

## **Strategien zur nachhaltigen Stilllegung und Nachsorge von Siedlungsabfalldeponien**

Dr. Ulrich Henken-Mellies, LGA Bautechnik GmbH - Grundbauinstitut, Nürnberg

### **1 Einführung**

Nach 30 Jahren wird die Nachsorge von Hausmülldeponien nicht beendet sein. Aus finanzmathematischer Sicht ist gemäß §19(3) DepV für die Berechnung der Höhe der Sicherheitsleistungen ein Nachsorgezeitraum von „*mindestens 30 Jahren*“ zugrunde zu legen. Aus naturwissenschaftlich-technischer Sicht bestehen aber erhebliche Zweifel daran, ob die heute stillzulegenden Hausmülldeponien nach 30 Jahren nachsorgefrei im Sinne des §13(5) DepV sein werden.

Ein Beispiel: Auch viele der gemeindeeigenen Hausmülldeponien, die in den 1970er Jahren stillgelegt und rekultiviert wurden, können nach nunmehr ca. 30 Jahren durchaus noch nicht als nachsorgefrei gelten. Im Gegenteil: Aktuell legt der Freistaat Bayern ein Finanzierungskonzept für die Untersuchung und Sanierung von gemeindeeigenen Ablagerungen vor. – Dies zeigt: Wenn man Siedlungsabfalldeponien 30 Jahre „still liegen“ lässt, liegt das Problem zwar u.U. 30 Jahre unter dem Teppich (bzw. unter einer grünen Rekultivierungsschicht), aber es ist nicht gelöst, sondern es wird auf die nächste Generation verlagert.

Vor diesem Hintergrund ist es unrealistisch, anzunehmen, dass aktuell stillzulegende Hausmülldeponien, die um ein Vielfaches größer sind als die o.g. Gemeindedepo- nien, nach 30 Jahren aus der Nachsorge entlassen werden könnten – wenn nicht frühzeitig gezielte Maßnahmen ergriffen werden, mit denen die Nachsorge aktiv beschleunigt wird. Gefragt ist daher ein realistisches und zielführendes Konzept für den weiteren Umgang mit den mit unbehandeltem Hausmüll verfüllten Deponien bzw. Deponieabschnitten.

### **2 Anforderungen an Stilllegung und Nachsorge gemäß Deponieverordnung**

In der Deponieverordnung wird an mehreren Stellen auf die Aufgaben in der Stilllegungs- und Nachsorgephase und auf die Ziele dieser Maßnahmen hingewiesen.

§12(3): „In der Stilllegungsphase hat der Betreiber einer Deponie (...) unverzüglich alle erforderlichen Maßnahmen durchzuführen, um zukünftige negative Auswirkungen der Deponie oder des Deponieabschnitts auf die in §10(4)KrW-/AbfG genannten Schutzgüter [Gesundheit der Menschen; Tiere und Pflanzen; Gewässer und Boden; etc.] zu verhindern. [hierzu]... zählt insbesondere die Einrichtung eines Oberflächenabdichtungssystems nach Anhang 1 Nr. 2.

§14(7): „Für Deponien, auf denen Hausmüll (...) oder andere Abfälle mit hohem organischem Anteil abgelagert wurden, kann die zuständige Behörde **bis zum Abklingen der Hauptsetzungen eine temporäre Abdeckung** zulassen, wenn große Setzungen erwartet werden. Diese temporäre Abdeckung soll Sickerwasserbildung minimieren und Deponiegasmigration verhindern. Unmittelbar nach Abklingen der Hauptsetzungen ist die endgültige Oberflächenabdichtung herzustellen.“

§14(8): „Für Deponien, auf denen Hausmüll (...) oder andere Abfälle mit hohem organischem Anteil abgelagert worden sind, kann die zuständige Behörde **zur Beschleunigung der organischen Abbauprozesse und zur Verbesserung des Langzeitverhaltens der Deponie in der Betriebsphase eine gezielte Befeuchtung des Abfallkörpers durch Infiltration von Wasser** oder deponieeigenem Sickerwasser zulassen, wenn geeignete Voraussetzungen vorhanden sind und mögliche nachteilige Auswirkungen auf den Deponiekörper und die Umwelt verhindert werden.“

§13(5): „Bei der Prüfung nach Absatz 4 [d.h. Feststellung des Abschlusses der Nachsorgephase] soll die Behörde in Abhängigkeit der jeweiligen Deponieklasse insbesondere die nachfolgenden Kriterien zugrunde legen: [stichwortartig]

1. Biologische Abbauprozesse, sonstige Umsetzungs- oder Reaktionsvorgänge sind weitgehend abgeklungen,
2. Gasbildung ist zum Erliegen gekommen,
3. Setzungen sind abgeklungen,
4. Oberflächenabdichtung und Rekultivierungsschicht sind in funktionstüchtigem und stabilem Zustand,
5. Oberflächenwasser wird von der Deponie sicher abgeleitet,
6. die Deponie ist insgesamt dauerhaft standsicher,
7. Unterhaltung baulicher und technischer Einrichtungen ist nicht mehr erforderlich,
8. ggf. anfallendes Sickerwasser kann entsprechend den wasserrechtlichen Vorschriften eingeleitet werden,

9. die Deponie verursacht keine Grundwasserbelastung, die eine weitere Beobachtung oder Sanierungsmaßnahmen erforderlich machen.

