

Anforderungen an eine sichere Deponie - mögliche Nachsorgestrategien am Beispiel der Deponie Halle-Lochau

Prof. G. Rettenberger

1 Einleitung

Die Anforderungen der TA Siedlungsabfall an eine sichere Deponie basieren im Wesentlichen auf dem sogenannten Multibarrierenkonzept. Dabei wird einem vorbehandelten Abfall noch so viel Umweltrelevanz unterstellt, daß er durch eine hermetische Abkapselung in Form einer Basis- und Oberflächenabdichtung von der Umgebung abgeschirmt wird. Ein Austausch von Stoffen sowohl in die Deponie hinein als auch aus der Deponie heraus ist damit weitestgehend unterdrückt.

Prinzipiell kann dieses Ziel der Unterdrückung eines Stoffaustausches technisch auch anders als mit Abdichtungen erreicht werden. Solche Konzepte sehen im Grundsatz vor, eine gerichtete Wasserströmung so zu bewirken, daß das Grundwasser zwar der Ablagerung zuströmen, diese aber nicht unkontrolliert verlassen kann. Diese sogenannte hydraulische Lösung erfordert eine Absenkung des Grundwassers und eine Reinigung des belasteten Wassers, führt aber in Kombination mit einer Oberflächenabdichtung prinzipiell zu dem gleichen Ergebnis hinsichtlich der Umweltbeeinflussung wie die barrierengesicherte Deponie gemäß TA Siedlungsabfall. In der Praxis werden die hydraulischen Maßnahmen häufig mit Maßnahmen zur Minimierung der Wassermengen z. B. Dichtwände kombiniert.

Insbesondere bei den hydraulischen Maßnahmen wird deutlich, daß ein Ende des Abpumpens von Wasser nicht absehbar ist. Obwohl dies wirtschaftlich überhaupt kein Problem darstellt, wird dieser Umstand oftmals als ein Nachteil der hydraulischen Konzepte im Vergleich zu dem Multibarrierenkonzept gesehen. Aus der Tatsache allerdings, daß auch in TASI-Deponien nur solche Abfälle deponiert werden, die noch eine Umweltrelevanz besitzen, wird deutlich, daß bei der TASI-Deponie unterstellt wird, daß die Barrieren intakt sind und bleiben. Dies bedeutet somit, daß auch hier ein Ende der Überwachung und Instandsetzung nicht absehbar ist. Würde nämlich in der Zukunft eine Barriere versagen, wäre ein Austrag von Stoffen aus der Deponie in die Umwelt gegeben. Damit ließe sich insbesondere das Ziel einer nachsorgefreien(-armen) Ablagerung in einer Generation nicht erreichen.

Damit wird aber deutlich, daß die Frage der Umweltrelevanz eine Ablagerung durch den Abfall selbst bestimmt wird, d. h. von der Qualität und Fracht des Austrages in der Zukunft. Es ist bekannt, daß beide Faktoren über die Zeit exponentiell mit Halbwertszeiten von ca. 50 Jahren bei konventionellen Deponien ausklingen. Daher werden Nachsorgezeiträume von ca. 400 – 800 Jahren genannt. Jedoch ist bei den Untersuchungen deutlich geworden, daß der Stoffaustrag von dem Verhältnis Wasser zu Feststoff abhängt, d. h. von der Zeit unabhängig ist. Je länger es dauert, bis Werte über 6 – 10 erreicht werden, je länger dauert der Nachsorgezeitraum. So ge-

sehen führt das Konzept der TASI-Deponie im naturwissenschaftlichen Kontext grundsätzlich zu einer Verlängerung des Nachsorgezeitraumes, eine Verkürzung könnte nur durch ein rasches Erreichen eines hohen Wasser- zu Feststoffverhältnis erreicht werden.

Vom Grundsatz her macht das auch Sinn, denn dieser Zustand könnte relativ früh, teilweise in der Betriebszeit bei noch neuen und intakten Sickerwasserreinigungsanlagen an der Deponie realisiert werden.

An dieser Stelle sei noch eine kleine Anmerkung zu der Art des Stoffaustrages gemacht. An Deponien findet dieser über die Gas- und Wasserphase statt, wobei der Austrag zu über 99 % über die Gasphase erfolgt. Da aber die Halbwertszeiten bei der Gasentwicklung mit 5 Jahren deutlich unter denen des Wasseraustrages von 50 Jahren liegen, wird der Nachsorgezeitraum einer Deponie ausschließlich durch den Wasseraustrag bestimmt, obwohl dieser, aus dem Blickwinkel eines Massenvergleiches betrachtet, untergeordnet ist.

Vor diesem Hintergrund befaßt sich der Beitrag mit den technischen Maßnahmen zur Verkürzung der Nachsorgephase und zur Langzeitsicherung der Deponie Halle-Lochau. Da bei der Deponie Halle-Lochau davon ausgegangen werden kann, daß sie durch geeignete technische Maßnahmen hydraulisch gesichert ist, ist der jetzige Zustand mit einem Barriersystem vergleichbar. Werden die hierfür erforderlichen Entwässerungsmaßnahmen eingestellt, so steigt der Grundwasserspiegel soweit an, daß der Deponiekörper im Grundwasser liegt. Er würde somit vom Grundwasser durchströmt werden. Dieser Zustand wäre, da er kontrollierbar ist, etwa mit dem Versagen einer Barriere nach TASI vergleichbar. Da aber nicht für alle Zukunft auszuschließen ist, daß die GW-Spiegel wieder sich selbst überlassen werden, wurde untersucht, unter welchen Bedingungen und welchem zeitlichen Ablauf eine Stabilisierung des Deponiekörpers durch eine Beeinflussung der Deponierung unter Berücksichtigung der Ziele des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) sowie der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASI) erreicht wird, der auch eine Einstellung der Grundwasserhaltung ermöglichen würde. Dieser Zustand wäre bei TASI Deponien gegeben, wenn dort gezielt das Wasser: Feststoffverhältnis auf >6 innerhalb des Barriersystems eingestellt würde. Dies ist derzeit in der TASI nicht vorgesehen. Trotz fehlender Abdichtungssysteme und trotz ihrer Lage unter dem Grundwasserspiegel wird ein umweltverträglicher Weiterbetrieb der Deponie Halle-Lochau auch dann ohne künftige Umweltrisiken möglich, wenn das Stoffpotential der eingelagerten Abfälle bis zu einem bestimmten Mindestmaß gezielt und kontrolliert reduziert wird.

Bei der Behandlung von Deponiegut wird nach in situ-, on site- und off site-Stabilisierungen unterschieden. On site- und off site-Stabilisierungen sind bei einer Deponie mit einem Deponierückbau verbunden. Diese Varianten werden im Folgenden nicht weiter betrachtet, da sie zu nicht akzeptablen Kosten führen.

In Siedlungsabfalldeponien geht von biologisch abbaubaren organischen Substanzen und deren Abbauprodukten die größte und am längsten anhaltende Beeinflussung der Umwelt aus. Kontaminationen durch toxische organische Bestandteile und anorganische Bestandteile sind

i. d. R. vernachlässigbar. Ziel ist somit die Reduzierung der biologisch abbaubaren organischen Substanzen und deren Abbauprodukte auf eine Konzentration, bei der eine Umweltgefährdung sicher ausgeschlossen werden kann. In Situ-Stabilisierungen können hierfür nach den folgenden beiden Prozessen erfolgen:

1. Intensivierte biologische Abbauprozesse und Austrag von organischen Substanzen aus dem Deponiekörper in Form von Methan und /oder Kohlenstoffdioxid durch die Gasphase bis zu einem stabilen Zustand. Die biologischen Abbauprozesse können im anaeroben und aeroben Milieu durchgeführt werden.
2. Auslaugungsprozesse mit dem vorrangigen Ziel eines Austrages von organischen Substanzen in Form von löslichen oder suspendierbaren Bestandteilen oder als Schwebstoffe mit dem Sickerwasser bis zu einem Zustand, bei dem nur noch geringe Austräge gegeben sind.

In der Betriebsphase einer Deponie und in den ersten Jahren nach Verfüllung einer Deponie wird, wie erläutert, ein deutlich höherer Anteil an organischen Kohlenstoffverbindungen durch die Gasphase als durch die Sickerwasserphase ausgetragen. Die ersten Phasen werden somit sinnvollerweise mittels eines Austrags durch die Gasphase durchgeführt.

Um ein hohes Maß einer Stabilisierung zu erreichen, muß nach einem weitgehenden biologischen Abbau und dem Austrag der Abbauprodukte Methan und / oder Kohlenstoffdioxid mit der Gasphase in weiteren Stabilisierungsphasen eine Ausspülung der dann noch vorhandenen austragfähigen Stoffe stattfinden. Dies ist erforderlich, da eines der Abbauprodukte des biologischen Organikabbaus, Ammonium, nur in geringen Mengen über die Gasphase ausgetragen werden kann. Daneben verbleiben aus dem biologischen Abbau noch schwer oder nicht weiter abbaubare organische Restprodukte, die keiner Umsetzung in die Gasphase mehr zugänglich sind. Beide Komponenten werden unter natürlichen Randbedingungen langfristig mit dem Wassertransport aus der Ablagerung ausgetragen und können für die Umgebung der Deponie eine Belastung darstellen. Das zügige und weitgehende Ausspülen dieser Verbindungen durch Auslaugung und deren möglichst weitgehende Elimination durch Behandlung der Spülwässer ist deshalb ein wesentlicher Punkt zur Realisierung einer umweltverträglichen Ablagerung.

Übertragen auf die Situation an der Deponie Halle-Lochau wäre somit der optimale Effekt bezüglich einer Stabilisierung sinnvollerweise in einer Kombination aus intensivierten biologischen Umsetzungsprozessen und zusätzlicher Auslaugung durch Wasserzutritt zu erzielen. Durch die intensivierte biologische Umsetzung wird zu einem erheblichen Teil auch die Struktur des Abfallmaterials zerstört und dadurch die Auslaugfähigkeit wesentlich verbessert. Gleichzeitig wird dadurch der organische Kohlenstoff zu einem erheblichen Teil in Methan und/oder Kohlendioxid umgewandelt und gasförmig aus dem Abfall ausgetragen, so daß für diesen Teil keine langwierige Auslaugung erforderlich ist.

