

Wann können Deponien aus der Nachsorge entlassen werden?

Ergebnisse eines BMU UFOPLAN-Vorhabens

Dr.-Ing. Kai-Uwe Heyer¹, Dr.-Ing. Karsten Hupe¹, Dipl.-Ing. Astrid Koop¹
Prof. Dr.-Ing. Rainer Stegmann¹, Dr. Achim Willand²

¹ **IFAS - Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft**, Prof. R. Stegmann und Partner
Schellerdamm 19-21; 21079 Hamburg; www.ifas-hamburg.de

² Rechtsanwälte Gaßner, Groth, Siederer & Coll., Stralauer Platz 34, 10243 Berlin

<p><i>Quelle: Deponie- & Biogasanlagen der gemeinsame Einstieg. Fachtagung vom 09.-10.05.2006 in Dresden. DAS – IB GmbH, Kiel.</i></p>
--

1 Stilllegung und Nachsorge von Deponien - Dauer der Deponienachsorge und Kriterien zur Beendigung

Gemäß Abfallablagerungsverordnung dürfen ab Juni 2005 nur noch Abfälle abgelagert werden, wenn die Abfälle alle Anforderungen der Verordnung erfüllen. Dies hat am 31. Mai 2005 zur Schließung einer Vielzahl an Hausmülldeponien geführt. Über deren weitere Stilllegungsmaßnahmen ist daher in Kürze von Deponiebetreibern und Behörden zu entscheiden.

Nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen wie Aufbringung einer Oberflächenabdichtung und Rekultivierung bedürfen Deponien einer unbestimmten Zeit der Nachsorge. Noch entstehendes Sickerwasser und Deponiegas müssen erfasst und behandelt werden. Das Deponieverhalten, d.h. technische Einrichtungen, Bauteile und insbesondere die Emissionen sind zu überwachen.

Die erforderliche Dauer der Nachsorge ist bisher nur eingeschränkt prognostizierbar. Unterschiedliche Prognosen reichen von 30 bis weit über 200 Jahre. Einzelne

behördliche Stimmen schließen eine Entlassung von herkömmlichen Hausmülldeponien aus der Nachsorge sogar ganz aus.

Die Kosten der Nachsorge sind über Abfallentgelte in Form von Rückstellungen, gemäß KrW-/AbfG für eine Nachsorgedauer von mindestens 30 Jahren, abzudecken. Eine solide Finanzierung setzt daher möglichst konkrete Handlungsoptionen geeigneter Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen und Abschätzungen resultierender Nachsorgezeiträume voraus.

Die zuständige Behörde kann die Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen aufheben und den Abschluss der Nachsorge feststellen, wenn sie nach Prüfung aller vorliegenden Ergebnisse zu dem Schluss kommt, dass aus dem Verhalten der Deponie zukünftig keine Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit zu erwarten sind. Der Prüfung sind gemäß Deponieverordnung bestimmte Kriterien zugrunde zu legen, die allerdings nur **qualitativer** Natur und damit interpretationsfähig sind. Konkrete **quantitative** Kriterien sollen dazu beitragen, den Zeitpunkt für den Abschluss der Nachsorge im Vorwege besser eingrenzen zu können und Entscheidungen hinsichtlich der erforderlichen bzw. geeigneten Stilllegungsmaßnahmen für alle Beteiligten (zuständige Behörde(n) und Deponiebetreiber) zu erleichtern.

Voraussetzung zur Umsetzung derartiger Kriterien zur Beendigung der Nachsorge im Vollzug ist deren rechtliche Sicherheit und Akzeptanz bei Behörden und Deponiebetreibern. Die quantitativen Kriterien müssen folglich mess- und nachweisbar sein. Belastbare Schätzungen, durch welche Maßnahmen und nach welcher Dauer diese Kriterien erreichbar sind, sollen den Deponiebetreibern die Ermittlung der Nachsorgekosten und deren Absicherung ermöglichen.

Vorschläge für quantitative Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge werden von den Autoren in dem UFOPLAN-Vorhaben „Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter fachlicher Koordination des Umweltbundesamts erarbeitet (Stegmann et al., 2006). Die Vorschläge basieren auf einer Vielzahl von Messungen, Erfahrungen und

Forschungsergebnissen zum Verhalten unterschiedlicher Deponietypen unter Einbeziehung der rechtlichen Rahmenbedingungen.

2 Qualitative Kriterien zur Beendigung der Nachsorge und Thesen

Den derzeit geltenden rechtlichen Grundlagen für die Nachsorge können Nachsorgeaufgaben, Nachsorgemaßnahmen und Nachsorgeziele entnommen werden. Wenn diese Ziele erreicht sind, kann die Nachsorgephase beendet werden. Insofern legen die geltenden Vorschriften **qualitative Kriterien für die Beendigung der Nachsorge** fest. Nach § 13 Abs. 5 DepV soll die Behörde bei der Prüfung der Voraussetzungen für die **Entlassung aus der Nachsorge** insbesondere die nachfolgenden **Kriterien** zu Grunde legen:

1. Biologische Prozesse, sonstige Umsetzungs- oder Reaktionsvorgänge sind weitgehend abgeklungen,
2. eine Gasbildung ist soweit zum Erliegen gekommen, dass keine aktive Entgasung erforderlich ist und schädliche Einwirkungen auf die Umgebung durch Gasmigrationen ausgeschlossen werden können,
3. Setzungen sind soweit abgeklungen, dass verformungsbedingte Beschädigungen des Oberflächenabdichtungssystems für die Zukunft ausgeschlossen werden können,
4. die Oberflächenabdichtung und die Rekultivierungsschicht sind in einem funktionstüchtigen und stabilen Zustand, der durch die derzeitige und geplante Nutzung nicht beeinträchtigt werden kann; es ist sicherzustellen, dass dies auch bei Nutzungsänderungen gewährleistet ist,
5. Oberflächenwasser wird von der Deponie sicher abgeleitet,
6. die Deponie ist insgesamt dauerhaft standsicher,
7. die Unterhaltung baulicher und technischer Einrichtungen ist nicht mehr erforderlich; ein Rückbau ist gegebenenfalls erfolgt,
8. gegebenenfalls anfallendes Sickerwasser kann entsprechend den wasserrechtlichen Vorschriften eingeleitet werden und
9. die Deponie verursacht keine Grundwasserbelastungen, die eine weitere Beobachtung oder Sanierungsmaßnahmen erforderlich machen.