Wie aus der Zusammenstellung dieser Textstellen aus der Deponieverordnung hervorgeht, besteht das grundsätzliche Ziel der Stilllegung und Nachsorge von Deponien darin, negative Auswirkungen auf die Schutzgüter Mensch und Umwelt nachhaltig zu verhindern. Der Zielzustand von Deponien wird in §13(5) in Form von 9 Kriterien beschrieben.

### **3 Interpretation der Deponieverordnung**

Worin besteht der Weg, um das Nachsorgeziel zu erreichen, d.h. negative Auswirkungen der Deponie auf die Schutzgüter Mensch und Umwelt nachhaltig zu verhindern?

Zu den erforderlichen Maßnahmen zählt nach §12(3) insbesondere die Einrichtung eines Oberflächenabdichtungssystems. §14(7) lässt aber für Hausmülldeponien erheblichen Spielraum für den Zeitpunkt des Aufbringens der endgültigen Oberflächenabdichtung.

Für Deponien mit hohem organischen Anteil erwähnt §14(8) ausdrücklich Maßnahmen zur Beschleunigung des organischen Abbaus und zur Verbesserung des Langzeitverhaltens. Zu diesen Maßnahmen zählt die Infiltration von Wasser in den Deponiekörper und nach dem heutigen, fortgeschrittenen Stand der Technik (vgl. „Leitfaden zur Deponiestilllegung“) auch die optimierte Deponieentgasung. Der erhöhte Austrag von organischer Substanz durch diese Maßnahmen trägt dazu bei, die Stilllegungs- und Nachsorgephase dieser Deponien zu beschleunigen.

Sichtbares äußeres Zeichen des erhöhten Austrags von organischer Substanz und des damit einhergehenden Masse-Entzugs aus der Deponie ist das Fortdauern der Hauptsetzungen. Früher oder später finden diese Setzungen (ebenso wie die organischen Abbauprozesse) ohnehin statt – wenn nicht nach Jahren, dann nach Jahrzehnten oder Jahrhunderten.

Im Sinne eines ehrlichen Umgangs mit den Siedlungsabfalldeponien ist es anzustreben, die Abbau- und Umsetzungsprozesse in einer überschaubaren Zeitspanne in der Stilllegungs- und Nachsorgephase, sozusagen „unter Aufsicht“ stattfinden zu lassen und sie nicht in die unbestimmte Zukunft zu verschieben und dem Zufall zu überlassen.

Wie die Textstellen der DepV zeigen, ist die Strategie des weitgehenden organischen Abbaus in der Stilllegungs- und Nachsorgephase vereinbar mit dem Verordnungstext. Ein Zwang, wie manchmal suggeriert, sofort nach Ablagerungsende endgültig abzudichten, besteht nicht. Dies wäre für Deponien mit organischem Material weder sinnvoll, noch lässt es sich aus der DepV herleiten. Vielmehr sind in der DepV für Deponien mit organischem Inhalt deutliche Hinweise dafür enthalten, dass der Ordnungsgeber die Problematik des Abbaus der organischen Substanz durchaus erkannt hat.

Es wird aber in der DepV kein eindeutiger Weg für die Nachsorgemaßnahmen aufgezeigt, da die Deponien mit reaktionsfähigem, organischen Inhalt (wie auch schon bei der TAsi) eine Randerscheinung sind, die der Vergangenheit angehören sollte. Das Dilemma des Umgangs mit diesen Altdeponien wird nicht gelöst: - Abdichten? Abbau der Organik statt abdichten? Abbau der Organik und später abdichten? Oder gar Rückbau? Was bedeutet das jeweils für die Zielerreichung des §13(5)? – Die Deponiebetreiber und die Fach- und Genehmigungsbehörden werden mit diesen Fragen konfrontiert, ohne dass es eine allgemein gültige Antwort gibt.

Wichtig erscheint mir die Feststellung, dass das „umgehende Abdichten“ keinesfalls der gemäß DepV und TAsi allein gültige Weg ist, sondern dass in der DepV das nachhaltige Minimieren der Emissionen im Vordergrund steht.

## **4 Maßnahmen der aktiven Stilllegung und Nachsorge**

### **4.1 Grundsätzliche Überlegungen**

Die zu ergreifenden Maßnahmen in der Stilllegungs- und Nachsorgephase betreffen vor allem die Bereiche

- Oberflächenabdeckung / Abdichtung,
- Sickerwassermanagement sowie
- Deponiegaserfassung und –Verwertung.

Jede Maßnahme in einem dieser Bereiche hat Auswirkungen auf den Zustand des Deponiekörpers und entsprechende Rückwirkungen auf die anderen Bereiche. So ist bekannt, dass eine zu früh aufgebrachte endgültige Oberflächenabdichtung zur Austrocknung der Deponie und somit zur vorzeitigen Beendigung der Deponiegasproduktion führt. Umgekehrt kann eine optimierte Deponieentgasung dazu führen, dass aufgrund des weitergehenden Abbaus der organischen Substanz noch erhebliche Setzungen stattfinden.