2 Rahmenbedingungen an der Deponie Halle-Lochau

Im Ostschlauch des Tagebaurestloches Lochau wird seit 1976 die Deponie Halle-Lochau betrieben. Das Tagebaurestloch ist eine beim Abbau von Braunkohle entstandene, etwa 50 bis 60 m tiefe Hohlform. Die Basis befindet sich bis zu 40 m unter dem natürlichen Grundwasserspiegel. Zur Trockenhaltung wird ein Entwässerungssystem betrieben.

Die Deponie wird bis zum Jahre 2005 in zwei Bereichen, einem Hausmüllbereich und einem Gewerbeabfallbereich, mit Restabfällen befüllt. Bis zu diesem Zeitpunkt beträgt die abgelagerte Menge etwa 16 Mio. Mg und die erreichte Höhe über der Deponiesohle etwa 20 bis 30 m. Danach soll die Deponie mit MBA-Output-Material und mit anderen Inertmaterialien, die die Anforderungen des Anhangs B der TA Siedlungsabfall einhalten, weiter verfüllt werden. Das MBA-Output-Material wird dabei hochverdichtet eingebaut und besitzt nach dem Einbau weitgehend wasserundurchlässige Eigenschaften.

An der Deponiebasis der Deponie Halle-Lochau befinden sich dichtende Schichten. Den seitlichen Rand der Deponie bilden in geringem Maße wasserdurchlässige Abraumkippen. Der freie Grundwasserspiegel in den umgebenden Böschungen befindet sich bei etwa 90 müNN. Der abgesenkte Grundwasserspiegel im Tagebaurestloch liegt zwischen 50 und 60 müNN. Durch die Entwässerungsmaßnahmen wird also ein Inversionsgradient zum Restloch in den hangenden Grundwasserleitern ausgelöst. Ein Großteil des zuströmenden Grundwassers wird über Fallfilter und eine Lokstrecke sowie über die Randriegel gefaßt und strömt somit nicht in die Deponie. Das restliche nicht gefaßte Wasser strömt über die Abraumkippen in die Deponie und wird dort in der Sickerwasserdrainage mit dem Sickerwasser abgeleitet. Mittels einer Modellberechnung wurde nachgewiesen, daß eine allseitige Zuströmung von Wässern aus der Umgebung des Tagebaurestloches zu den Entwässerungssystemen gegeben ist, so daß der Deponiebetrieb mit den hydraulischen Sicherungselementen (Streckenentwässerung, Oberflächenwassergräben und Deponiesickerwasserdrainage) durch die Inversionsströmung stabil und umweltverträglich gesichert wird. Unter den gegebenen Rahmenbedingungen (Absenken des Sickerwasserstandes aufgrund der Sickerwassererfassung) war bei den bisherigen Messungen ein Eintrag von Deponiesickerwasser ins Grundwasser nicht feststellbar. Außerdem war auch kein Übertritt von Deponiesickerwasser zur Lokstrecke nachweisbar.

Zur Entgasung der Deponie werden derzeit Entgasungseinrichtungen installiert. Die Hausmülldeponie soll durch vertikale Gasbrunnen und durch Horizontaldrainagen aktiv und die Gewerbeabfalldeponie durch Horizontaldrainagen passiv und nur bei Bedarf aktiv entgast werden.

Bei einer Außerbetriebnahme der Entwässerungssysteme würde sich langfristig der Grundwasserspiegel im Bereich der Deponie an den großräumig vorhandenen natürlichen Grundwasserspiegel des umgebenden Geländes (etwa 96 bis 98 müNN) angleichen.

3 Grundsätzliche Überlegungen zum zukünftigen Deponiebetrieb

Die folgende Zusammenstellung gibt einen etwas vereinfachten und schematisierten Überblick über den technischen Einrichtungsstand einer Altdeponie, die entsprechend TASI zu betrachten ist, und dem der Deponie Halle-Lochau.

Im Gegensatz zu dem Barriersystem, bei dem die Emission zwar vermindert wird, die Stoffgefährlichkeit und das Inventar der Deponie aber unverändert bleibt, wird beim Stabilisierungskonzept gezielt das Inventar der Deponie verändert und so die Stoffgefährlichkeit herabgesetzt. Damit erniedrigt sich auch die Emission. Der Vorteil der zweiten Vorgehensweise besteht darin, daß die Barrieren nicht ständig überwacht und instandgesetzt werden müssen. Damit kann in überschaubaren Zeiträumen ein Endzustand der Nachsorge erreicht werden, während dieser bei Barrierekonzepten nicht abzusehen ist. Vielmehr verlängert eine Barriere die Nachsorgephase.

Bestandteil		Altdeponie	Deponie Halle-Lochau
Untergrund	TASi-Forderung	Umgebung nach dem Stand der Technik (St. d. T.)	
	Gegebenheit am Standort		Untergrund wenig durchlässig; Aufsteigender Druckgradient des Grundwasser; spätere zwangsläufige Flutung der Grube
	Ausgleich	Oberflächenabdichtung	Aktive biologische und hydraulische Maßnahmen zur Reduktion des Belastungspotentials
Basisabdichtung	TASi-Forderung	Basisabdichtung nach dem St. d. T.	
	Gegebenheit am Standort		Keine Basisabdichtung
	Ausgleich	Oberflächenabdichtung	Aktive biologische und hydraulische Maßnahmen zur Reduktion des Belastungspotentials
Entwässerungssystem	TASi-Forderung	Entwässerungssystem nach dem St. d. T.	
	Gegebenheit am Standort		derzeitiges Entwässerungssystem nicht optimal für Entwässerung geeignet (nicht Stand der Technik)
	Ausgleich	Oberflächenabdichtung	Entwässerungssystem für aktive biologische und hydraulische Maßnahmen (dafür sind erhebliche Modifizierungen erforderlich)
Entgasungssystem	TASi-Forderung	Gasfassung und –entsorgung / –nutzung nach dem St. d. T.,	
	Gegebenheit am Standort		Verbesserte Ausbeute durch Bewässerung, gezielte Beendigung der Gasbildung und Gasemission durch Lufteintrag
Abfalleinbau	TASi-Forderung	Abfalleinbau + Aufbau des Deponiekörpers nach dem St. d. T.	
	Gegebenheit am Standort		Einbau der Abfälle entspricht nicht dem Stand der Technik
	Ausgleich	Oberflächenabdichtung	Aktive biologische und hydraulische Maßnahmen zur Reduktion des Belastungspotentials der Abfälle
Oberflächenabdichtung	TASi-Forderung	Oberflächenabdichtung nach dem St. d. T. (TASi)	
	Gegebenheit am Standort		Für die vorgesehenen aktiven biologischen und hydraulischen Maßnahmen besteht keine Verwendung für ein Oberflächenabdichtungssystem nach TASi, da das Belastungspotential bis zur Umweltverträglichkeit reduziert werden soll; zusätzlich fließt im Endzustand ein Grundwasserstrom zwangsläufig unter der Oberfläche durch den Abfall

Tabelle 1 Vergleich des technischen Einrichtungsstandes einer Altdeponie, die entsprechend TASi zu betrachten ist, und dem der Deponie Halle-Lochau

Im Vergleich zu der üblicherweise bei Altdeponien angewandten Reparaturmaßnahme (Oberflächenabdichten)“ hat bei der Deponie Halle-Lochau eine Oberflächenabdichtung keine Reparatur- oder Ausgleichsfunktion, da der wesentliche Wasserzustrom seitlich in die Deponie erfolgt.

Damit gibt es aber neben einem kompletten Rückbau der Deponie nur 2 Möglichkeiten für den Betrieb der Deponie Halle-Lochau:

- Betrieb entsprechend den Anforderung der TASI mit nachträglicher Basis- und Seitenabdichtung, was aber gegenüber dem jetzigen Zustand allenfalls einen erhöhten Sicherheitsstandard erbringen würde
- Neuausrichtung des Deponiebetriebes mit dem Ziel der weitgehenden Reduzierung des Belastungspotentials durch Beeinflussung (Stabilisierung, Inertisierung) des Deponiekörpers zur Absenkung des Austragspotentials durch biologische Umsetzung und Auslaugung von umweltschädigenden Inhaltsstoffen, was eine zusätzliche Sicherheit über die Forderung der TASI hinaus bedenkt.

Da die Möglichkeit nachträglicher Dichtungsmaßnahmen einen hohen Aufwand erfordern würde, durch das Verbleiben der Abfälle an Ort und Stelle aber kein langfristig geringeres Umweltisiko erzielt würde, ist nur die zweite Lösung ein Weg, um am Standort eine deutliche Verbesserung der Nachsorgesituation zu erreichen. Diese wurde vom Verfasser in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Ing. H. J. Ehrig für den RP Halle untersucht.

4 Technische Möglichkeiten zur Inertisierung

4.1 Wasserinfiltration zur Erhöhung der biologischen Abbauleistung

4.1.1 Grundprinzip

Für den anaeroben biologischen Abbau der organischen Abfallanteile ist ein Mindestwassergehalt von deutlich über 30 Gew.% und für einen optimalen anaeroben mikrobiellen Abbau ein Wassergehalt ab etwa 40 Gew.% erforderlich.

Der in einem Deponiekörper angetroffene Wassergehalt ist stark von den jeweiligen Rahmenbedingungen des Deponiebetriebes (z. B. Art der abgelagerten Abfälle, Schüttgeschwindigkeit, Jahresniederschlagsmenge) abhängig. Bei einem geringen Gehalt an feuchten Abfällen, einer hohen Schüttgeschwindigkeit und einem geringen Jahresniederschlag ist der Abfall bereits bei der Ablagerung so trocken, daß dort kaum noch biologische Prozesse ablaufen können. Unabhängig von den Rahmenbedingungen einer Deponie kommt es außerdem in oberflächenabdichteten Deponiebereichen mit der Zeit durch Konsolidierungsvorgänge zu einer Verringerung des Wassergehaltes. Folge davon ist eine Verringerung der biologischen Aktivität, so daß, v. a. bei bereits zu trocken eingebauten Abfällen, biologisch abbaubare Substanzen nicht mehr oder nur noch sehr langsam abgebaut werden.