Ein wesentliches Ziel des UFOPLAN-Vorhabens ist es, diese **qualitativen** Kriterien mit Vorschlägen zu **quantitativen** Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge zu unterlegen. Zur langfristigen Umweltverträglichkeit und zur Entlassung aus der Nachsorge wird dabei nicht nur auf die technischen Dichtungssysteme, die in der TA Abfall, der TA Siedlungsabfall und in der DepV sehr differenziert vorgegeben werden, abgehoben. Es wird aufgrund neuerer Erkenntnisse auch geprüft, inwieweit der Abfall durch Vorbehandlung oder in situ Stabilisierungsmaßnahmen in einen Zustand überführt werden kann, der eine Entlassung aus der Nachsorge in überschaubaren Zeiträumen ermöglicht.

Zur Entwicklung von Vorschlägen für Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge werden daher folgende Aspekte berücksichtigt und Thesen formuliert:

Ad 1. These: Der abgelagerte Abfall sollte zum Ende der Nachsorge derart beschaffen sein, dass die biologischen Prozesse und sonstigen Umsetzungs- oder Reaktionsprozesse nicht nur aktuell weitgehend abgeklungen sind, sondern dass grundsätzlich sichergestellt ist, dass derartige Prozesse durch ungünstige Umstände auch zukünftig nicht wieder soweit reaktiviert werden können, dass das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere der Grundwasserschutz dadurch gefährdet wird.

Diese These hat insbesondere bei den herkömmlichen Hausmülldeponien zur Konsequenz, dass der nicht vorbehandelte Abfall nicht nur konserviert werden darf (z.B. durch Oberflächenabdichtung Austrocknung infolge Verhinderung der Wasserzufuhr), sondern dass in der Stilllegungs- und Nachsorgephase ein emissionsarmer Zustand der abgelagerten Abfälle erreicht wird. Der biologisch verfügbare organische Gehalt der Abfälle sollte in der Stilllegungsphase soweit wie möglich reduziert werden. Dazu können Deponiestabilisierungsverfahren wie die Infiltration und die Belüftung beitragen.

Ad 2) Biologisch stabilisierte Abfälle können eine derart geringe Restgasproduktion aufweisen, dass eine aktive Entgasung verzichtbar wird und passive Gasbehandlungsmaßnahmen, z.B. die Methanoxidation in der Rekultivierungsschicht der Oberflächenabdichtung, ausreichen.

Ad 3) Mittel- und langfristige Setzungen eines Deponiekörpers stehen im unmittelbaren Zusammenhang mit den biologischen Abbauprozessen. Auch

hier gilt die These, dass der Deponiekörper biologisch stabilisiert sein sollte, so dass kein Setzungspotenzial mehr vorhanden ist, das bei einer Reaktivierung der Prozesse im Deponiekörper zu nachträglichen (Haupt-) Setzungen führen kann. So können setzungs- bzw. verformungsbedingte Beschädigungen des Oberflächenabdichtungssystems nicht nur aktuell, sondern gerade auch für die Zukunft ausgeschlossen werden, was bei diesem 3. Kriterium explizit gefordert wird.

- Ad 8) Gegebenenfalls anfallendes Sickerwasser kann viel früher ohne weitere Behandlungsmaßnahmen eingeleitet werden, wenn sowohl die Konzentration wie auch die Fracht im Sickerwasser reduziert sind. Die Entlassung aus der Nachsorge ist (nur) möglich, wenn zudem zukünftig keine Erhöhung der Sickerwasseremissionen mehr auftreten kann. Letzteres ist durch den Einsatz biologischer Stabilisierungsverfahren zu einem früheren Zeitpunkt erreichbar.
- Ad 9) In Analogie zum 8. Kriterium kann die Kombination von Stilllegungsmaßnahmen wie die biologische Stabilisierung und die Aufbringung einer Oberflächenabdichtung zu so geringen Grundwasserbelastungen führen, dass keine weiteren Beobachtungen oder aber Sanierungsmaßnahmen mehr erforderlich werden. Die Bewertung dieses Kriteriums ist schutzgut- bzw. standortbezogen zu führen.

Fazit der qualitativen Anforderungen:

Um die Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge erfüllen zu können, ist es erforderlich, dass zukünftige Funktionsstörungen der Schutzbarrieren wie die Oberflächenabdichtung nicht zu einer Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit führen können. Dieses ist insbesondere bei Hausmülldeponien nicht nur über die Aufbringung einer Oberflächenabdichtung zu erreichen, sondern es können ergänzende Maßnahmen zur Verbesserung des Emissions- bzw. Deponieverhaltens der abgelagerten Abfälle notwendig werden. Quantitative Kriterien sollten folglich die grundsätzliche Reaktions- und Emissionsarmut des Deponiekörpers belegen.

Zur Erfüllung der Kriterien 1-9 sollten geeignete Maßnahmen bereits in der Stilllegungsphase durchgeführt werden, die die spezifische Situation der Deponie berücksichtigen.

3 Wann können Deponien aus der Nachsorge entlassen werden ?

3.1 Wasserhaushalt von Abfallablagerungen

Der Stoffaustrag über das Sickerwasser ist bei Deponien unmittelbar vom Wasserhaushalt abhängig, d.h. von der klimatischen Sickerwasserbildung, dem durchsickerten Abfallkörper und der Ablagerungsmächtigkeit. Diese Parameter bestimmen das „Wasser-Feststoffverhältnis“ W/F, d.h. die Menge an Wasser, die mit dem abgelagerten Abfall in Kontakt gekommen ist [m^3 Wasser/Mg Abfalltrockensubstanz].

Nach Abschluss der Deponierung kann in Abhängigkeit der klimatischen Bedingungen bei nicht oder geringfügig abgedeckten Deponien mit einer Sickerwasserspende von 3 bis $20 \text{ m}^3/(\text{ha} \cdot \text{d})$ (ca. 10-25% des Jahresniederschlags) gerechnet werden. Untersuchungen von über 50 Deponien zeigten, dass ein durchschnittliches Sickerwasseraufkommen von ca. $5 \pm 2 \text{ m}^3/(\text{ha} \cdot \text{d})$ auftritt, welches zum Ende der Ablagerung, bedingt durch die Erschöpfung der Speicherkapazität der Abfälle, deutlich ansteigen kann.