Die Maßnahmen im Rahmen der aktiven Stilllegung und Nachsorge sind daher stets in einem strategischen Zusammenhang zu sehen und sind darüber hinaus von den deponiespezifischen Randbedingungen (wie geologische Barriere, Basisabdichtung, temporäre Oberflächenabdichtung, klimatische und sonstige Standort-Gegebenheiten) abhängig und fallweise darauf abzustimmen.

Für die im jeweiligen Einzelfall zu wählende Nachsorge-Strategie können u.a. folgende Überlegungen angestellt werden:

#### **Deponie-Inhalt:**

- Reaktordeponien: Deponien mit großen Anteilen an reaktiver organischer Substanz erfordern ein Nachsorgekonzept, das das Langzeitverhalten und die Umsetzungsprozesse der organischen Substanz berücksichtigt.
- Reststoffdeponien (ohne unbehandelten Müll): Für diese Deponien gibt es derzeit wenige Beispiele und dementsprechend wenig Erfahrung mit ihnen.
- Inertstoff-/ Bauschuttdeponien: Eine Entlassung aus der Nachsorge nach 10 Jahren erscheint für Deponien mit nachweislich geringem Schadstoffinventar realistisch.
- Sonderabfalldeponien: Für diese Deponien mit sehr hohem Schadstoffpotenzial wird wohl in gewissem Umfang eine „ewige“ Nachsorge erforderlich bleiben.

#### **Deponiestandort / Geologie / Grundwasser:**

- Das Vorhandensein einer Geologischen Barriere ist hinsichtlich der Nachsorgeerfordernis positiv zu werten.
- Wenn ein zu schützender Grundwasserleiter oder empfindliche Nutzungen im Grundwasserabstrom vorhanden sind, sind höhere Anforderungen an die Beendigung der Nachsorge bzw. der Überwachung zu stellen.
- Wenn die Deponie aktuell mit einer Dichtwand + Grundwasserhaltung gesichert wird, ist ein Ende der Nachsorge nur schwer vorstellbar. Aber auch für diesen Fall sind ehrliche Konzepte und Antworten gefragt.

#### **Klimatische Bedingungen:**

- An humiden Standorten ist die nachhaltige Reduzierung der Sickerwasserneubildung (durch eine angemessene Oberflächenabdichtung / Abdeckung) anzustreben.
- An Trockenstandorten ohne Grundwasserneubildung (z.B. im Regenschatten der Mittelgebirge) kann das Leitbild „mumifizierte Deponie“ als nachhaltiges Konzept angestrebt werden.

## **5 Oberflächenabdeckung / Abdichtung**

Zur Reduktion des Sickerwasseranfalls und der damit verbundenen Kosten wird möglichst bald nach Verfüllung eines Deponieabschnitts eine (temporäre) Oberflächenabdeckung / Abdichtung aufgebracht. Diese temporäre Abdichtung sollte mit möglichst geringen Investitionskosten eine angemessene Wirksamkeit für die veranschlagte Lebensdauer aufweisen.

Erst nach der weitgehenden Inertisierung des Deponiekörpers, d.h. ca. 15 – 20 Jahre nach Ablagerungsende (nach dem Ende der Bioreaktor-Phasen; s.u.) sollte die endgültige Oberflächenabdichtung aufgebracht werden. Ein früheres Aufbringen könnte wegen der noch erheblichen Setzungen, als Folge des erheblichen Entzugs an organischer Substanz während der Bioreaktor-Phasen, zu Schädigungen der endgültigen Oberflächenabdichtung führen.

Das Hinauszögern der Investitionskosten für die endgültige Oberflächenabdichtung führt zu finanziellen Spielräumen, die für die Maßnahmen im Rahmen der aktiven Nachsorgephasen genutzt werden sollten.

## **6 Sickerwasser**

Bei den Überlegungen zur Stilllegung und Nachsorge stehen hinsichtlich des Sickerwassers folgende Aspekte im Vordergrund:

- Minimierung der Sickerwasserneubildung (durch geeignete Oberflächenabdichtung) zur Reduzierung der Sickerwasser-Behandlungskosten.
- Sickerwasser-Rückführung zur Befeuchtung des Deponiekörpers, um die Gasbildungsprozesse zu beschleunigen,
- Prognose der langfristigen Sickerwasser-Beschaffenheit und die Frage, ob die Direkteinleiter-Grenzwerte des Anhangs 51 erreichbar sind.

Die Sickerwasser-Rückführung wird auf zahlreichen Deponien betrieben, mit dem vorrangigen Ziel, den Deponiekörper zu befeuchten und so die Milieubedingungen für die biologischen Umsetzungsprozesse (vor allem: Deponiegasbildung) zu verbessern. Hierzu gibt es gut dokumentierte Forschungsvorhaben, die den Erfolg der Maßnahmen belegen (Bauer & Meisinger, 1999; Drees, 2001). In Bayern ist die Sickerwasser-Rückführung zur

Steigerung der Deponiegasbildung in der Nachsorgephase inzwischen Routine und wird auf zahlreichen Deponien mit Erfolg durchgeführt.