Um diesen Effekten entgegenzuwirken und den Mikroorganismen die für den biologischen Abbau optimale Wassermenge zur Verfügung zu stellen, besteht die Möglichkeit, nach Abschluß eines Deponiebereiches mit hierfür geeigneten Systemen eine definierte Wassermenge in den Deponiekörper zu infiltrieren. Verwendet werden kann hierfür auch Sickerwasser, wobei dann allerdings darauf zu achten ist, daß es zu keinen Inkrustationen in den Bewässerungseinrichtungen bzw. Versalzungen kommt.

Durch die Deponiegutbefeuchtung mittels Wassereintrag soll der für den anaeroben biologischen Abbau optimale Wassergehalt eingestellt und damit die Mineralisierung der organischen Substanzen beschleunigt und die Deponiegasbildungsrate erhöht werden. Der Wassereintrag sorgt außerdem für eine Wasserbewegung in der Deponie. Diese ist für biologische Prozesse notwendig, um Nährsubstrate zu den immobilen Organismen an- und ihre Stoffwechselprodukte abzutransportieren.

Im Deponiekörper der Deponie Halle-Lochau liegt der Wassergehalt aufgrund der Rahmenbedingungen bei der Abfalleinlagerung (z. B. gut wasserdurchlässiger DDR-Müll in den tieferen Schichten, relativ rasches Aufbringen von Zwischenabdeckungen seit dem Jahre 1993, Nutzung einer Asche/Klärschlamm-Mischung mit hohem Wasserspeichervermögen für die Zwischenabdeckungen seit dem Jahre 1995) bereits vor dem Aufbringen einer Oberflächenabdichtung weit unterhalb des für den mikrobiellen anaeroben Abbau organischer Substanzen optimalen Wassergehaltes (Wassergehalt in den ungesättigten Bereichen des Deponiekörper der Deponie Halle-Lochau: Im Hausmüllbereich i. M. 24 Gew.% und im Gewerbeabfallbereich i. M. 16 Gew.%).

Der Effekt des Vorliegens eines trockenstabilisierten Abfalls wird sich durch den geplanten hochverdichteten Einbau von MBA-Output bzw. anderen Inertabfällen über dem zu sanierenden Deponiekörper ab dem Jahre 2005 noch verstärken, da hierdurch keine nennenswerten Mengen an Niederschlagswasser mehr in den zu stabilisierenden Deponiekörper vordringen werden. Durch die fehlende Zufuhr von Wasser kommt es mit der Zeit schwerkraftbedingt zur Ausbildung eines Feuchtigkeitsprofils mit von oben nach unten zunehmendem Wassergehalt, so daß im oberen Bereich der Deponie der Mineralisierungsprozess noch stärker gehemmt, möglicherweise sogar (ab Wassergehalten < 15 Gew.%) völlig unterbunden wird. Würden die organischen Substanzen nicht abgebaut, hätte dies zur Folge, daß es bei Einstellung des Betriebes der Entwässerungssysteme und Einstau des Deponiekörpers zu einer unkontrollierten Gasentstehung kommen würde (die Intensität der Gasentstehung wäre hierbei von der Grundwassertemperatur und der Selbsterwärmung abhängig).

4.1.2 Technische Ausgestaltung

Voraussetzung für eine Wasserinfiltration ist zumindest [1]:

- ein funktionierendes Sickerwasserfassungssystem,
- ausreichende Standsicherheit des Deponiekörpers,
- ein funktionierendes Aktiventgasungssystem,
- Einrichtungen zur geregelten und kontrollierten Infiltration
- Einrichtungen zur Steuerung der Infiltrationsmenge und zur Kontrolle des Gas- und Wasserhaushaltes der Deponie

Die Infiltrationsanlage zur Erhöhung der biologischen Aktivität ist so auszulegen, daß die Befuchtung gleichmäßig erfolgt und alle Bereiche der Deponie erfaßt werden. Beim Betrieb von Infiltrationsanlagen ist des Weiteren i. d. R. darauf zu achten, daß nur soviel Wasser zugegeben wird, wie der Müllkörper aufnehmen kann, ohne daß sich die abfließende Sickerwassermenge erhöht. Im Fall der Deponie Halle-Lochau ist diese Rahmenbedingung nicht so relevant, da nach dem biologischen Abbau eine Ausspülung vorgesehen ist. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte in der Phase des biologischen Abbaus aber in jedem Fall eine Erhöhung der Sickerwassermenge vermieden werden.

Zur Infiltration von Wasser können die folgenden technischen Systeme eingesetzt werden:

Vertikalsysteme:

- Schluckbrunnen (ähnlich ausgebaut wie Gasbrunnen, allerdings mit geringerer Tiefe und dichter Anordnung)
- Sonden (gerammte oder gebohrte Stahlrohre, geschlitzt)
- Drainagegräben (mit Bagger ausgehoben (4 bis 5 Meter tief), kiesverfüllt und verrohrt)
- Sickerlöcher (Baggerlöcher, kiesverfüllt mit Vertikalrohr)

Horizontalsysteme:

- verrohrte Flächendrainagen unter der Abdichtung und/oder in tieferen Lagen
- Sonden (horizontal von der Böschung aus vorgetrieben)
- Sickerdrainagen (horizontal in verschiedenen Höhenlagen verlegt, kiesummantelt)

Die Zeitdauer der aktiven Deponiegasfassung im Hausmüllbereich richtet sich danach, wie lange sich effektiv Gas erfassen und ableiten läßt. Nach derzeit üblicher Praxis läßt sich eine Entgasung 3 bis 4 Halbwertszeiten nach Betriebsabschluß technisch sicher betreiben. Danach ist aufgrund eines zunehmenden Luftanteils mit schwankenden Gasmengen bei schlechter Gasqualität zu rechnen, so daß ab diesem Zeitpunkt eine aktive Entgasung beendet werden sollte. Zu diesem Zeitpunkt sind über 90 % der abbaubaren Substanz abgebaut.

Für die Infiltration kann Sickerwasser nach einer Sickerwasserbehandlung verwendet werden, wobei bei der Sickerwasserbehandlung jene Stoffe abgereichert werden müssen, die zu einer Zusetzung des Infiltrationssystems führen würden (Schwebstoffe sowie alle Stoffe die bei den möglichen Milieuänderungen zur Bildung schwer löslicher Substanzen oder zu Ausfällungen führen).

Außer Sickerwasser kann auch das auf der Oberfläche des MBA-Output-Deponiekörpers anfallende Oberflächenwasser und/oder das Wasser aus dem Entwässerungssystem für die Infiltration verwendet werden.

4.1.3 Leistungsfähigkeit

Zur Einstellung einer möglichst hohen Gasproduktion muß der Wassergehalt im Fall des Hausmüllbereiches der Deponie Halle-Lochau um mindestens 10 Gew.% erhöht werden. Dies ist mit üblichen Systemen leistbar, z. B. bei Versuchsfeldern auf der Deponie Erbenschwang [2], bei denen eine Bewässerung mit vertikalen Lanzen erfolgte, eine mittlere Erhöhung des Wassergehaltes von unter 30 auf über 40 Gew.% erzielt. Eine einheitliche Befeuchtung wird mit tiefendifferenziert wirkenden Sonden bzw. Brunnen mit Wasserzuführung unter Druck realisiert.

Für die Dimensionierung der Infiltrationsanlage ist die Durchlässigkeit des Deponiekörpers von großer Wichtigkeit. Diese ist aber nur in Versuchen zu ermitteln.

4.1.4 Bewertung des Verfahrens

In Abbildung 1 ist die aus Untersuchungen an der FH Trier abgeleitete Abhängigkeit der Halbwertszeit des Abbaus der organischen Substanz in der Deponie vom Wassergehalt beispielhaft dargestellt.

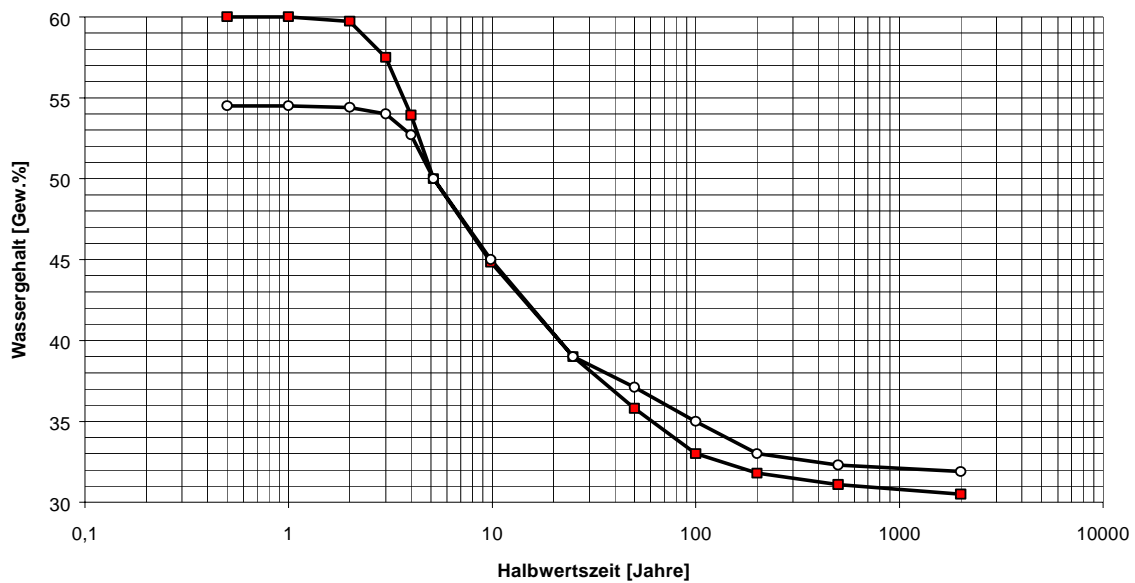


Abbildung1 Beispiel für Abhängigkeit der Halbwertszeit des Abbaus der organischen Substanz in der Deponie vom Wassergehalt - einfachlogarithmische Darstellung

Es wurden bei den o. g. Untersuchungen desweiteren folgende Ergebnisse ermittelt:

- Eine weitgehende Hemmung der Gasproduktion konnte bei einer Herabsetzung auf Wassergehalte ≤ 30 Gew.% beobachtet werden. Im Bereich zwischen 30 und 50 Gew.% bewirkt die Erhöhung des Wassergehaltes um 1 Gew.% eine Erhöhung der produzierten Gasmenge um etwa 3,5 %. Ab einem Wassergehalt von 50 Gew.% nimmt die Gasmenge zwar weiterhin zu, jedoch ist in diesem Bereich die Steigerung der durch die Wassergehaltserhöhung erzielbaren Zunahme der produzierten Gasmenge geringer.
- Bei zuvor trockenstabilisiertem Müll können nicht vollständig die Halbwertszeiten erzielt werden wie bei Müll, der bereits in seinem Ausgangszustand einen ausreichenden Wassergehalt aufweist.