Je nach Ausführung der aufgebrachten Oberflächenabdeckung wird eine Abnahme des Sickerwasseraufkommens auf $0,5$ bis $5 \text{ m}^3/(\text{ha} \cdot \text{d})$ erreicht. Jahreszeitlich bedingt und in Abhängigkeit der Vegetationsentwicklung sowie der Mächtigkeit der gewählten Oberflächenabdeckung kann es zu Schwankungen der Sickerwassermengen kommen. Nach der Aufbringung kombinierter Oberflächenabdichtungen gemäß den Anforderungen der Deponieverordnung müsste die klimatische Sickerwasserbildung mittelfristig bis auf $0 \text{ m}^3/(\text{ha} \cdot \text{d})$ zurückgehen. Allerdings können Konsolidierungsprozesse im Deponiekörper auch noch Jahre nach Aufbringung der Oberflächenabdichtung zu Sickerwasserabfluss an der Deponiebasis führen (Ramke, 2006). Langzeiterfahrungen liegen dazu noch nicht vor.

3.2 Prognose der Sickerwasseremissionen unterschiedlicher Deponietypen

Aus Sickerwasserdaten, die im Zuge von Überwachungsmaßnahmen auf Deponien und in Laborversuchen in „Deponiesimulationsreaktoren“ (DSR) gemessen wurden

ergeben sich im Sickerwasser Verläufe, der von Verdünnungsvorgängen und neu mobilisierten Stoffen geprägt sind (Heyer, 2003).

Mit Hilfe einer Prognose der Zeiträume bis zum Erreichen von Restbelastungen im Sickerwasser können Zeitintervalle nicht exakt ermittelt werden; vielmehr können Zeithorizonte bis zum Erreichen von Grenz- bzw. Anforderungswerten abgeschätzt werden. Dazu können Extrapolationsrechnungen auf der Grundlage folgender Funktion für die Konzentrationsverläufe der Sickerwasserqualität durchgeführt werden:

$$C_t = C_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

- mit:
- C_t Konzentration zur Zeit t [mg/l]
 - C_0 Konzentration zu Beginn der Deponiestilllegung und Nachsorge [mg/l]
 - k Faktor = $\ln 2 / T_{1/2}$ [-]
 - $T_{1/2}$ Halbwertszeit [d] bzw. [a]
 - t Ablagerungsdauer in der Stilllegung und Nachsorge [a]

Die Prognose des Langzeitemissionsverhaltens im Sickerwasserpfad unterschiedlicher Deponietypen erfolgt auf der Grundlage verfügbarer Sickerwasserdaten und weiterführender Laboruntersuchungen. Für die Prognosen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Ausgangskonzentrationen im Sickerwasser für die jeweiligen Parameter als Bandbreiten mittlerer Konzentrationen unterschiedlicher Untersuchungen von Deponien (bei Hausmülldeponien: Mittelwerte am Ende des Ablagerungsbetriebes und in der Stilllegungs-/Nachsorgephase)
- Klimatische Sickerwasserbildung von 250 mm/a, d.h. es wird von einer nennenswerten Restdurchlässigkeit der aufgetragenen Oberflächenabdeckung/-abdichtung ausgegangen.
- Ablagerungsmächtigkeit: 20 m
- Die Konzentrationsabnahme über die Zeit ist im Wesentlichen auf Auslaugungsprozesse durch den Niederschlagseintrag in den Deponiekörper zurückzuführen.

-
- Zur Prognose der Emissionsdauer wurde als Zielwert der jeweilige Anforderungswert gemäß 51. Anhang AbwV verwendet.

In Tab. 3.1 sind die Ergebnisse der Prognosen für Hausmüll-, MBA, MVA-Asche- und Bauschutt-Deponien getrennt nach den vier Parametern CSB, TKN, CI und AOX dargestellt:

- Erwartungsgemäß ist es die herkömmliche Hausmülldeponie, die mit nicht vorbehandelten Siedlungsabfällen verfüllt wurde, die gemäß der Prognose die längste Nachsorge mit dem höchsten Nachsorgeaufwand erfordern wird.
- Bei MBA-Deponien weisen die ersten Ergebnisse zur Sickerwasserbeschaffenheit darauf hin, dass die Stickstoffbelastungen infolge der Vorbehandlung deutlich reduziert wurden, so dass sie gegenüber den organischen Verbindungen nicht mehr die Dauer der Nachsorge bestimmen.
- MVA-Asche-Deponien weisen relativ geringe Sickerwasserbelastungen hinsichtlich der stickstoffhaltigen und organischen Verbindungen auf, was auf entsprechend kürzere Nachsorgedauern und einen reduzierten Nachsorgeaufwand hindeutet. Es ist zu klären, wie mit den teilweise sehr hohen Salzgehalten, die über längere Zeiträume freigesetzt werden können, zu verfahren ist und welchen Nachsorgeaufwand sie erfordern.
- Bauschuttdeponien erfordern im relativen Vergleich den geringsten Nachsorgezeitraum, für den vermutlich die Salze wie die Chloride und Sulfate bestimmend werden.

Es handelt sich bei der Prognose um einen relativen Vergleich, bei dem sowohl die gewählten Annahmen als auch die Unsicherheiten bezüglich der Datenlage und der Erfahrungen zum langfristigen Emissionsverhalten der unterschiedlichen Deponietypen zu berücksichtigen sind:

- Die klimatische Sickerwasserbildung ist mit 250 mm noch beträchtlich. Die prognostizierten Zeiträume verändern sich in direktem Verhältnis zum Wassereintrag, d.h. eine deutliche Reduzierung des Wassereintrags aufgrund einer undurchlässigen Oberflächenabdichtung führt zu einer entsprechend verzögerten Stoffmobilisierung bzw. verzögerten Abnahme der Belastungen.

Eine Wasserinfiltration unterstützt dagegen die Stoffmobilisierung und den Abbau bzw. Austrag.

- Zum Emissionsverhalten von MBA-Deponien, die nach den Anforderungen der AbfAbIV betrieben werden, liegen erst wenige Ergebnisse über einen kurzen Zeitraum vor. Dementsprechend sind die Prognosen des langfristigen Emissionsverhaltens noch mit höheren Unsicherheiten behaftet. So kann der verdichtete Einbau der MBA-Rückstände zu eingeschränkten Wasserbewegungen im Deponiekörper führen, was sich eher verzögernd auf die Mobilisierung von löslichen Stoffen auswirkt.

