. IV/ 82, *Erich Schmidt Verlag*

Franke, K.-J., 1982

Betriebskontrollen, in: Müll-Handbuch, Kennziffer 4584, Lfg. IV/82, *Erich Schmidt Verlag*

Franzius, V., 1981

Gefährdung durch Deponiegas, in: Müll-Handbuch, Kennziffer 4589, Lfg. IX/81, *Erich Schmidt Verlag*

Franzius, V., 1987 a (Hrsg.)

Deponiegasnutzung- Emissionsminderung, Sicherheitstechnik, Anlagen und Technologien, Beihefte zu Müll und Abfall, Heft 26, *Erich Schmidt Verlag*

Franzius, V., 1987 b

Stand der Deponiegasnutzung in der Bundesrepublik Deutschland, in:

Deponiegasnutzung- Emissionsminderung, Sicherheitstechnik, Anlagen und Technologien, Beihefte zu Müll und Abfall, Heft 26, *Franzius, V.*, (Hrsg.), Erich Schmidt Verlag

Friedrichs, K.H. und Eixler, E., 1987

Auswertung von Meßdaten über das Deponieverhalten unter Anwendung von Personal-Computern auf Deponien, in: *Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis*, Bd. 19, *Fehlau/Stief* (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik 1987, Seite 67-102, *Erich Schmidt Verlag*

Harkort, W., 1987

Ausbreitung von Gerüchen im Umfeld von Deponien — Art, Messung und Beherrschung —, in: *Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis*, Bd. 19, *Fehlau/Stief* (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik 1987, Seite 11—18, *Erich Schmidt Verlag*

Hillebrecht, E., 1988

Kosten einer modernen Deponie, *Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft*, Bd. 29, »Zeitgemäße Deponietechnik II«, Seite 391-422, *Erich Schmidt Verlag*

Hillebrand, P., 1982

Kostenindices, in: *Müll-Handbuch*, Kennziffer 4663, Lfg. XI/82, *Erich Schmidt Verlag*

Iglisch, I., 1982

Bekämpfung von Ratten und Insekten auf Deponien, in: *Müll-Handbuch*, Kennziffer 4592, Lfg. XI/82, *Erich Schmidt Verlag*

Jager, J., 1984 Jessberger, H.L., 1987

Geruchsemissionen bei der Ablagerung von Abfällen, in: *Müll-Handbuch*, Kennziffer 4591, Lfg. 4/84, *Erich Schmidt Verlag*

Jessberger, H.L., 1987

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, Verlag *Wilhelm Ernst & Sohn*, Berlin

Jessberger, H.L., 1988

Empfehlungen des Arbeitskreises »Geotechnik der Deponien und Altlasten« der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V., *Bautechnik* 65 (1988), H. 9, Verlag *Wilhelm Ernst & Sohn*, Berlin

Knoch, J. und Stegmann, R., 1982

Sickerwasserreinigung, in: *Müll-Handbuch*, Kennziffer 4588, Lfg. IV/82, *Erich Schmidt Verlag*

Konold, W. und Zeltner, G.-H., 1983

Vegetation und Rekultivierung von abgedeckten Mülldeponien, in: *Müll-Handbuch* 4624, Lfg. 2/83, *Erich Schmidt Verlag*

LAGA, 1979

Merkblatt »Die geordnete Ablagerung« (Deponiemerkblatt), Stand 1. September 1979, in: *Müll-Handbuch*, Kennziffer 4690, Lfg. I/80, *Erich Schmidt Verlag*

LAGA, 1983

Deponiegas, Informationsschrift der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, in: *Müll-Handbuch*, Kennziffer 4720, Lfg. I/ 84, *Erich Schmidt Verlag*

LAGA, 1984

Sickerwasser aus Hausmüll- und Schlackendeponien, Informationsschrift der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall in: *Müll-Handbuch*, Kennziffer 4725, Lft. 3/85, *Erich Schmidt Verlag*

Lemmer, F.

Stand und Perspektiven der Sickerwasserbehandlung, in: *Abfallwirtschaft in Forschung*

und Praxis, Bd. 19, *Fehlau/ Stief* (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik 1987, Seite 117-124, *Erich Schmidt Verlag*

LWA, 1987

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, Landesamt für Wasser und Abfall, Nordrhein-Westfalen

Markwardt, N., 1988

Das HELP-Modell zur Abschätzung des Wasserhaushaltes in Deponieoberflächenabdichtungssystemen, in: *Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis*, Bd. 23, *Fehlau/Stief* (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik 1988, *Erich Schmidt Verlag*

Matthes, B., 1988

Anforderungen an die Behandlung von Sickerwasser aus Sonderabfalldeponien, in: *Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis*, Bd. 23, *Fehlau/Stief* (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik 1988, *Erich Schmidt Verlag*