4.2 In situ-Belüftung zur aeroben Stabilisierung

4.2.1 Grundprinzip

Bei der Stabilisierung durch In situ-Belüftung wird durch Belüftungsmaßnahmen im Deponiekörper eine aerobe Atmosphäre hergestellt. Dadurch wird der anaerobe biologische Abbau der organischen Substanzen zum Erliegen gebracht, da Luft für die Methanbakterien giftig ist und ein aerober biologischer Abbau der organischen Substanzen in Gang gesetzt.

4.2.2 Technische Ausgestaltung

Die In situ-Belüftung muß entsprechend dem Sauerstoffbedarf bemessen werden. Für Altdepo-

nien kann ein mittlerer Luftbedarf von 100 bis 150 m³/Mg TS angesetzt werden (z. Vgl. Erforderliche Luftmenge bei frischem Restabfall: 830 m³/Mg TS). Im Fall der Deponie Halle-Lochau, wo eine intensiviertere anaerobe Phase der Belüftung vorausgegangen ist, wird der mittlere Luftbedarf bei etwa 30 m³/Mg TS liegen.

Bei der technischen Umsetzung einer In situ-Belüftung müssen folgende Aspekte beachtet werden:

- Randzonen müssen durch Sauglanzen geschützt werden, damit kein Deponiegas unkontrolliert aus dem Behandlungsbereich entweichen kann.
- Der Explosionsschutz ist zu beachten:
- Zur Steigerung der aeroben Stabilisierung sollten zu trockene Deponiebereiche befeuchtet werden.
- Die Belüftungsleistung sollte hinsichtlich Zeitbedarf und Energiebedarf optimiert werden. Unter diesen Voraussetzungen ist für die aerobe In situ-Stabilisierung im günstigsten Fall ein Zeitbedarf von 1 bis 2 Jahren zu erwarten. Im Fall der Deponie Halle-Lochau sollte mit der Belüftung ein möglichst weitgehender Abbau erzielt werden. Entsprechend ist eine längere Belüftungszeit von 5 Jahren zu erwarten.
- Bestehende Gaserfassungsanlagen können in das Belüftungskonzept integriert werden.
- Da mit der Aerobisierung eine Temperaturerhöhung verbunden ist, sollte die Temperatur kontrolliert werden. Temperaturen > 80 °C sollten vermieden werden. An Bauteilen sind die entsprechenden Dimensionierungstemperaturen einzuhalten.

4.2.3 Leistungsfähigkeit

Es kommt zu einer deutlichen Reduzierung der anschließend noch auslaugbaren Frachten, da u. a.:

Die Stickstoffkonzentration (kritischster Parameter hinsichtlich der erforderlichen Auslaugungszeit bei einer Deponie) erheblich reduziert wird.

4.2.3.1 Deponiegasemissionen:

Hinsichtlich der Deponiegasemissionen wird ein Abbau organischer Substanzen nach der Belüftung deutlich schneller erfolgen, da die spezifischen TOC-Abbauleistungen beim aeroben Abbau um bis zu Faktor 5 höher als unter anaeroben Bedingungen liegen.

4.2.4 Bewertung des Verfahrens

Bei ausreichend stabilisiertem Deponiegut, sowie an der Deponie Halle-Lochau gegeben, kann die In situ-Stabilisierung für eine erhebliche Beschleunigung der Abbauvorgänge sorgen. In diesem Fall kann bei einer 5-jährigen Belüftungsphase bei Ansatz einer um durchschnittlich etwa Faktor 3,2 höheren TOC-Abbauleistung aufgrund der nichtlinearen Abnahme der anaero-

ben TOC-Abbauleistung etwa soviel Organik abgebaut werden wie bei etwa 80 Jahren anaerobem Abbau.

4.3 Wasserzutritt zur Auslaugung des Deponiekörpers

4.3.1 Grundprinzip

Aus Abfällen werden genauso wie aus allen anderen Stoffen beim Kontakt mit Wasser die wasserlöslichen Verbindungen mobilisiert. Bei einer Deponie erfolgt daher mit dem durchfließenden Sickerwasser eine Auslaugung von Stoffen. Die derzeitigen Kenntnisse über die Auslaugung von Abfällen mit dem Ziel, das vorhandene Stoffpotential zu reduzieren, wurden überwiegend in Laborversuchen gewonnen.

4.3.2 Technische Ausgestaltung

In den folgenden Abschnitten werden die unterschiedlichen Verfahren Einstau, Versickerung und Infiltration auf ihre Anwendbarkeit für die Deponie Halle-Lochau bewertet.

4.3.2.1 Einstau von Grundwasser

Grundsätzlich stellt der Einstau von Grundwasser und dessen späteres Abpumpen eine sehr interessante Form der Auslaugung dar. Eine wichtige Voraussetzung ist allerdings eine weitgehende Homogenität des auszulaugenden Materials. Nur dann kann auch eine gleichmäßige Auslaugung gewährleistet werden. Diese Grundvoraussetzung liegt bei der Deponie Halle-Lochau nicht vor. Damit ist eine gezielte und kontrollierte Auslaugung nicht möglich. Auf Grund von Erfahrungen an Deponien mit eingestauten Sickerwässern ist außerdem zu befürchten, daß eingestaute Bereiche des Hausmüllbereiches extrem langsam entwässern, während das Wasser aus dem Gewerbeabfallbereich relativ schnell abläuft.

4.3.2.2 Versickerung

Unter dem Begriff Versickerung wird der Eintrag von Wasser auf oder dicht unter der Abfalloberfläche verstanden. Angesichts der unterschiedlichen Ablagerungsbereiche in der Deponie Halle-Lochau (neben der Unterteilung in den Hausmüll- und den Gewerbeabfallbereich ist zusätzlich zu unterscheiden in Bereiche, die sich durch im Laufe der Zeit geänderte Einbautechniken und Abfallzusammensetzungen ergeben haben, zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang z. B. der Wechsel von DDR-Müll zu Restabfall oder der Wechsel vom Einbau ohne Zwischenabdeckungen zum Einbau mit Zwischenabdeckungen) erscheint ein gleichmäßiger Wassereintrag in den Abfall mit einem weitgehenden drucklosen System nahe der Abfalloberfläche äußerst unwahrscheinlich. Besonders die Probleme mit dem Wasserhaushalt bei Mülleinbau mit Abdeckungen schließen diese Variante weitgehend aus. Gerade diese abgedeckten Bereiche erfordern eine weitgehende Auslaugung. Hier besteht die Gefahr, daß das zu versickernde Wasser auf schnellstem Wege einem Entwässerungssystem zufließt ohne größere Bereiche

des Abfalls zu durchfließen.

4.3.2.3 Infiltration

Unter dem Begriff Infiltration wird hier das Einbringen von Wasser in den Abfallkörper durch Brunnen oder Sonden unter Druck verstanden. Mit einem derartigen System kann das Wasser in den Abfallkörper hineingepreßt werden und es kann sich an der Eintrittsstelle horizontal verteilen, so daß mit einer erhöhten Sicherheit eine sehr weitgehende Verteilung und Auslaugung erfolgt. Durch höhenmäßige Abstufung dieser Infiltrationssysteme kann das Wasser gezielt in unterschiedliche Tiefen und damit Abfallbereiche gegeben werden und so den Anforderungen, die sich aus der Überwachung des Systems und der Effektivitätsüberprüfung ergeben, angepaßt werden. Das wiederum hat deutliche positive Auswirkungen auf die Kosten der langfristigen Sickerwasserbehandlung, die sich so minimieren lassen. Gegebenenfalls kann die gezielte Infiltration soweit durchgeführt werden, daß ein geschlossener Wasserspiegel entsteht. Damit ist sichergestellt, daß sich überall ein ausreichender Wassergehalt ergibt.

4.3.3 Leistungsfähigkeit

Für die Abschätzung des zeitlichen Verlaufs wird in einem ersten Ansatz eine tägliche Infiltrationsmenge von etwa 700 bis 2.100 m³ angesetzt, da abgeschätzt wird, daß diese Menge auf jeden Fall infiltriert werden kann. Auf die Gesamtfläche der Deponie bezogen entsprechen 700 m³/d einer Sickerwassermenge von etwa 8,3 bis 25 m³/ha*d, was z. B. bei der Installation von Brunnen alle 50 m entsprechend 4 Brunnen pro ha einer Infiltrationsmenge der einzelnen Brunnen von etwa 2 bis 6 m³/d entsprechen würde.

Im Vergleich mit anderen Deponien entspricht die minimale Infiltrationsmenge einer Sickerwassermenge, die angesichts der geringen Speicherkapazität derzeitiger Siedlungsabfälle, bereits auf Grund der natürlichen Niederschläge abfließt. Eine genaue Vorgabe, wieviel Wasser zu infiltrieren ist, macht wenig Sinn, da der abgelagerte Abfall sehr inhomogen ist. Es ist denkbar, daß sehr hohe Wassermengen infiltriert werden können. Dies kann aber zu einer extrem starken Verdünnung des Sickerwassers führen, so daß die Behandlung völlig unwirtschaftlich wird. Dagegen ist nicht auszuschließen, daß die Infiltrationsmengen in den Hausmüllbereich wegen der Inhomogenität und den teilweise geringen Durchlässigkeiten nach oben begrenzt ist. Aber auch das kann nur durch Versuche ermittelt werden. Prinzipiell wäre es sicher möglich, den Mengeneintrag durch Druckerhöhung bei der Infiltration zu erhöhen. Dies würde aber die Kosten drastisch ansteigen lassen und erscheint deshalb nur für eventuelle vereinzelte Problem- punkte vertretbar.