Aus der Altlastensanierung ist bekannt, dass sich über den Gaspfad aufgrund der höheren erreichbaren Volumenströme in der Regel deutlich höhere Schadstoff-Frachten austragen lassen als über den Wasserpfad. Übertragen auf die Hausmülldeponien besteht das Ziel einer optimierten Nachsorge darin, den Stoffaustrag an Kohlenstoff über die Gasphase (als Methan und Kohlendioxid) im Nachsorgezeitraum zu maximieren. Die reaktive organische Substanz im Deponiekörper wird möglichst weitgehend und rasch abgebaut bis die Deponie in den aeroben Zustand überführt ist.

Gleichzeitig geht damit die Entfrachtung von Stoffen einher, die zu „CSB“ und Ammonium im Sickerwasser beitragen (die kritischen Parameter für die Entlassung aus der Nachsorge, bezogen auf die Erfordernis der Sickerwasserbehandlung): Ammonium stammt aus dem Abbau stickstoffhaltiger organischer Verbindungen (vor allem: Proteine). Der raschere Abbau der organischen Substanz durch optimierte Deponieentgasung führt entsprechend zu einem schnelleren Austrag von Ammonium. CSB ist ein Summenparameter für organische Substanz im Sickerwasser, dessen Aussagekraft begrenzt ist (auch in natürlichen Wässern kann der CSB z.B. durch Huminstoffe erhöht sein). Die organischen Substanzen, die zur CSB-Fracht beitragen, ändern sich im Laufe der Zeit zu eher reaktionsträgen Stoffen, die nur eine geringere Sauerstoffzehrung verursachen. Die Beurteilung des Sickerwassers auf der Basis des Kriteriums BSB<sub>5</sub> wäre daher in der späten Nachsorgephase aussagekräftiger.

Bei der Konkretisierung der Kriterien des §13(5) DepV aus Sicht des Gewässerschutzes geht es um die Fragen:

- Welche Stoffkonzentrationen und –frachten im Sickerwasser sind tolerierbar für eine Ableitung in eine Vorflut ohne weitergehende Behandlung?
- Welche Stoffkonzentrationen und –frachten sind tolerierbar für das Einsickern durch die vorhandenen Barrieren in das Grundwasser?

Aus Sicht der Deponiebewirtschaftung in der Stilllegungs- und Nachsorgephase geht es um die Frage:

- Welche Reduzierung der Stoffkonzentrationen und –frachten ist mit den Möglichkeiten nach dem Stand der Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung der vorhandenen Rücklagen erreichbar?

Im Beitrag von Heyer et al. In diesem Tagungsband werden hierzu detailliertere Betrachtungen vorgenommen.

Ich plädiere dafür, das Ziel für die Sickerwasserbeschaffenheit so abzustecken, dass es nach 30 Jahren intensiver Nachsorgebemühungen realistisch erreichbar ist. Hierfür ist ein offener und konstruktiver Dialog zwischen Deponiebetreibern, Wasserwirtschaftsbehörden und Forschung und Entwicklung notwendig.

## **7 Deponiegas**

Die Erfassung und Verwertung von Deponiegas ist Stand der Technik auf den üblichen Hausmüldeponien. Bisher stand beim Thema Deponiegas der Aspekt der Emissionsminimierung (Gerüche, klimarelevante Gase) im Vordergrund. Der Aspekt der Stoff-Entfrachtung der Deponie über den Gaspfad ist neu und soll daher hier etwas ausführlicher behandelt werden.

### **7.1 Erhöhung des Erfassungsgrades von verwertbarem Deponiegas**

Die mit herkömmlicher Technik erfassbaren Deponiegasmengen brechen häufig wenige Jahre nach Ende der Abfallablagerungen auf Werte  $< 1 \text{ [m}^3 / (\text{Mg TS} \cdot \text{a})]$  ein. Vielerorts stehen überdimensionierte oder abgeschaltete Deponiegas-Motoren. Die erfassten Gasmengen liegen häufig am unteren Rand des Wertebereiches, der von Krümpelbeck & Ehrig (1999) für Altdeponien ermittelt wurde. Der Rückgang der erfassten Deponiegasmengen liegt jedoch in den wenigsten Fällen tatsächlich daran, dass das Gasbildungspotenzial erschöpft ist, sondern eher daran, dass die Deponie zu trocken ist, und vor allem auch daran, dass die herkömmlichen Gasbrunnen oft nur einen geringen Erfassungsgrad haben.

Im Brunnenbau ist es Allgemeinwissen, dass die Filterstrecke und der Brunnenausbau an den Zweck des Brunnens und an die örtlichen Untergrundverhältnisse angepasst sein müssen. Auch aus der Altlastensanierung ist bekannt, dass der Erfolg von Bodenluft-Sanierungen maßgeblich davon abhängt, dass die Absaugbrunnen richtig verfiltert sind. Dieser Grundsatz gilt sinngemäß auch für die Deponiegas-Erfassung:

- Die herkömmlichen großkalibrigen Gasbrunnen mit weit nach oben reichender Filterstrecke sind sinnvoll für den Einsatzzweck der Emissionsminimierung bei stark ausgasenden Deponien. Zur Gasabsaugung bei nachlassender Deponiegasproduktion sind diese Brunnen weniger gut geeignet, da es leicht zu Luftzutritten infolge von Umläufigkeiten kommt (Stickstoffgehalte von  $> 20\%$  sind hier keine Seltenheit).