Tab. 3.1: Prognose zum Langzeitemissionsverhalten verschiedener Deponie-typen über den Sickerwasserpfad (C_E gemäß 51. Anhang AbwV)

Parameter	C_E Anforderungswert [mg/l]	C_0 Ausgangs- konzentration [mg/l]	Zeitraum bis zum Erreichen von C_E [a]
CSB	200		
Hausmülldeponie		1.200 – 3.800	75 – 120
MBA-Deponie		450 – 2.000	35 – 100
MVA-Asche-Deponie		15 - 600	0 – 50
Bauschutt-Deponie		100 - 250	0 – 10
TKN	70		
Hausmülldeponie		400 – 800	110 – 160
MBA-Deponie		150 - 250	45 – 80
MVA-Asche-Deponie		4 – 200	0 – 65
Bauschutt-Deponie		20 - 200	0 – 65
CI	(100)		
Hausmülldeponie		1.000 – 2.100	110 – 150
MBA-Deponie		420 - 980	70 - 110
MVA-Asche-Deponie		290 – 12.000	50 – 230
Bauschutt-Deponie		100 - 600	0 – 90
AOX	500 µg/l	[µg/l]	
Hausmülldeponie		1.000 – 2.800	25 – 55
MBA-Deponie		200 – 1.500	0 – 35
MVA-Asche-Deponie		0 – 130	0
Bauschutt-Deponie		0 – 20	0

Ablagerungsmächtigkeit: 20 m; Sickerwasserneubildungsrate: 250 mm/a

Alle Untersuchungen und Monitoringergebnisse zum Deponieverhalten herkömmlicher Siedlungsabfalldeponien zeigen, dass mit relevanten Emissionen insbesondere über den Sickerwasserpfad zu rechnen ist, die deutlich über 30 Jahre, die häufig für die Nachsorge angesetzt werden, hinausführen. Möglichkeiten zur Reduzierung der langfristigen Emissionen bestehen durch gezielte Beeinflussung des Deponieverhaltens wie durch eine Wasserinfiltration oder eine aerobe in situ Stabilisierung.

3.3 Beeinflussung der Sickerwasseremissionen durch Infiltration und aerobe in situ Stabilisierung

Es bestehen insbesondere bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien Möglichkeiten, das Emissionsverhalten auch noch nachträglich, d.h. in der Stilllegungsphase, positiv zu beeinflussen. Eine Wasserinfiltration und eine aerobe in situ Stabilisierung durch Belüftung können dazu beitragen, den Aufwand und die Dauer der Deponienachsorge zu reduzieren.

Infiltrationsmaßnahmen können zu einer verbesserten Deponiegasproduktion führen, wenn dadurch die Abfallfeuchte für anaerobe Umsetzungsvorgänge optimiert wird. Dieses kann an Abfallablagerungen, die noch beträchtliche biologisch verfügbare Organik enthalten und somit über ein signifikantes energetisch verwertbares Gasbildungspotenzial verfügen, erforderlich sein

- bei klimatisch bedingt trockenen Standorten oder
- wenn aufgrund der aufbrachten bzw. aufzubringenden temporären Oberflächenabdeckung oder endgültigen Oberflächenabdichtung eine Trockenkonservierung vermieden werden soll.

Die Voraussetzungen zur Infiltration sind in § 14 Abs. 8 DepV festgelegt worden.

Die bisherigen Erkenntnisse aus der aeroben in situ Stabilisierung von Deponien zeigen eine beschleunigte Reduktion der Emissionen sowohl über den Gas- und Sickerwasserpfad als auch der Setzungen. Die ersten großtechnischen Projekte mit umfassender wissenschaftlicher Begleitung (Niederdruckbelüftung der Altdeponie

Kuhstedt im Landkreis Rotenburg (Wümme) und der Deponie Milmersdorf im Landkreis Uckermark) werden 2006 und 2007 abgeschlossen. Die Zwischenergebnisse der Monitoringmaßnahmen und die Ergebnisse begleitender Untersuchungen zeigen die positive Beeinflussung des Emissionsverhaltens und den Beschleunigungseffekt insbesondere der biologischen Umsetzungsprozesse an.

4. Nachsorgeziele und rechtliche Rahmenbedingungen

4.1 Allgemeine Nachsorgeziele

So wie es in der Betriebsphase einschließlich der Stilllegungsphase ein vordringliches Ziel ist, Gefahren abzuwehren und Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit zu verhindern, so gilt dieses auch für die Nachsorgephase (vgl. § 13 Abs. 1 DepV). Im Zentrum der Nachsorgeaufgaben stehen die Kontrolle des Emissionsverhaltens der Deponie und ggf. die Durchführung oder Fortführung von Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung. Andere Nachsorgeaufgaben betreffen z.B. die Kontrolle der Standsicherheit oder den Erfolg von Rekultivierungsmaßnahmen.

Die Nachsorgephase wird vom Gesetzgeber grundsätzlich als endlich angesehen: Nach § 36 Abs. 5 KrW-/AbfG hat die zuständige Behörde auf Antrag den Abschluss der Nachsorgephase festzustellen. Es wird nicht etwa vom Deponiebetreiber verlangt, das Emissionsverhalten einer Deponie und die Funktionstüchtigkeit der Sicherungselemente so lange zu kontrollieren, wie überhaupt noch ein Schadstoffpotenzial im Deponiekörper vorhanden ist. Es kommt vielmehr darauf an, ob aus dem Verhalten der Deponie zukünftig noch Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit zu erwarten sind (§ 13 Abs. 4 DepV).

Für die Nachsorgephase gilt grundsätzlich dasselbe wie für die Betriebs- und Stilllegungsphase: Es muss nach einem Weg gesucht werden, wie Allgemeinwohlbeeinträchtigungen durch die Abfalldeponierung zu wirtschaftlich vertretbaren Bedingungen vermieden werden können. Hierzu gehört auch, dass die Nachsorge möglichst innerhalb eines überschaubaren Zeitraums abgeschlossen werden soll.

Ziel der Nachsorge ist

- die dauerhafte Vermeidung bzw. Minimierung von Allgemeinwohlbeeinträchtigungen, insbesondere von Schadstoffemissionen
- mit vertretbarem wirtschaftlichen Aufwand und
- binnen eines überschaubaren Nachsorgezeitraums.

Diese Ziele treten untereinander in Konflikt. Methodisch können solche Zielkonflikte nur durch Optimierung sachgerecht gelöst werden. Entscheidend ist, dass die Ziele ihrem jeweiligen Gewicht entsprechend berücksichtigt werden. Hierauf haben die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Deponienachsorge maßgeblichen Einfluss.