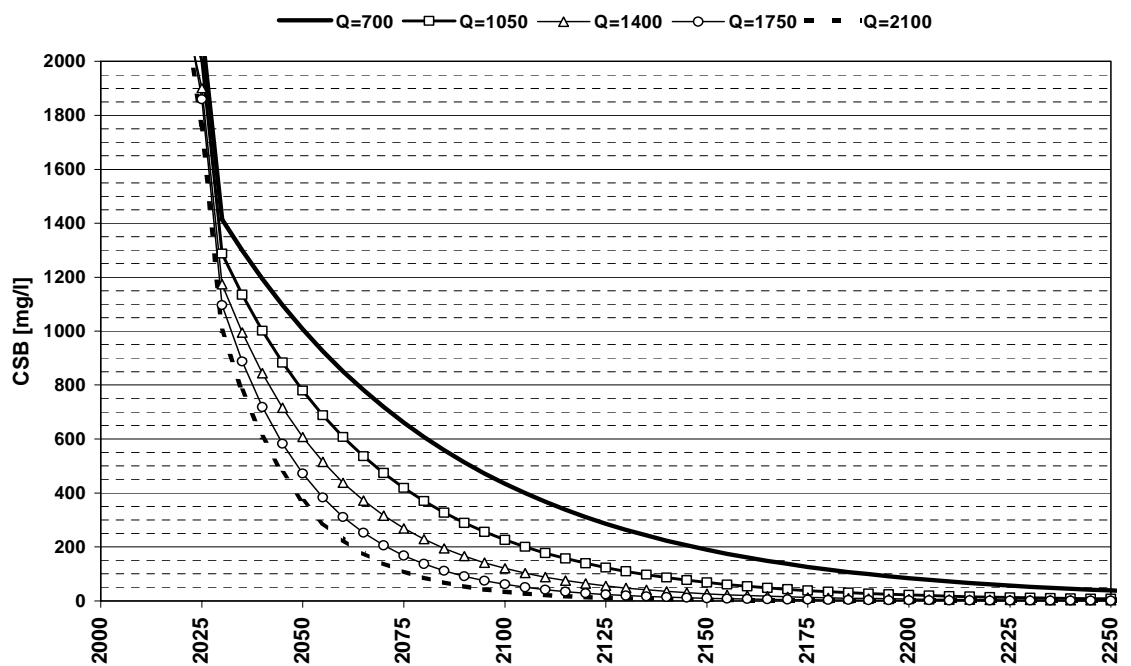
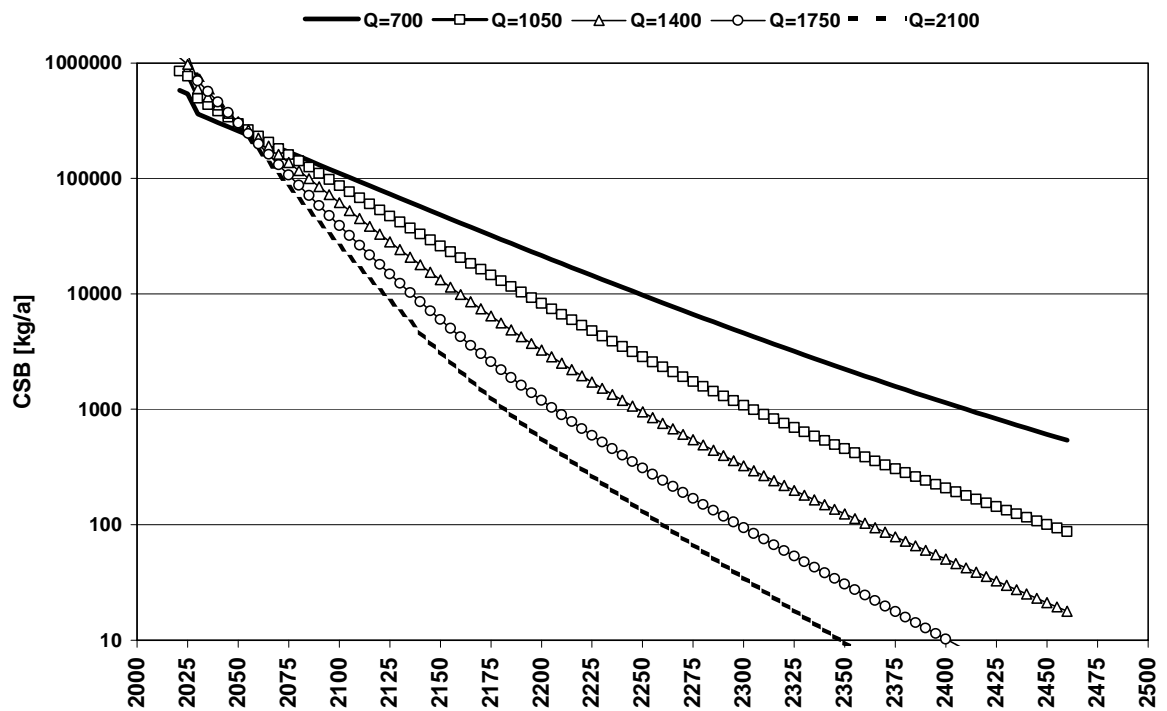


Abbildung 2 Prinzipieller Konzentrations- und Frachtenverlauf bei unterschiedlichen Infiltrationsraten von 700 bis 2100 m³/d (pro Infiltrationsmenge, mittlere Randbedingungen)

on 700 m³/d bis 2.100 m³/d dargestellt. Durch höhere Infiltrationsmengen kann es anfangs zu

höheren Belastungen kommen, da größere Bereiche des Abfallkörpers erfaßt werden. Allerdings sinken die Sickerwasserbelastungen auch schneller ab. Diese Darstellung sollte aber nur als prinzipielles Schema verstanden werden, da die verschiedenen Abfälle sehr unterschiedliche Auswirkungen haben werden. Wird beispielsweise durch die höheren Wassermengen vorwiegend Gewerbeabfall erfaßt, so wird auf Grund der relativ geringen löslichen Anteile keine Verbesserung der Auslaugung erfolgen. Erhöhte Wassermengen können durchaus die Auslaugung beschleunigen, wenn genügend mobilisierbare Stoffe im Abfall zur Verfügung stehen. Die Entscheidung zur Steigerung der Infiltrationsmenge kann aber nur nach Beobachtung der einzelnen Abfallbereiche getroffen werden und macht nur dann Sinn, wenn damit wirklich Erfolge erzielt werden können und nicht nur eine Verdünnung des Sickerwassers erfolgt. Es wäre außerdem sinnvoll, das Auslaugverhalten an Hand von Proben der unterschiedlichen Abfälle (z. B. Bohrproben) und evtl. an Versuchen zur Messung der Gebirgsdurchlässigkeit zu ermitteln.

4.3.4 Folgen für die Einrichtungen und den Betrieb der Deponie

Die wichtigsten Einrichtungen für die Auslaugung des Abfalls sind die Zu- und Ableitungssysteme für das Auslaugwasser. Dabei kommt dem Ableitungssystem eine besondere Bedeutung zu, da es im Sohlbereich der Deponie liegt und nicht ohne extremen Aufwand repariert bzw. erneuert werden kann.

4.4 Gewähltes Ablagerungs- und Behandlungskonzept

Insgesamt sollten zur Stabilisierung des Deponiekörpers die in Tabelle 2 dargestellten Stabilisierungsphasen vorgesehen werden:

Jahr	Hausmüllbereich	Gewerbeabfallbereich
2005 bis 2024	Optimierung des biologischen Organikabbaus mittels Wassergehaltserhöhung durch Infiltration und optimierte Entgasung der Deponie	Auslaugung des Deponiekörpers durch Infiltration einer ausreichenden Wassermenge
2025 bis 2029	1. Belüftungsphase der In Situ-Belüftung unter Beibehaltung der Feuchtegehaltseinstellung	1. Belüftungsphase der In Situ-Belüftung ggf. unter Reduzierung der zugegebenen Wassermenge in diesem Zeitraum *
2030 bis 2037	Auslaugung des Deponiekörpers durch Infiltration einer ausreichenden Wassermenge	Infiltration einer ausreichenden Wassermenge
2038 bis 2040	2. Belüftungsphase der In Situ-Belüftung	ggf. unter Reduzierung der zugegebenen Wassermenge in diesem Zeitraum *
2041 bis 2110 **	Auslaugung des Deponiekörpers durch Infiltration einer ausreichenden Wassermenge	Infiltration einer ausreichenden Wassermenge

*: Die zugegebene Wassermenge muß dann reduziert werden, wenn ansonsten nicht genügend Porenvolumen für die zugegebene Luft vorhanden wäre

** : Bei dem Endzeitpunkt der durchgeführten Stabilisierungsmaßnahmen handelt es sich um den mittleren anzusetzenden Wert für den Fall, daß entweder das über dem Altdeponiebereich eingelagerte MBA-Output-Material durch die Art der Vorbehandlung soweit ausgelaugt ist, daß aus diesem keine relevanten Emissionen mehr zu erwarten sind oder aber eine Zwischenabdichtung installiert wurde. Im zweiten Fall müssen aber für die Folgejahre noch Sickerwasserbehandlungskosten für das Sickerwasser aus der MBA-Output-Deponie berücksichtigt werden (geschätzt bis etwa zum Jahre 2135)

Tabelle 2 Geplante Stabilisierungsphasen

5 Darstellung einer möglichen Nachsorgestrategie zur Inertisierung des Deponiekörpers

5.1 Beschreibung der vorgesehenen Verfahrenskombinationen

5.1.1 Optimierte Entgasung

In der ersten Stabilisierungsphase wird mit dem später für die Auslaugung benötigten Infiltrationssystem (Infiltration über tiefendifferenziert installierte Brunnen bzw. Sonden) der Deponiekörper im Hausmüllbereich in der Weise befeuchtet, daß sich gleichmäßig ein Wassergehalt von etwa 45 bis 50 Gew.% einstellt. Dies bedeutet, daß der Wassergehalt um durchschnittlich etwa 15 bis maximal 20 Gew.-%-Punkte erhöht werden muß. Eine Wassergehaltserhöhung soll nur in dem Bereich der Hausmülldeponie durchgeführt werden, in dem der Nachwendemüll eingelagert ist.