Müller, K. und Rettenberger, G., 1986

Sicherheitstechnische Aspekte von Entgasungs- und Gasverwertungsanlagen, in: Beihefte zu Müll und Abfall, Heft 26, Hrsg. *Franzius, V.*: Deponiegasnutzung — Emissionsminderung, Sicherheitstechnik, Anlagen und Technologien — *Erich Schmidt Verlag*

Neumann, U. und Van Oyen, 1979

Rekultivierung von Deponien und Müllkippen, Beihefte zu Müll und Abfall, Heft 16, *Erich Schmidt Verlag*

Ramke, H.-G., 1987

Kontrollmaßnahmen an Entwässerungssystemen von Deponien, in: Möglichkeiten der Überwachung und Kontrolle von Deponien und Altablagerungen, Zentrum für Abfallforschung der Technischen Universität Braunschweig, 24./ 25.9.1987, Zusammenstellung der Kurzreferate

Rettenberger, G. und Dorn, E., 1987

Gasförmige Emissionen im deponienahen Luftraum, in: *Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft*, Bd. 24, »Zeitgemäße Deponietechnik«, Seite 9—30, *Erich Schmidt Verlag*

Seng, H., 1983

Umweltverträglichkeitsprüfung für Deponiestandorte, dargestellt am Beispiel einer Standortuntersuchung im Landkreis Ravensburg, in: *Müll-Handbuch Kennziffer 4521*, Lfg. 4/83, Hrsg. *Hösel und Schenkel*, *Erich Schmidt Verlag*, Berlin

Seng, H., 1979

Umweltverträglichkeitsprüfung bei Deponiestandorten, Diss., 220 S., Hochschulverlag GmbH, Adlerstr. 10-12, 7000 Freiburg

Schneider, W. und Tietze, K.:

Numerische Schadstofftransportmodelle als Beurteilungsinstrument für die Barrierewirkung des Deponieuntergrundes; in: *Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis*, Bd. 19, *Fehlau/ Stief* (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik 1987, Seite 159-182, *Erich Schmidt Verlag*

Stegmann, R., 1983

Sickerwasserableitungs- und Behandlungsanlagen, in: *Müll-Handbuch*, Kennziffer 4545, Lfg. 1/83, *Erich Schmidt Verlag*

Stief, K., 1984

Möglichkeiten und Vorteile der Kombinationsdichtung für die Deponiebasisabdichtung, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 24, »Zeitgemäße Deponietechnik«, Seite 149-168, *Erich Schmidt Verlag*

Stief, K., 1986

Das Multibarrierenkonzept als Grundlage von Planung, Bau, Betrieb und Nachsorge von Deponien, Müll und Abfall, 18. Jg. (1986), Heft 1, Seite 15-20, *Erich Schmidt Verlag*

Stief, K., 1988

Sind Deponieoberflächenabdichtungssysteme bei Hausmülldeponien notwendig?, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 29, »Zeitgemäße Deponietechnik II«, Seite 11-37, *Erich Schmidt Verlag*

Tabasaran, O. und Rettenberger, G., 1987:

Grundlagen zur Planung von Entgasungsanlagen, in: Müll-Handbuch, Kennziffer 4547, Lfg. 1/87, *Erich Schmidt Verlag*

Tybus, M., 1987

Anleitung zur Auswertung und Bewertung von Betriebsund Kontrolldaten, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 24, »Zeitgemäße Deponietechnik«, Seite 73—96, *Erich Schmidt Verlag*

Vauk, G., 1985 Wiemer, K., 1983

Vögel auf Deponien, in: Müll-Handbuch, Kennziffer 4593, Lfg. 1/85, *Erich Schmidt Verlag*

Wiemer, K. 1983

Die Ablagerungsdichte von Abfällen und Setzungen von Deponien, Müll-Handbuch, Kennziffer 4590, Lfg. 2/83, *Erich Schmidt Verlag*

Zipfel, K., 1988

Beispiele zur Simulation der Schadstoffausbreitung im Untergrund von Deponien, in: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 23, *Fehlau/Stief* (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik 1988, *Erich Schmidt Verlag*

Autor

Klaus Stief,

Früher Umweltbundesamt, jetzt <http://www.deponie-stief.de>

Beitrag gescannt aus:

Klaus Stief: Ablagern von Abfällen Abfall und Abfallentsorgung: Vermeidung, Verwertung, Behandlung / hrsg. Von Dieter Walprecht. – Köln; Berlin; Bonn; München; Heymann, 1989, ISBN 3-452-21351-X, NE: Walprecht, Dieter [Hrsg.] Seiten 103 – 125