- Bei Gasbrunnen, die nachträglich gebohrt und gezielt nur selektiv in tieferen Bereichen verfiltert werden (vgl. Abb. 1) ist die Gefahr von Luftzutritten durch Umläufigkeiten wesentlich geringer. An diese Brunnen kann daher ein höherer Unterdruck angelegt werden und es lassen sich dementsprechend größere Volumenströme absaugen, ohne dass es zu einem wesentlichen Rückgang der Deponiegaskonzentration kommt.

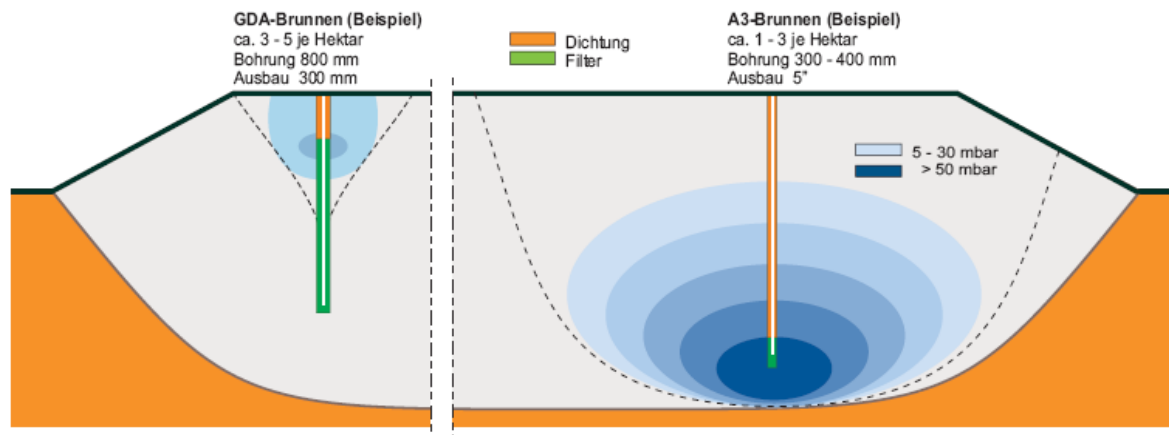


Abbildung 1: Schemazeichnung des Ausbaus der Tiefbrunnen „A3 – Brunnen“ und der herkömmlichen Gasbrunnen „GDA – Brunnen“ (aus Kanitz, 2005)

Mit der optimierten Gaserfassung mittels Tiefbrunnen bzw. selektiv verfilterter Gasbrunnen kann der Methangehalt und der Deponiegas-Volumenstrom auf hohem Niveau gehalten werden (Kanitz, 2004). Die Neufassung der GDA-Empfehlung E 2-18 („Geotechnische Belange der Deponieentgasung“, 2005) nimmt das Gaserfassungskonzept der Tiefenabsaugung ausdrücklich als Alternative zu den üblichen Deponiegasbrunnen mit auf. Die Tiefenabsaugung ist damit als Stand der Technik zu bezeichnen und sollte verstärkt als Gaserfassungskonzept für die Stilllegungs- und Nachsorgephase Berücksichtigung finden.

In den nachfolgenden Abbildungen wird das Konzept der optimierten Deponiegaserfassung illustriert:

Das gängige Gaserfassungskonzept sieht durchgehend verfilterte Deponiegasbrunnen vor, die mit sehr geringen Unterdrücken von wenigen hPa abgesaugt werden. Dieses Konzept ist angemessen für die Phase der intensivsten Gasbildung, in der das Gas mit Überdruck aus der Deponie entweicht. Bei nachlassender Gasbildungsrate bricht die Gaserfassung häufig stark ein, da die Absaugung nur noch den Nahbereich der Gasbrunnen erfasst (Abb. 2a). Die

erfassbare Gasmenge lässt sich zeitweilig dadurch erhöhen, dass zusätzliche Gasbrunnen gebohrt werden, die das Deponiegas im Nahbereich ziehen (Abb. 2b).

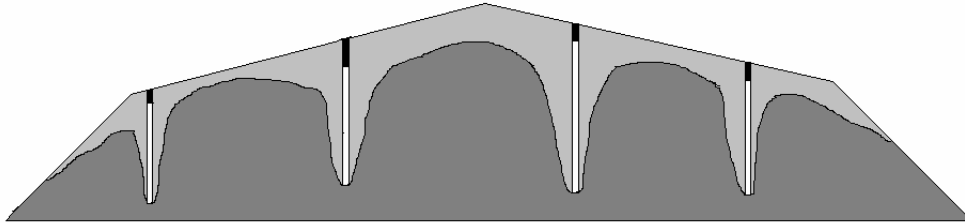


Abbildung 2a: Schematischer Deponieprofilschnitt: Reichweite der Gaserfassung im Deponiekörper bei herkömmlicher Entgasung (durchgehend verfilterte Gasbrunnen; Absaugung mit geringem Unterdruck): hellgrau = aktiv entgaste Bereiche; dunkelgrau = von der Absaugung nicht erfasste Zonen.