4.2 Leitbild der „stillgelegten Deponie“

Aus den qualitativen Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge nach § 13 Abs. 5 DepV und aus weiteren Vorschriften lässt sich ein Leitbild für die stillgelegte und aus der Nachsorge entlassene Abfalldeponie ableiten. Dieses Leitbild kann helfen, den Zielkonflikt genauer zu fassen, der sich zwischen den vorgenannten Kriterien und den nach fachlicher Erkenntnis daraus resultierenden Nachsorgezeiträumen ergibt. Das Leitbild wird im Wesentlichen bestimmt einerseits durch Vorgaben zum Emissionsverhalten, andererseits durch die Vorstellung, dass Abfalldeponien nach Durchführung zweckentsprechender Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen binnen überschaubarer Zeiträume nachsorgefrei werden.

Hinsichtlich des Emissionsverhaltens wird aus § 13 Abs. 5 DepV deutlich, dass Emissionen möglichst unterbunden oder zumindest minimiert werden müssen. So kann die Deponie nur aus der Nachsorge entlassen werden, wenn der Sickerwasseranfall durch eine dauerhaft funktionsfähige Oberflächenabdichtung minimiert wird und ggf. anfallendes Sickerwasser entsprechend den wasserrechtlichen Vorschriften eingeleitet werden kann. Dass Emissionen in Gewässer möglichst vermieden werden müssen, ergibt sich auch aus den allgemeinen Maßstäben, die für das Emissionsverhalten von Deponien gelten (z.B. § 10 Abs. 4 KrW-/AbfG). Man

kann insofern von der Leitvorstellung der **emissionsfreien bzw. -armen Deponie** sprechen.

Der entscheidende Gesichtspunkt ist, dass sich aus den abfallrechtlichen Vorgaben keinerlei Anhaltspunkt dafür ergibt, dass diese Leitvorstellung im langfristigen Zeitverlauf relativiert wird. Danach könnte eine Deponie nur aus der Nachsorge entlassen werden, wenn auch in mehreren Jahrhunderten noch gewährleistet ist, dass das Emissionsverhalten den vorstehend skizzierten Kriterien entspricht. Wenn z.B. absehbar ist, dass die Oberflächenabdichtung in mehreren Jahrhunderten nicht mehr voll funktionsfähig sein wird, könnte die Deponie nicht aus der Nachsorge entlassen werden.

Folglich können die Nachsorgeaufgaben und ein langer Nachsorgezeitraum mit erheblichen finanziellen Belastungen für den Deponiebetreiber verbunden sein. Nach dem allgemeinen Verhältnismäßigkeitsgrundsatz dürfen diese Belastungen nicht außer Verhältnis zu dem Nutzen stehen, den die Nachsorgeleistungen erbringen. Der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz hat Verfassungsrang und ist insofern Maßstab für Gesetzgebung und Gesetzesanwendung. Dem gemäß verlangt der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit, Nachsorgeaufwand und -zeitraum grundsätzlich auf ein zumutbares Maß zu begrenzen. Diese Zumutbarkeitsgrenzen werden maßgeblich bestimmt von den Erfordernissen des Gewässerschutzes und von der Abwägung zwischen diesen Erfordernissen und den wirtschaftlichen Belangen der Abfallbeseitigung nach Maßgabe der Verhältnismäßigkeitsbetrachtung.

4.3 Abwägung zwischen Belangen des Gewässerschutzes und der Abfallbeseitigung

In Literatur und Rechtsprechung wird die – allerdings umstrittene – Auffassung vertreten, dass die strengen Anforderungen des Gewässerschutzes bei Abfalldeponien relativiert werden müssen. Im Interesse einer geordneten Abfallbeseitigung müssen danach bestimmte Gewässerbeeinträchtigungen hingenommen werden, die gewöhnlich wasserrechtlich unzulässig sind. Anderenfalls wäre entgegen den Vorstellungen des Abfallrechts jedenfalls für zugelassene und auch nach In-Kraft-

Treten des KrW-/AbfG rechtmäßig weiter betriebene Altdeponien eine mit verhältnismäßigen Mitteln durchführbare Stilllegung nicht möglich, weil bei diesen Anlagen zumindest langfristig eine Gefährdung des Grundwassers durch Sickerwässer kaum jemals mit der aus wasserrechtlicher Perspektive allgemein geforderten Sicherheit ausgeschlossen werden kann.

Soweit Rechtsprechung und Literatur für eine Auflockerung der strengen wasserrechtlichen Maßstäbe für die Abfalldeponierung plädieren, wird durchgängig eine Abwägung zwischen den widerstreitenden Belangen gefordert. Die wasserrechtlichen Maßstäbe sind also nicht etwa generell abgeschwächt. Vielmehr muss im Einzelfall geprüft werden, inwieweit die Belange des Gewässerschutzes gegenüber vorrangigen abfallwirtschaftlichen Belangen zurücktreten müssen.

Die Abwägung zwischen den Belangen des Gewässerschutzes und der Abfallbeseitigung erfolgt nach Maßgabe des allgemeinen Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes. Nach ihm dürfen nur solche belastenden Maßnahmen verlangt werden, die zur Erreichung eines gesetzlich verankerten Zwecks geeignet, erforderlich und angemessen sind. Die Kriterien können wie folgt zusammengefasst und schrittweise konkretisiert werden:

- Im Interesse einer geordneten und wirtschaftlichen Abfallbeseitigung müssen gewisse Gewässerbelastungen hingenommen werden.
- Der Gewässerschutz muss jedoch nur insoweit zurücktreten, wie überwiegende Belange der Abfallbeseitigung dies erfordern.
- Die danach erforderliche Abwägung erfolgt nach Maßgabe des Verhältnismäßigkeitsprinzips. Belastende Maßnahmen – hier: zum Zwecke des Gewässerschutzes – können nur verlangt werden, wenn sie
 - geeignet sind (technisch machbar),
 - erforderlich sind (Gebot des „mildesten Mittels“): unter gleich geeigneten Maßnahmen muss immer diejenige ausgewählt werden, die mit den geringsten Belastungen für den Einzelnen und die Allgemeinheit verbunden ist) und
 - angemessen (verhältnismäßig im engen Sinne) sind.

-
- Erhebliche Schadstoffausträge in Gewässer stehen deshalb mit den abfall- und wasserrechtlichen Anforderungen nur im Einklang, wenn und soweit
 - ihre Vermeidung technisch nicht möglich oder
 - technisch möglich, aber unangemessen wäre.