Zur Befeuchtung des Nachwendemülls sind insgesamt etwa 630.000 bis 840.000 m³ an Wasser entsprechend einer auf die Fläche bezogenen durchschnittlichen Wasserzuführung von etwa 1.500 bis 2.000 mm und an der höchsten Stelle der Nachwendedeponie im Bereich der Mittelstraße bis zu etwa 4.000 mm notwendig. Die Erhöhung des Wassergehaltes wird nach o. g. Einschätzung erreicht, indem in den ersten vier bis fünf Jahren intervallartig durchschnittlich etwa 400 mm/a bzw. maximal etwa 900 mm/a zugeführt werden. Benötigt wird hierfür eine Wassermenge von etwa 130.000 bis 170.000 m³/a entsprechend etwa 360 bis 460 m³/d.

Die Bewässerungsleistung in den Folgejahren wird über die Bilanzierung von zugeführtem zu gespeichertem und als Sickerwasser ablaufendem Wasser bemessen. Grundlage für die Bemessung sind des Weiteren die Ergebnisse von Vorversuchen.

Ab dem fünften bis sechsten Jahr ist voraussichtlich eine Infiltrationsrate von unter 200 mm/a erforderlich.

In Abbildung 3 ist das Gasaufkommen der Deponie bei dem derzeit anzunehmenden Wassergehalt (Gasaufkommen bei einer zu trockenen Deponie) und das Gasaufkommen einer ausreichend feuchten Deponie sowie der Kurvenverlauf für das Gasaufkommen bei einer Infiltration ab dem Jahre 2005 dargestellt.

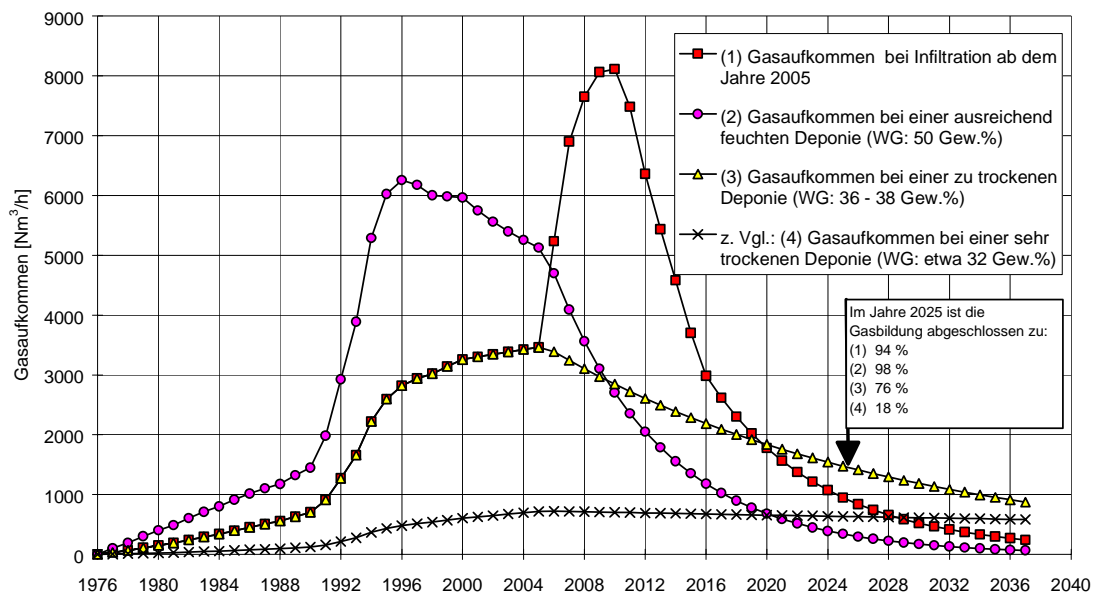


Abbildung 3 Gasaufkommen bei Infiltration ab dem Jahre 2005 und Vergleich mit der derzeitigen Situation und einer ausreichend feuchten Deponie

Angegeben ist der Kurvenverlauf für einen idealisierten Fall, der dann eintritt, wenn die Wasserzugabe sofort zu einer Aktivierung der biologischen Aktivität führt. In der Realität wird der Kurvenverlauf, der sich nach Beginn der Infiltration ergibt, erfahrungsgemäß flacher sein. Das maximale Gasaufkommen wird daher eher in einem Bereich von 5.000 m³/h bis maximal 7.000 m³/h liegen ¹.

In der ersten Stabilisierungsphase findet beim Gewerbeabfalldeponiekörper keine optimierte Entgasung, sondern eine erste Phase der Auslaugung statt.

5.1.2 Aerobe Inertisierung

In der zweiten Stabilisierungsphase wird eine fünfjährige Belüftung der Deponiekörper sowohl des Hausmüllbereichs als auch des Gewerbeabfallbereichs unter Berücksichtigung der in Kapitel 0 beschriebenen, bei der technischen Umsetzung einer In situ-Belüftung zu beachtenden Aspekte (u. a. Schutzentgasung der Randzonen, Beibehaltung der Infiltration mit den hierfür erforderlichen Mengen) durchgeführt.

Nach einer Phase, in der nur ausgespült wird, erfolgt eine zweite Belüftungsphase zur erneuten Aktivierung des aeroben biologischen Abbaus der abbaubaren organischen Substanzen.

¹: Hinweis: An anderen Deponien wurde eine Steigerung des Gasaufkommens nach längerem Betrieb der Infiltration um bis zu einem Faktor 3,6 erzielt.

Für die Belüftung sind mindestens folgende Luftmengen erforderlich:

Hausmüllbereich

- 1. Belüftungsphase (5 Jahre): Abbau von durchschnittlich etwa 10.000 Mg/a an TOC. Dies führt bei Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors zu einem spezifischen Luftbedarf bezogen auf ein Mg Deponiegut von etwa $30 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{TS}} \times \text{a}$ bzw.
- 2. Belüftungsphase (3 Jahre): Abbau von durchschnittlich etwa 300 Mg/a an TOC. Dies führt bei Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors zu einem spezifischen Luftbedarf bezogen auf ein Mg Deponiegut von etwa $1 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{TS}} \times \text{a}$. Bei einer derart geringen erforderlichen Luftmenge ist nur noch ein Belüftung im Intervallbetrieb erforderlich.

Die zuzuführende Luftmenge ändert sich natürlich im Laufe der Belüftungsphase. Es ist davon auszugehen, daß im Laufe der Belüftungsphase immer weniger Luft eingeblasen werden muß. Nach der derzeitigen Prognose muß z. B. im fünften Jahr der ersten Belüftungsphase nur noch unter $15 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{TS}} \times \text{a}$ an Luft zugeführt werden.

In den folgenden Abbildungen ist der Effekt der Belüftung auf den TOC-Abbau dargestellt. Die Abbildung 4 zeigt die Zunahme des TOC-Abbaus aufgrund der Belüftung beim Hausmüllbereich

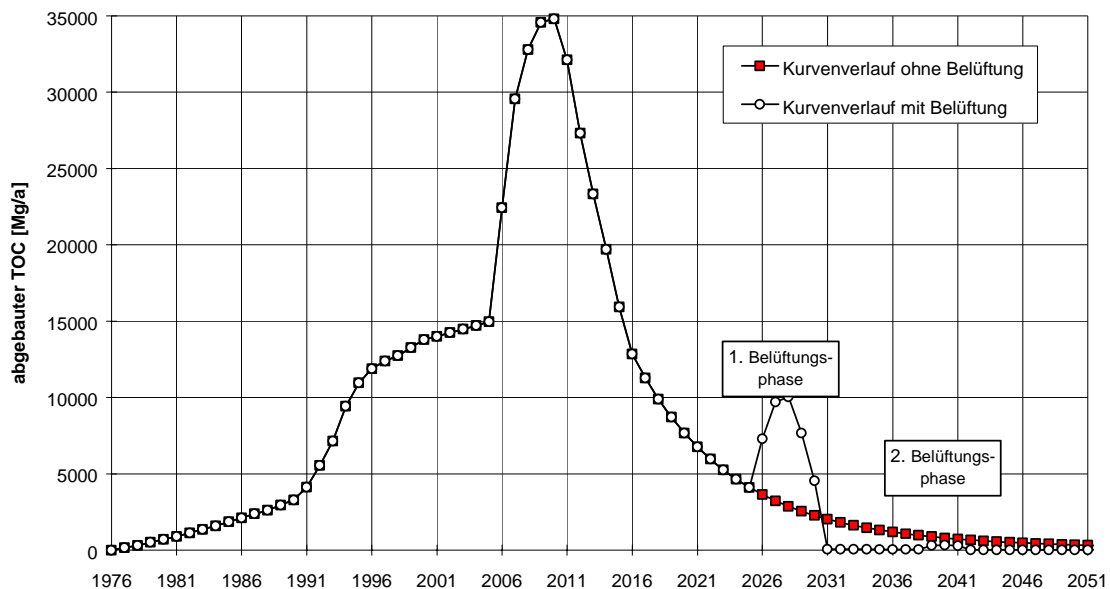


Abbildung 4 Zunahme des TOC-Abbaus aufgrund der Belüftung beim Hausmüllbereich

Folgende Abbauraten des ursprünglich im Abfall vorhandenen biologisch abbaubaren TOC werden im Hausmüllbereich und Gewerbeabfallbereich erreicht:

- Hausmüllbereich bei Durchführung der beiden Belüftungsphasen: etwa 99,7 %
- Gewerbeabfallbereich bei Durchführung der beiden Belüftungsphasen: etwa 96,6 %

5.1.3 Auslaugung

5.1.3.1 Ablauf der Auslaugung

Für eine gezielte und kontrollierte Auslaugung ist die Deponie in Teilbereiche zu unterteilen, die getrennt infiltriert werden, so daß eine Kontrolle des Stoffaustrages und der Effektivität möglich ist. Wie bei der Beschreibung zur aeroben Umsetzung erläutert, kann nach einer ersten Auslaugphase die Belüftung wieder betrieben werden, um in dem angefeuchteten Abfall eine weitere Umsetzung zu erreichen. Dies sollte allerdings von vorherigen Tests abhängig gemacht werden.