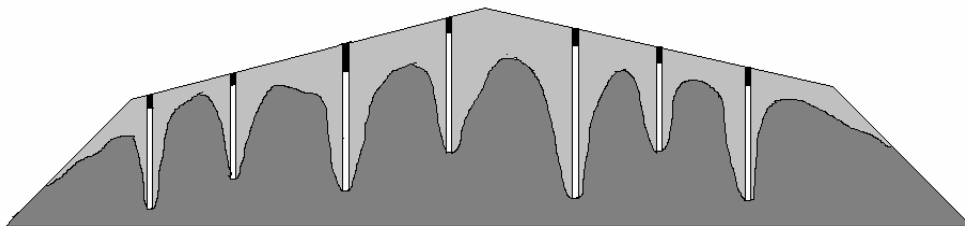


Abbildung 2b: Schematischer Deponieprofilschnitt: Reichweite der Gaserfassung im Deponiekörper bei herkömmlicher Entgasung, nach Bohrung zusätzlicher Gasbrunnen (durchgehend verfilterte Gasbrunnen; Absaugung mit geringem Unterdruck): hellgrau = aktiv entgaste Bereiche; dunkelgrau = von der Absaugung nicht erfasste Zonen.

Bei der üblichen Gaserfassung werden die tieferen Bereiche der Deponie nur unzureichend erfasst: Um die Zonen zwischen den Gasbrunnen wirksam abzusaugen (in denen, wie Bohrungen in Deponien zeigen, meistens noch erhebliche Mengen an abbaubarer Organik vorhanden sind), müsste der angelegte Unterdruck erhöht werden. Dies ist aber nicht möglich, da es zuvor über Umläufigkeiten im oberen Bereich der Gasbrunnen zu verstärkten Atmosphärenluft-Zutritten kommt (Feststellbar am Stickstoff-Gehalt bzw. am Absinken der Summe von  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ).

Diese Umläufigkeiten an den Gasbrunnen werden minimiert, wenn die Brunnen gezielt nur in tieferen Bereichen, bzw. selektiv über und unter durchgehenden Sperrschichten, verfiltert werden (vgl. Abb. 2c). Dann lässt sich ein erhöhter Unterdruck anlegen, was zu einer weiträumigen Erfassung auch der tiefen Bereiche der Deponie führt. In gut dokumentierten Absaugversuchen wurde mehrfach nachgewiesen, dass sich die Menge an verwertbarem Deponiegas mit diesem alternativen Gaserfassungssystem erheblich erhöhen lässt.

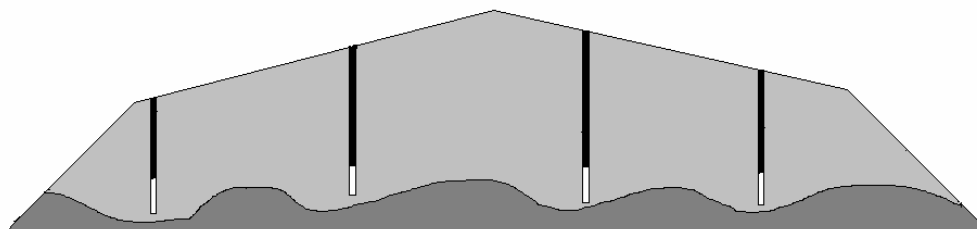


Abbildung 2c: Schematischer Deponieprofilschnitt: Reichweite der Gaserfassung im Deponiekörper bei optimierter Entgasung (selektiv verfilterte Gasbrunnen; Absaugung mit erhöhtem Unterdruck): hellgrau = aktiv entgaste Bereiche; dunkelgrau = von der Absaugung nicht erfasste Zonen.

## 7.2 Gasabsaugung zur Aerobisierung

Bei nachlassender Methanproduktion kann die Gasabsaugung mit veränderter Zielsetzung weiterbetrieben werden: Untersuchungen an einigen Deponien zeigen, dass mittels einer Aerobisierung durch Saugbelüftung der Deponie (Kanitz & Forsting, 2003) bzw. durch Niederdruckbelüftung (Heyer et al., 2005) die verbleibende abbaubare organische Substanz im Deponiekörper beschleunigt oxidiert wird. Kleinere Altdeponien wurden mit diesen Maßnahmen innerhalb weniger Jahre erfolgreich inertisiert.

Ein wichtiger Aspekt dieser Schwachgasabsaugung besteht darin, dass der Kohlenstoffaustrag aus der Deponie über die Gasphase (als  $\text{CH}_4$  und  $\text{CO}_2$ ) aktiv fortgesetzt wird – im Gegensatz zur derzeit üblichen Passiventgasung, bei der nur minimale Austragsraten erzielt werden. Zur Entsorgung des Methans in der Schwachgasphase gibt es geeignete Technologien (Zündstrahlmotoren, Katalysatoren, ggf. Biofilter).

Wie weit sich große Hausmülldeponien über die Gasabsaugung zur Aerobisierung inertisieren lassen, kann beim heutigen Kenntnisstand nicht zuverlässig beantwortet werden. Sicher ist jedoch, dass mit der Weiterführung der Gasabsaugung ein erheblicher

Kohlenstoffaustrag (in der Größenordnung von bis zu einigen Masse-% des Deponiekörpers) möglich ist.