Die Prüfung der technischen Machbarkeit, Erforderlichkeit und Angemessenheit von Vermeidungsmaßnahmen muss auf Grundlage einer konkreten, einzelfallbezogenen Bewertung der verfügbaren Handlungsalternativen erfolgen. Deshalb muss auch aus rechtlicher Sicht für die Verhältnismäßigkeitsprüfung das Nachsorgekonzept immer im Zusammenhang mit dem Stilllegungskonzept betrachtet und bewertet werden.

Die folgenden Vorschläge für quantitative Kriterien zur Entlassung aus der Deponienachsorge basieren auf den rechtlichen Betrachtungen zur Erforderlichkeit und Verhältnismäßigkeit der Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen.

5 Vergleich unterschiedlicher Stilllegungsmaßnahmen hinsichtlich Rückstellungen Nachsorgedauer

Die o.g. Vorgaben können – vereinfacht – dahin zusammengefasst werden, dass ein optimales Nutzen-Kosten-Verhältnis anzustreben ist: Stilllegung und Nachsorge müssen bei hoher Leistungsfähigkeit (dauerhafte Emissionsminderung) einen möglichst geringen Nachsorgeaufwand und -zeitraum erfordern. Die quantitativen Kriterien ergeben sich dann aus den Leistungsmerkmalen des für den jeweiligen Deponietyp im vorgenannten Sinne optimalen Konzepts.

Dieses kann nur auf Grundlage eines **konkreten** Leistungsvergleichs zwischen verschiedenen in Betracht kommenden Konzepten und bezogen auf bestimmte Fallgruppen von Deponien (z. B. Siedlungsabfalldeponien mit/ohne Basisabdichtung) vergleichend zu bewerten sein. Es bietet sich an, diese **vergleichende Bewertung** für folgende Konzepte vorzunehmen:

- Stilllegungs- und Nachsorgekonzept nach DepV („DepV-Modell“):
 - Basisabdichtung (bei Altdeponien: ohne),

-
- OFAD nach Ende der Ablagerung,
 - hohe Anforderungen an Dichtelemente (Ziel: vollständige Kapselung).
 - „Alternativkonzept“:
 - Anwendung von Stabilisierungsverfahren in der Stilllegungsphase.
 - Oberflächenabdichtung mit standortangepasstem, ggf. reduziertem Systemaufbau.

5.1 Beispielhafter Vergleich des Emissionsverhaltens zwischen DepV-Modell und Alternativkonzepten

Trotz der unterschiedlichen Randbedingungen, unter denen herkömmliche Siedlungsabfalldeponien betrieben wurden, soll ein Vergleich der möglichen Vorgehensweisen zur Stilllegung und Nachsorge im Hinblick auf das Emissions- und Deponieverhalten sowie die dafür erforderlichen Kosten bzw. Rückstellungen vorgenommen werden. Dabei sind zahlreiche Vereinfachungen unumgänglich, und es ist nochmals zu betonen, dass derartige Betrachtungen für jeden Einzelfall durchgeführt werden müssen, um zu belastbaren Ergebnissen zu kommen. Die anschließende Ableitung quantitativer Kriterien erfolgt in Kapitel 6.

Nachfolgend werden unterschiedliche Vorgehensweisen zur Stilllegung und Nachsorge von herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien auf der Grundlage prognostizierter Emissionsentwicklungen und entsprechender Stilllegungs- und Nachsorgekosten verglichen.

Um eine Vergleichbarkeit der Emissionen und der verbleibenden Emissionspotenziale sowie der Kosten für die unterschiedlichen Nachsorgekonzepte bzw. Szenarien zu ermöglichen, erfolgt die Betrachtung der szenarienspezifischen Maßnahmen und die damit verbundenen Kosten für einen Modellstandort:

- herkömmliche Siedlungsabfall-/Hausmülldeponie
- Deponiefläche: 10 ha
- Deponieablagerungsvolumen: 1 Mio. m³
- Ablagerungsmasse 1 Mio. Mg Mülltrockensubstanz (TS)

- durchschnittliche Ablagerungsmächtigkeit 20 m
- Bioverfügbarer organischer Anteil, der das Emissionsverhalten maßgeblich bestimmt, ausgedrückt als bioverfügbarer Kohlenstoffanteil zum Verfüllende 31.05.2005: 50.000 Mg C für gesamten Deponiekörper bzw. durchschnittlich 50 kg C/MgTS
- 31.05.2005: Beginn der Stilllegungsphase und Aufbringung der temporären Oberflächenabdichtung/-abdeckung bzw. endgültigen Oberflächenabdichtung inkl. Profilierung ab 2006 (Bauzeit: jeweils 2 Jahre)
- mittlere Niederschlagsmenge: 800 mm/a

Folgende Szenarien werden betrachtet (Tabelle 5.1):

- **Szenario A** – Deponie ohne Basisabdichtung, Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung (Kombinationsdichtung) ab 2006; Erfassung und Indirekteinleitung des verunreinigten Grundwassers
- **Szenario B** – Deponie mit Basisabdichtung; Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung ab 2006
- **Szenario C** – Deponie mit Basisabdichtung; Aufbringung der temporären Oberflächenabdeckung ab 2006; Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung 2015 (endgültige Oberflächenabdichtung gemäß DepV/TASi)
- **Szenario D** – Deponie mit Basisabdichtung; Aufbringung der temporären Oberflächenabdeckung mit integriertem Infiltrationssystem ab 2006; Infiltrationsmaßnahmen über 5 Jahre, Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung 2020; 7 Jahre Aerobisierung zur beschleunigten Stabilisierung des Deponiekörpers; anschließend Aufbringung der endgültigen standortangepassten Oberflächenabdichtung
- **Szenario E** – Deponie mit Basisabdichtung; Aufbringung der temporären Oberflächenabdeckung ab 2006; 7 Jahre Aerobisierung zur beschleunigten Stabilisierung des Deponiekörpers; anschließend Aufbringung der endgültigen standortangepassten Oberflächenabdichtung
- **Szenario F** – Deponie mit Basisabdichtung; Aufbringung der temporären Oberflächenabdeckung mit integriertem Infiltrationssystem ab 2006; Infiltrationsmaßnahmen über 5 Jahre, anschließend 7 Jahre Aerobisierung zur beschleunigten Stabilisierung des Deponiekörpers; Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung nach Beendigung der aktiven in situ Stabilisierung; passive Behandlung von Deponiegas mittels Methanoxidation in der Rekultivierungsschicht