Die Dauer und Intensität der Infiltration ist in den ersten Betriebsphasen jedes Teilbereiches zu erproben. Es sollte dabei ein Kompromiß zwischen hohen Auslaugraten und wirtschaftlicher Sickerwasserbehandlung gefunden werden.

Wenn sich die Belastungen des Sickerwassers in den Bereichen der Grenzwerte für den Abbruch der Auslaugung bewegen, könnte durch eine Infiltration der Gesamtfläche mit Ausbildung eines Wasserspiegels ein Test für die Veränderung der Konzentrationen vom Auslaug- zum Einstauvorgang durchgeführt werden.

5.1.3.2 Technische Einrichtungen

Die wichtigsten Einrichtungen für die Auslaugung des Abfalls sind die Zu- und Ableitungssysteme für das Auslaugwasser. Dabei kommt dem Ableitungssystem eine besondere Bedeutung zu, da es im Sohlbereich der Deponie liegt und nicht ohne extremen Aufwand repariert bzw. erneuert werden kann.

Die Infiltration des Wassers sollte durch Brunnen erfolgen, die voll auszubauen sind, da sie über Jahrzehnte in Betrieb gehalten werden müssen. Hier bietet es sich an, die Einrichtungen für die Infiltration zur Intensivierung der Deponiegasproduktion zu nutzen. Es ist zu erwarten, daß die Infiltrationseinrichtungen in den unterschiedlichen Abfallbereichen auch verschiedene Anordnungen erfordern, die in jeweiligen Teilbereichen zu erproben sind.

Das vorhandene Entwässerungssystem der Deponie Halle-Lochau muß erweitert werden. Grundsätzlich muß die Möglichkeit bestehen, einzelne Teilbereiche des Abfalls zu kontrollieren. Der Vorschlag dazu ist die Errichtung von Schächten in etwa 200 m Abstand. Von jedem dieser Schächte sind im Bereich der Deponiesohle quer zum jetzigen System bis zum Rand der

Schüttfläche Entwässerungsleitungen zu verlegen, um die einzelnen Infiltrationsfelder voneinander zu trennen und eine separate Entwässerung zu ermöglichen (s. Abbildung 5). Für die praktische Durchführung sind die exakten Abstände der Schächte möglichst sinnvoll an die Gestalt der Deponiebasis und eine möglichst effektive Entwässerung in den quer angeordneten Entwässerungsleitungen anzupassen. Dabei sollten Abstände > 200 m vermieden werden. Nur so ist eine Kontrolle der Auslaugwirksamkeit und der Effektivität sowie der Einsatz gezielter Maßnahmen möglich.

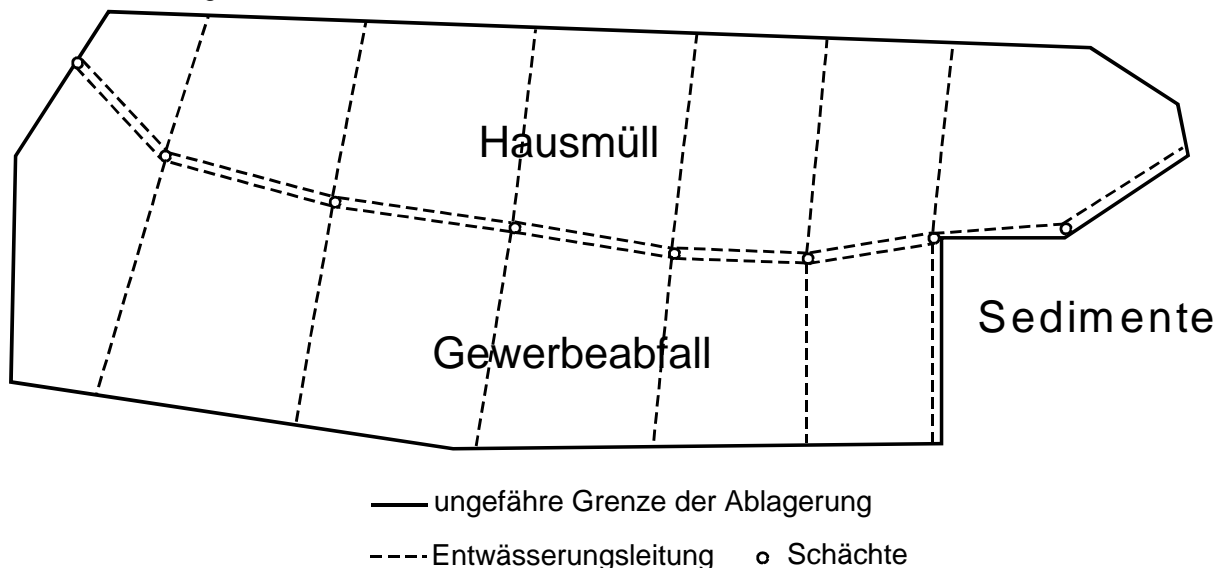


Abbildung 5 Schematischer Lageplan der Deponie Halle-Lochau mit Darstellung eines Entwässerungssystems, mit dem eine gezielte und kontrollierte Auslaugung möglich ist (Erläuterungen s. Text)

Bei Voruntersuchungen zur Infiltration sind in abgestuften Entfernungen (beginnend bei 10 m) von den Brunnen sind Pegel anzuordnen, um abschätzen zu können, wie eng die Brunnen für eine hohe Infiltrationsrate, eine gleichmäßige Wasserverteilung, die Vermeidung von Erosionen, etc. gesetzt werden müssen. Unterschiede ergeben sich aus den unterschiedlichen Wassermengen für die Infiltration. Dies ist nicht nur für die Voruntersuchungen, sondern auch für den späteren Betrieb von Bedeutung. Beispielhaft kann sich aus den Gesamtuntersuchungen ergeben, daß das Infiltrationssystem sinnvollerweise aus Basisbrunnen zur Anfeuchtung und zusätzlichen Brunnen mit abweichender Konstruktion für das zusätzliche Einbringen von Infiltrationswasser bestehen könnte.

5.1.4 Weitere Verfüllung

Die sinnvollste Art der mechanisch-biologischen Vorbehandlung ist die Kombination mit einer Auslaugung. Dadurch werden die Auslaugprozesse des Altkörpers bereits extern vorgezogen. Da bei einer Auslaugung des Restabfalls vor der Deponierung die Zusammensetzung der Input- und Outputströme genau bestimmt werden kann, ist im Gegensatz zu einer Auslaugung im Deponiekörper eine genaue Bilanzierung und mit den dabei gewonnenen Bilanzdaten eine Anpassung des Verfahrens an die Erfordernisse und erforderlichenfalls eine weitere Optimierung

des Verfahrens im laufenden Betrieb möglich. Verfahren mit einem Verfahrensschritt zur Auslaugung sind am Markt vorhanden. Diese müssen aber vor dem geplanten Einsatz an die Anforderungen bei der Vorbehandlung der auf der Deponie Halle-Lochau ab dem Jahre 2005 zu deponierenden Abfälle angepasst werden.

Für den Deponieabschluß erscheint eine Oberflächenabdichtung gemäß TASI wenig sinnvoll, da nur wenige Meter unter dieser Abdichtung das Deponiegut unter dem Grundwasserspiegel liegt.

5.2 Zielgrößen für eine Auslaugung

Ein Problem ergibt sich dadurch, daß es keine Grenzwerte für die wesentlichen Inhaltsstoffe des Sickerwassers, CSB und Stickstoff, gibt. Zum jetzigen Zeitpunkt kann unter Beachtung der Vorgabe eines vorsorgenden Umweltschutzes für die Begrenzung des Stoffaustrages aus der Ablagerung in die Umgebung daher nur die Feststellung einer als geringfügig anzusehenden Belastung stehen. Angesichts des Fehlens verwertbarer Grenzwerte wird deshalb hier die Vorgehensweise vorgeschlagen, von einem Vergleich mit konventionellen Deponien auszugehen. Deponien, die mit Abdichtungssystemen nach dem Stand der Technik versehen sind, emittieren nach den bisherigen Erfahrungen nach Abschluß des Betriebes trotz der Abdichtungsmaßnahmen geringe Mengen belasteten Sickerwassers. Derartige Emissionen lassen sich ohne zusätzliche extreme Aufwendungen nicht verhindern und werden als technisch unvermeidlich und unbedeutend, insbesondere angesichts der geringen Stoffgefährlichkeit der Sickerwasserinhaltsstoffe, akzeptiert.

Unter Berücksichtigung der genannten Problematiken ergeben sich in einem ersten Ansatz die in der Tabelle 3 dargestellten Endkonzentrationen bzw. Endfrachten für CSB. Bei der Ermittlung der dargestellten Werte wurde für den Abstrom der Deponie nach der Flutung ein CSB-Grenzwert von 200 mg/l angesetzt. Dies entspricht dem Grenzwert für die Direkteinleitung von Wasser aus oberirdischen Ablagerungen nach dem Anhang 51 der Abwasserverordnung. Die bei diesem Grenzwert von der Deponie ins Grundwasser ausgetragenen Fracht liegt dann etwa um den Faktor 2,5 bis 5 unter der für eine TASI-konforme Deponie mit Barriersystem tolerierbaren Fracht. Aufgrund der geringeren Wassermenge bei der Grundwasserdurchströmung der Deponie nach der Flutung gegenüber der Durchströmung bei der Infiltration (etwa 100 m³/d gegenüber 700 bis 2.100 m³/d) enthält das nach der Flutung ablaufende Wasser höhere CSB-Konzentrationen als das während der Infiltration abgepumpte Wasser. Für den Unterschied wird bei Ansatz einer Infiltrationswassermenge von 1.400 m³/d, angesichts der hohen Stabilität des Abfallmaterials nach einem über Jahrzehnte durchgeführten Auslaugprozeß, ein Faktor von etwa 2 abgeschätzt. Dies bedeutet, daß bei Einhaltung des oben genannten Wertes von 200 mg CSB/l der letzte Ablauf des Infiltrationswassers nur einen mittleren CSB von etwa 100 mg CSB/l haben sollte. Bei größeren Infiltrationsmengen sind die Endkonzentrationen deutlich geringer als 100 mgCSB/l.