## 8 Konzept für eine zielführende Nachsorge-Strategie

Aus den oben genannten Überlegungen lässt sich ein Konzept für eine zielführende Nachsorge-Strategie ableiten (vgl. Abbildung 3):

Betriebsphase		Nachsorgephase		Entlassung aus der Nachsorge
Ablagerungsphase	Stilllegungsphase	Aktive Nachsorgephase	Übergangsphase	
	Bioreaktor-Phase I	Bioreaktor-Phase II	Monitoring-Phase	
	Aktivierung der anaeroben Abbaureaktionen	Aktivierung des aeroben Abbaus	Monitoring	
	Optimierte Gaserfassung; Tiefenabsaugung	Aerobisierung; Aktiv-Entgasung	Passiv-Entgasung	
	Sickerwasser-Reinfiltration			
	Temporäre Oberflächenabdichtung		Endgültige Oberflächenabdichtung	

Abbildung 3: Schematisches Konzept der Phasen zur aktiven Deponie-Stilllegung und Nachsorge

### 8.1 Bioreaktor-Phase I (anaerob)

Am Ende der Ablagerungsphase, in der Stilllegungsphase und in der frühen Nachsorgephase sollte die Deponie gezielt als anaerober Bioreaktor gefahren werden. Eine Deponie ist natürlich nur sehr begrenzt steuerbar, aber es gibt doch Möglichkeiten der positiven Beeinflussung des organischen Abbaus:

- Erhöhung des Feuchtegehalts des Deponiekörpers über Sickerwasser-Reinfiltration bzw. über eine bewusste Restdurchlässigkeit der temporären Oberflächenabdichtung,
- Erzielung eines Optimums an Gasaustrag mittels gezielt errichteter, selektiv verfilterten Gasbrunnen.

Das Ziel in dieser Phase besteht darin, den Austrag an Kohlenstoff aus der Deponie in Form von verwertbarem Deponiegas zu maximieren (= Aktivierung der anaeroben Abbaureaktionen). Als Zeitraum für die anaerobe Bioreaktor-Phase I können ca. 10 – 15 Jahre (gerechnet ab dem Ende der Ablagerung organischer Abfälle) veranschlagt werden.

## **8.2 Bioreaktor-Phase II (aerob)**

Wenn die Deponie trotz optimierter Bedingungen (s.o.) nur noch Schwachgas liefert, sollte nicht schon auf Passiv-Entgasung umgestellt werden, sondern die Aktiv-Entgasung sollte mit geänderter Zielrichtung weiterbetrieben werden: Die Deponie sollte gezielt belüftet (aerobisiert) werden, damit die verbliebene organische Substanz durch den angesaugten Sauerstoff zu Kohlendioxid umgesetzt wird. Entscheidend hierfür ist eine im gesamten Deponiekörper wirksame Aktiv-Entgasung mit hohen Volumenströmen. Diese Phase sollte so lange aktiv geführt werden, bis der Deponiekörper im wesentlichen aerobisiert ist.

Das Ziel in dieser Phase besteht darin, über aerobe Abbauprozesse den Austrag an Kohlenstoff aus der Deponie auf hohem Niveau zu halten. Als Zeitraum für die aerobe Bioreaktor-Phase II können ca. 5 – 10 Jahre angesetzt werden.

## **8.3 Monitoring-Phase**

Diese Phase entspricht der konventionellen Vorstellung der Nachsorgephase: Die endgültige Oberflächenabdichtung wird aufgebracht (in Abhängigkeit vom verbliebenen Rest-Gefährdungspotenzial des Deponiekörpers). Die Entgasung wird auf passiv umgestellt. Die erforderlichen Maßnahmen beschränken sich auf die Überwachung der Systeme. In Analogie zum Nachsorgezeitraum für Inertdeponien kann für die Monitoring-Phase ein Zeitraum von 10 Jahren angesetzt werden.

## **9 Schlussbemerkung**

Wenn der Anspruch verwirklicht werden soll, die Umweltprobleme von heute nicht auf die nächste Generation zu verschieben, dann muss die Nachsorge von Altdeponien (Reaktordeponien) entsprechend zielstrebig angegangen werden. Die prognostizierten, langen Nachsorgezeiträume sind kein Naturgesetz, sondern entspringen der (änderungsbedürftigen) Auffassung, dass man die Siedlungsabfalldeponien in der Stilllegungsphase still liegen lässt.

Wichtigster Aspekt der aktiven Nachsorge ist die Entfrachtung der Deponien von reaktiver organischer Substanz. Das größte Potenzial liegt hier in einer Kombination von gezielter Befeuchtung mit konsequent betriebenen Gasabsaugung, die weit über den bisherigen Ansatz der Absaugung des „anfallenden“ Deponiegases hinausgeht: Die Deponie wird als Bioreaktor verstanden, der aktiv „gefahren“ wird.

Natürlich kann hier und heute keine Garantie dafür abgegeben werden, dass bei konsequenter Umsetzung der hier skizzierten Bioreaktor-Phasen tatsächlich nach 30 Jahren eine Entlassung aus der Nachsorge erfolgen kann. – Es lässt sich allerdings ziemlich sicher voraussagen, dass die heute noch überwiegend praktizierte, eher passive Art der Stilllegung und Nachsorge nicht zum gewünschten Ziel führen wird.