Tab. 5.1: Szenarien A – F für Kombinationen unterschiedlicher Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen

Maßnahme	Szenario A	Szenario B	Szenario C	Szenario D	Szenario E	Szenario F
Basisabdichtung	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Grundwassersanierung	bis 2012	nein	nein	nein	nein	nein
Temporäre Abdeckung	nein	nein	ab 2006	ab 2006	ab 2006	ab 2006
Oberflächenabdichtung	ab 2006	ab 2006	ab 2015	ab 2020	ab 2020	ab 2020
Deponiegaserfassung	bis 2012	bis 2012	bis 2020	bis 2012	bis 2012	bis 2012
Sickerwasserfassung	nein	bis 2012	bis 2020	bis 2030	bis 2030	bis 2025
Infiltration	nein	nein	nein	2006 - 2010	nein	2006 - 2010
Belüftung	nein	nein	nein	2013 - 2019	2013 - 2019	2013 - 2019

Zum Vergleich des Emissionsverhaltens wird die Reduzierung des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs unter anaeroben und aeroben Milieubedingungen betrachtet. Sie wird maßgeblich von den gewählten Stilllegungsmaßnahmen und dem resultierenden Wasserhaushalt im Deponiekörper bestimmt.

In Abbildung 5.1 ist die Abnahme des biologisch verfügbaren Kohlenstoffs im Deponiekörper in Abhängigkeit der gewählten Stilllegungsmaßnahmen dargestellt. Neben dem Ausgangspotenzial von 50.000 Mg Kohlenstoff im Jahr 2005 sind die noch vorhandenen Kohlenstoffpotenziale der Szenarien A – F im Jahr 2020 dargestellt, nachdem in allen Fällen die endgültige Oberflächenabdichtung aufgebracht wurde.

Bei sofortiger Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung (Szenario A und B) kommen die biologischen Abbauprozesse aufgrund eines allmählichen Wassermangels und Austrocknungsprozesses voraussichtlich zum Erliegen, so dass nur etwa 40% des Kohlenstoffpotenzials reduziert werden. Eine temporäre

Abdeckung erlaubt noch einen reduzierten Wassereintrag in den Deponiekörper, so dass die anaeroben Abbauprozesse länger andauern und bis zu 80% des biologisch verfügbaren Kohlenstoffpotenzials umgesetzt werden können (Szenario C). Die Stabilisierungsmaßnahmen der Infiltration und der Belüftung führen nochmals zu einer deutlich Reduzierung des Kohlenstoffs, da sie zu einem beschleunigten biologischen Abbau beitragen, so dass bei den gewählten Annahmen mehr als 95% des bioverfügbaren Kohlenstoffs kontrolliert abgebaut werden (Szenario D - F).

Während bei bisherigen Infiltrationsmaßnahmen die Auswirkungen auf die biologischen Abbauprozesse unterschiedlich und nicht in allen Fällen eindeutig sind, können die beschleunigten Kohlenstoffreduzierungen infolge der aeroben in situ Stabilisierung belegt werden.

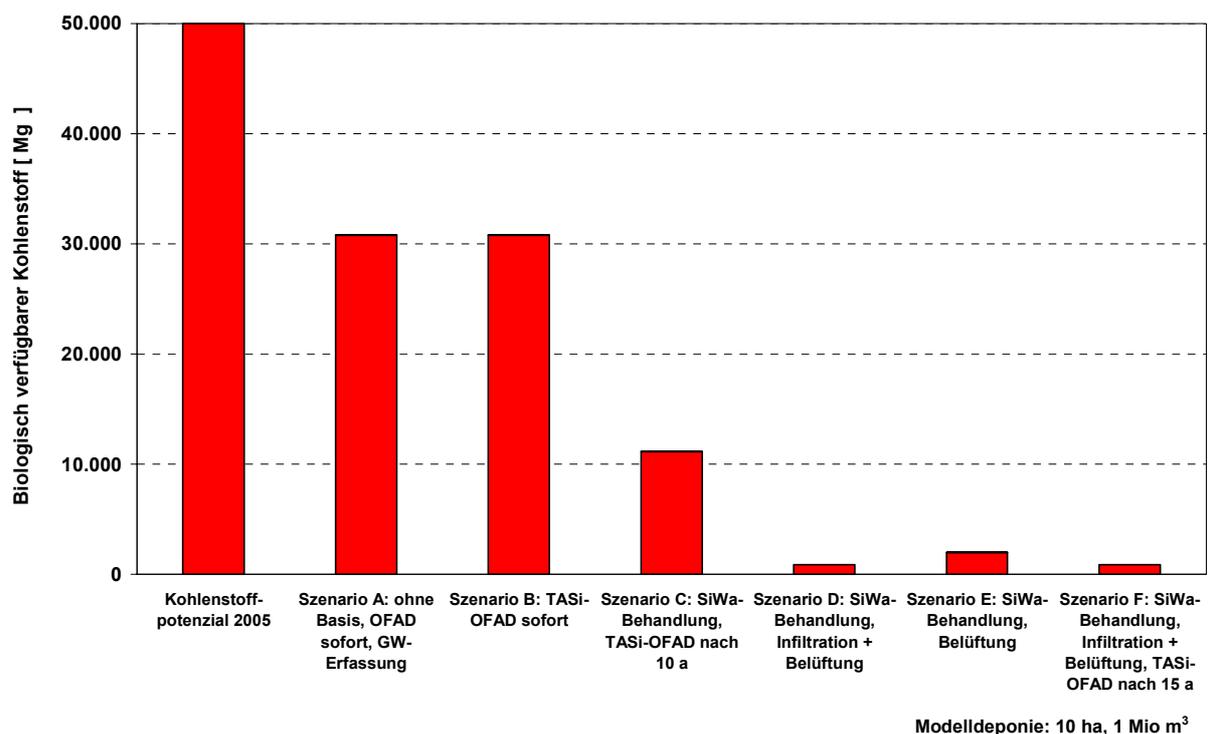


Abb. 5.1: Kohlenstoffpotenzial im Jahr 2005 und Kohlenstoffreduzierung bis 2020 in Abhängigkeit unterschiedlicher Stilllegungsmaßnahmen, Szenarienvergleich anhand einer Modelldeponie

5.2 Ergebnisse zum Vergleich der Stilllegungs- und Nachsorgekosten

Mit Kostenansätzen, die die aktuelle Marktsituation abbilden, können unter Berücksichtigung der zeitlich gestaffelten Umsetzung entsprechender Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen unterschiedliche Konzepte und Szenarien betrachtet werden. Als Zeithorizonte zur Nachsorgekostenberechnung werden zum einen eine Mindestdauer von 30 Jahren und zum anderen „emissionsrelevante“ Nachsorgezeiträume von 100 Jahren gewählt.