Infiltrationsmenge [m ³ /d]	CSB [mg/l] bei einer Austragsfracht von 50.000kg CSB/a	Austragsfracht [kgCSB/a] bei einer Konzentration von 100 mgCSB/l
1400	98	50.000
1050	130	37.500
700	196	25.000

Tabelle 3 Verschiedene Kombinationen von Infiltrationsraten und CSB-Endkonzentrationen bzw. CSB-Endfrachten

Bei einer Unterschreitung der genannten Frachten wird die anzustrebende Stabilisierung erreicht.

Angesichts der derzeit geringen Erfahrungen mit der Auslaugung von Abfällen erscheint es sinnvoll, diese Werte durch Kontrolle des Abfalls einzugrenzen. Dazu wäre nach Feststellung des Unterschreitens der oben genannten Frachten durch Probenahme des Abfalls (ca. 3 Bohrungen pro ha) die Stabilisierung des Abfallmaterials zu überprüfen. Hier erscheint die Anwendung der Atmungsaktivität durchaus eine sinnvolle Größe zu sein. Prüfwert wäre dann ein $AT_4 < 5\text{mgO}_2/\text{gTS}$. Diese Angabe ist nicht als Grenzwert zu verstehen, sondern als Voraussetzung, daß die oben genannten Werte wirklich angesetzt werden dürfen.

In Abbildung 6 sind die Austragsfrachten mit den minimalen und maximalen Infiltrationsmengen (700 und 2.100 m³/d) sowie den Schwankungsbereichen für Austragsraten und Stoffpotential ($\pm 30\%$) dargestellt. Zusätzlich sind gestrichelt die oben genannten Grenzaustragsfrachten eingetragen.

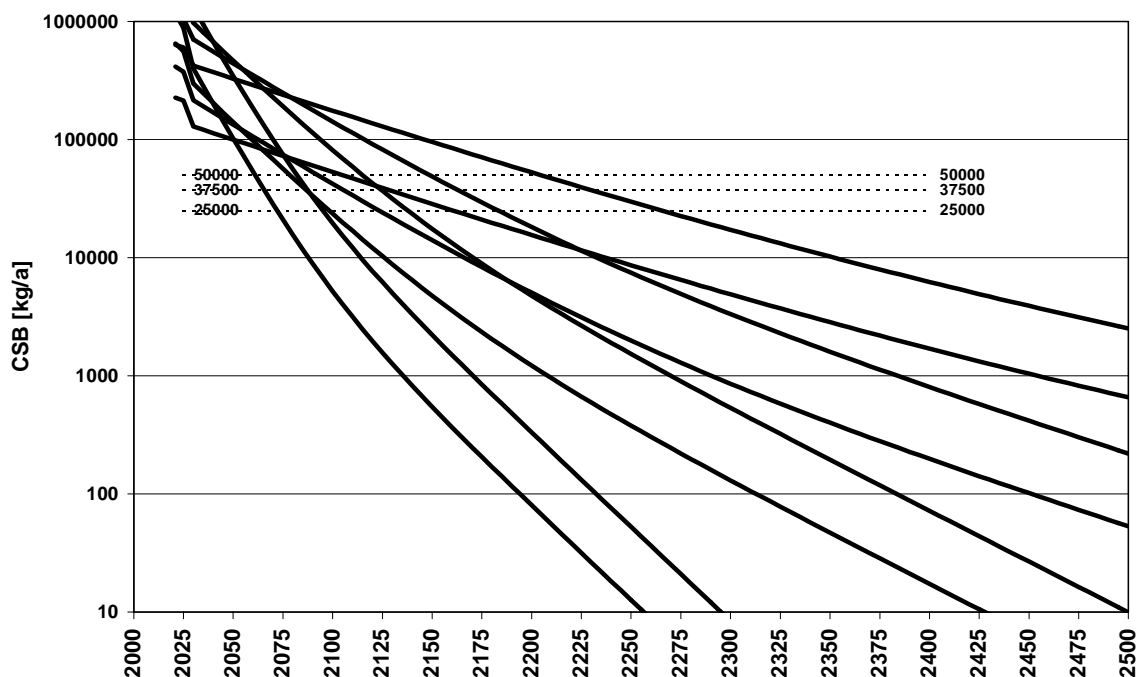


Abbildung 6 CSB-Austragsfrachten für minimale und maximale Infiltrationsmengen sowie unter Einbeziehung von möglichen Variationen des CSB-Potentials und der Auslaugeschwindigkeit mit jeweils $\pm 30\%$ (durchgezogene Linien). Zusätzlich sind die diskutierten Grenzaustragsfrachten von 50.000, 37.500 und 25.000 kgCSB/a eingezeichnet (gestrichelt)

Aus Abbildung 6 und den vorherigen Abbildungen ergeben sich Werte für den Abschluß der Infiltration unter optimistischen Voraussetzungen etwa im Jahre 2060 und unter pessimistische Voraussetzungen etwa in den Jahren 2260-2270.

Die oben gemachten Vorgaben beinhalten eine Reduktion des Stoffpotentials um ca. 85-95%, bei Absenkung der Grenzfracht sogar insgesamt um $>90\%$. Für die Steigerung um einige wenige Prozent ist allerdings ein extrem hoher Aufwand erforderlich. Die wahrscheinlichsten Werte für die Infiltrationszeiten auf Grund der durchgeführten Abschätzungen (bis auf eine Austragsfracht von 50.000kg CSB/a) liegen im Bereich von 70 bis 130 Jahren, damit wird ein Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2,2 bis 4,2 erreicht.

Im Vergleich hierzu ist zu sehen, daß bei Altdeponien vergleichbare Zeiträume etwa zwischen 800 und 1.200 Jahren liegen.

Die entsprechenden Werte könnten auch auf den Parameter Stickstoff übertragen werden, der nach den bisherigen Erfahrungen auf ca. 1/3 des CSB-Wertes gesetzt werden kann (s. Tabelle 4).

CSB [kg/a]	Stickstoff [kg/a]
50.000	16.000
37.500	12.500
25.000	8.000

Tabelle 4 Abgeleitete Endfrachten für Stickstoff

Der Austrag aus der Ablagerung nach Abschluß der Auslaugung und geschätzten Grundwaserdurchflüssen von etwa 100 m³/d beträgt damit etwa

20 kgCSB/d bzw. 7.300 kg CSB/a
 6,7 kgN/d bzw. 2.430 kg N/a
 (Endgröße der Deponie: etwa 84 ha)

Um die Größenordnung dieser Werte einordnen zu können, werden im Folgenden Belastungswerte für andere CSB- und N-Einträge zusammengestellt, ohne daß daraus vergleichende Bewertungen abgeleitet werden können:

- Fall 1: Nutzung der Deponiefläche als landwirtschaftliche Nutzfläche mit der Aufbringung von Bioabfallkompost (10 Mg/ha) im Abstand von 3 Jahren. Die Belastung des Eluates dieses Bioabfallkompostes beträgt überschlägig etwa 10 kgCSB/Mg. Geht man davon aus, daß die Elution des Kompostes innerhalb eines Jahres erfolgt, so ergibt sich eine Austragsrate von 8.400 kgCSB/a (für 84 ha entsprechend der Deponiefläche).
- Fall 2: Für die Stadt Hannover wurden von [4] Daten für den Stoffaustrag aus der Kanalisation dieser Stadt angegeben. Auch wenn dies nur ein Einzelfall ist, so erscheint eine gewisse Verallgemeinerung durchaus angebracht. Für die Stadt Hannover ergeben sich Austragsraten von 319 m³/ha*a. Aus diesen Werten ergeben sich Frachten für eine Fläche von 84 ha von etwa 13.400 kgCSB/a und etwa 3.300 kg N/a.
- Fall 3: Von [5] wurden Stoffeinträge aus Niederschlägen publiziert, die hier für eine Fläche von 84 ha ausgewertet werden:
 - Stickstoffeintrag auf freien Flächen: etwa 14,5 kgN/ha*a bzw. 1.218 kgN/a
 - Stickstoffeintrag unter Bäumen: etwa 75,9 kgN/ha*a bzw. 6.376 kgN/a

Wie bereits oben angegeben, sollen diese Angaben nur dazu dienen, die Größenordnung des späteren Stoffaustrages aus der Ablagerung nach Abschluß der Auslaugung einordnen zu können.

6 **Schlußfolgerung**

Bei Anwendung des vorgeschlagenen Stabilisierungs- und Auslaugungskonzeptes kann der Deponiekörper in einen Zustand versetzt werden, in dem die Auswirkungen auf die Umwelt unbedeutend sind. Demzufolge wäre die Deponie als umweltverträglich und gesetzeskonform einzustufen. Sie würde damit nicht nur dem Schutzziel der TASI genügen, sondern im Gegensatz zu den abgekapselten Deponien gemäß TASI einen deutlich verkürzten Nachsorgezeitraum aufweisen, so daß dem Generationsgedanken zusätzlich Rechnung getragen wird.

7 **Literatur**

- [1] Bauer, W. P.; Meisinger, S.; 1999:
"Untersuchungen zur Auswirkung der Wasserinfiltration an der Deponie Erbenschwang" in Rettenberger / Stegmann (Hrsg.) Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 12: "Deponie-gas '99 - Neuere Entwicklungen, Anaerobtechnik, Entgasung bei Altablagerungen", Ver-lag Abfall aktuell, Stuttgart

- [2] Bauer, Meisinger, 1999:
"Infiltration von Deponiesickerwasser - Ein Verfahren zur Optimierung von biologischen Umsetzungsvorgängen in abgedichteten Deponien", erschienen als Band 114 der Reihe Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Erich Schmidt Verlag, Berlin

- [3] Heyer, K. U.; Heerenklage, J.; Dalheimer, F.; Stegmann, R.; 1999:
"In-Situ Belüftung zur Stabilisierung von Altablagerungen" in Rettenberger / Stegmann (Hrsg.) Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 12: "Deponiegas '99 - Neuere Entwicklungen, Anaerobtechnik, Entgasung bei Altablagerungen", Verlag Abfall aktuell, Stuttgart

- [4] Dohmann, M.; Haußmann, R.; 1996:
Belastung von Boden und Grundwasser durch undichte Kanäle, GWF Abwasser Special II, 137. J., S. 2

- [5] Hölscher, J.; Rost, J.; Walther, W.; 1994:
Boden- und Gewässerbelastung in Niedersachsen durch Stoffeinträge aus der Atmosphäre, Wasser und Boden, H. 1, 220