Ich stelle mir vor, dass die Stilllegung und Nachsorge von Deponien ähnlich angegangen wird wie die Sanierung von Altlasten über einen Sanierungsvertrag:

- Zunächst wird eine Bestandsaufnahme des jeweiligen Einzelfalles durchgeführt. Dabei werden die naturwissenschaftlichen Grundlagen (geologische, hydrologische und chemische Gegebenheiten), die vorhandenen technischen Einrichtungen (Abdichtungen, Sickerwasser- und Deponiegassysteme) und die ökonomischen Randbedingungen (Höhe der Rücklagen etc.) zusammengefasst und bewertet.
- Anschließend wird, ähnlich wie ein Sanierungsziel für eine Altlast, eine Zielbeschreibung für die Entlassung aus der Nachsorge (in Konkretisierung der Kriterien des §13(5) DepV) formuliert, die in einem Zeitraum von 30 Jahren realistisch erreichbar ist.
- Der wichtigste Schritt besteht anschließend darin, konkrete Schritte zur stufenweisen Erreichung dieses Zieles zu vereinbaren und so eine klare Perspektive für die Nachsorgephase zu entwickeln.

Entscheidend für den Erfolg wird sein, dass die Beteiligten (Deponiebetreiber, Fach- und Genehmigungsbehörden) sich ihrer gemeinsamen Verantwortung für die Zukunft bewusst werden, hergebrachte Denkstrukturen überwinden und bereit sind, von bisherigen Maximalpositionen zugunsten einer nachhaltigen Gesamtlösung abzurücken.

Die Deponiebetreiber und die Öffentlichkeit brauchen eine klare Perspektive für den Umgang mit Altdeponien in der Nachsorgephase. Die Kriterien des §13 (5) DepV für die Entlassung aus der Nachsorge stellen einen Anhaltspunkt dar, sie bedürfen aber der Konkretisierung und der Umsetzung in die Praxis und in den Vollzug.

Die technischen Möglichkeiten zur Beschleunigung des organischen Abbaus in Hausmülldeponien sind im Grundsatz bekannt (Sickerwasser-Rückführung; optimierte Gasabsaugung; Aerobisierung) und werden mit zunehmender Tendenz eingesetzt. Es kommt nun darauf an, diese Verfahren verstärkt in die Genehmigungspraxis einzubeziehen, großmaßstäblich einzusetzen und zielgerichtet weiterzuentwickeln, damit das Deponiezeitalter nach 30 Jahren tatsächlich seinem Ende zugehen wird.

## Literatur

Bachofner, A. & J. Kanitz (2005): Deponien – Aerobe Stabilisierung mit dem A3-Verfahren. – Tagungsband, VBSA-Tagung (Schweiz), 2005.

Bauer, P. & S. Meisinger (1999): Infiltration von Deponiesickerwasser. Ein Verfahren zur Optimierung von biologischen Umsetzungsvorgängen in abgedichteten Deponien. – Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 114. Berlin (E. Schmidt).

Drees, K. (2001): Deponiebewässerung – Ergebnisse und Konsequenzen. – Müll und Abfall 4/2001, S. 216 – 220.

Finsterwalder, K. (2001): Kriterien für die Beendigung der Nachsorge von Deponien nach TA-Siedlungsabfall – Berechnungen mit dem System DESi. – in: Bay. LfU-Fachtagung „Deponien im Wandel der aktuellen Gesetzgebung“, Augsburg.

GDA-Empfehlung E 2-18 (überarbeitete Version 2005): Geotechnische Belange der Deponieentgasung. – Bautechnik Bd. 82 (2005), S. 576 – 581.

Henken-Mellies, W.U. & W.P. Bauer (2005): Siedlungsabfalldeponien: Entlassung aus der Nachsorge nach 30 Jahren? – Müll und Abfall 8/05, S. 388 – 391.

Heyer, K.-U., K. Hupe, A. Koop & R. Stegmann (2005): In situ Stabilisierung von Deponien durch Belüftung und Übersaugung. – Bayerische Abfall- und Deponietage 2005, Tagungsband.

Kanitz, J. & J. Forsting (2003): Aerobisierung von Siedlungsabfalldeponien - Maximaler Austrag organischen Kohlenstoffs durch optimale Umsetzung des eingetragenen

Luftsauerstoffes - Einsatz des A3-Verfahrens zur in-situ-Stabilisierung. – in: Tagungsband 14. Nürnberger Deponieseminar; Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Heft 81, S. 207 – 220.

Kanitz, J. (2004): Innovative Deponie-Entgasungskonzepte – energetische Nutzung und Aerobisierung. - in: Tagungsband 15. Nürnberger Deponieseminar; Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Heft 82, S. 131 – 146.

Krümpelbeck, I. & Ehrig, H.-J. (1999): Abschätzung der Restemissionen von Deponien in der Betriebs- und Nachsorgephase auf der Basis realer Überwachungsdaten. - Abschlussbericht BMBF-Förderkennzeichen 1471067, Wuppertal.

Stegmann, R. et al. (2005): UFOPLAN-Förderkennzeichen 204 34 327: „Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ – Diskussionspapier für den Workshop im BMU am 26.10.2005.

Dr. sc. nat. Ulrich Henken-Mellies  
LGA Bautechnik GmbH – Grundbauinstitut  
Tillystraße 2  
90431 Nürnberg  
[wolf-ulrich.henken-mellies@lga.de](mailto:wolf-ulrich.henken-mellies@lga.de)  
(0911) 655 55 87