Die Abbildung 5.2 zeigt für die Szenarien A-F den Gesamtkostenvergleich über einen Zeitraum von bis zu 100 Jahren nach Beginn der Stilllegungsphase 2005. Dabei erfolgt der Szenarienvergleich der Nachsorgekosten auf der Grundlage der Nominalwertmethode. In Tabelle 5.2 sind die Szenarien unter Berücksichtigung einer Kapitalisierung der Rückstellungen nach der Barwertmethode gegenübergestellt.

Es werden folgende Kostenblöcke unterschieden:

- Oberflächenabdichtung OFAD (Invest): Investitionskosten für Profilierung und Aufbringung des Dichtungssystems inkl. Baunebenkosten als Kapitaldienst
- Oberflächenabdichtung OFAD (RWI): Kosten für die Funktionskontrolle der Dichtwirkung der Oberflächenabdichtung inkl. Reparatur, Wartung und Instandsetzung (RWI)
- Wasser (Betrieb + RWI): Kosten für die Fassung und Behandlung des Sickerwassers (bzw. des Grundwassers für das Szenario A) sowie der RWI-Maßnahmen für das Wasserfassungs- und Behandlungssystem
- Gas (Betrieb + RWI): Kosten für die Fassung und Behandlung des Deponiegases sowie der RWI-Maßnahmen für das Gasfassungs- und Behandlungssystem
- Infiltration: Kapitaldienst für das Infiltrationssystem und Betriebskosten für die Durchführung der Infiltrationsmaßnahmen
- Belüftung: Kapitaldienst für das Belüftungssystem und Betriebskosten für die Durchführung der Belüftungsmaßnahmen (im Wesentlichen Energiekosten)

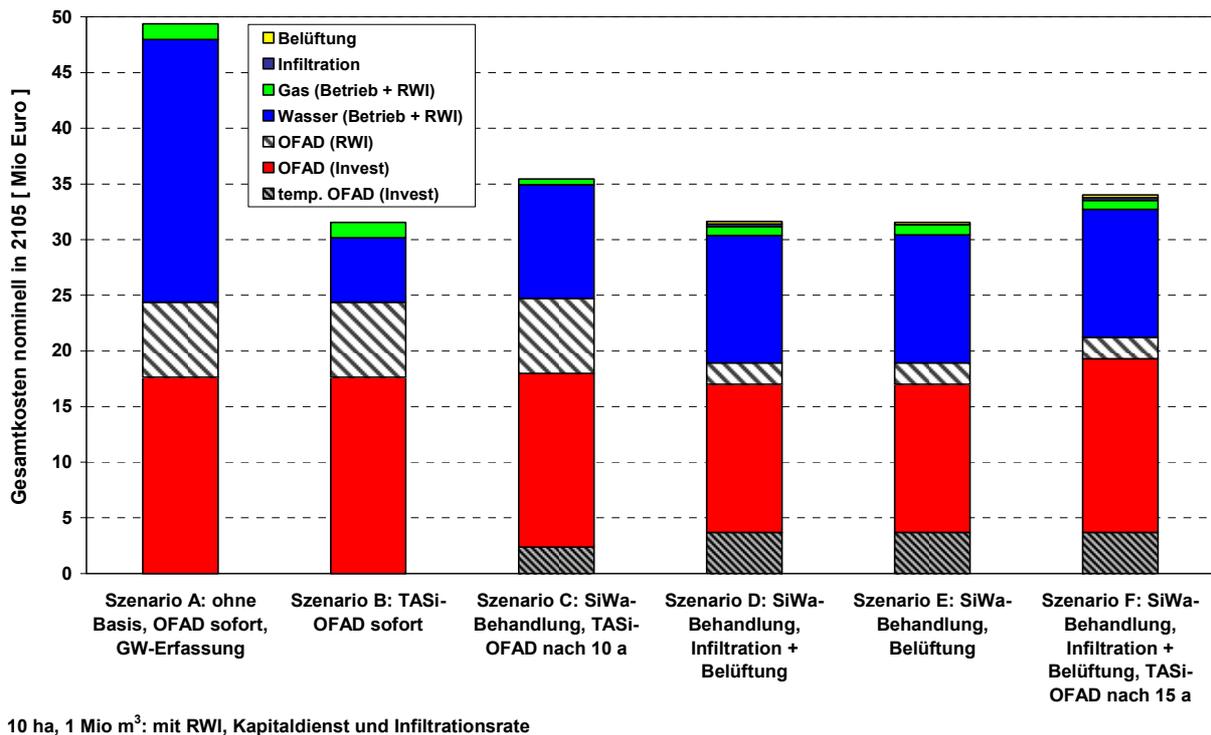


Abb. 5.2: Stilllegungs- und Nachsorgekosten in Abhängigkeit verschiedener Stilllegungsmaßnahmen (RWI: Unterhaltungskosten für Reparatur/ Wartung/ Instandsetzung; Nominalkostenvergleich)

Tab. 5.2 Vergleich der erforderlichen Rückstellungen im Jahr 2005 für Szenarien A-F auf der Grundlage der Barwertmethode (Zinssatz abzüglich Inflationsrate: 3%)

Szenario	für 30 Jahre Nachsorge [Mio. €]	für 100 Jahre Nachsorge [Mio. €]
A – ohne Basis, TAsi-OFAD sofort	36,92	37,64
B – TAsi-OFAD sofort	20,57	21,29
C – SiWa-Behandlung, TAsi-OFAD nach 10 a	19,39	21,82
D – SiWa-Behandlung, Infiltration + Belüftung	18,72	20,86
E – SiWa-Behandlung, Belüftung	18,63	20,76
F – SiWa-Behandlung, Infiltration + Belüftung, TAsi-OFAD	19,43	21,93

Wie der Kostenvergleich zeigt, liegen die erforderlichen Nachsorgekosten bzw. die notwendigen Rückstellungen, die bis zum Ende der Ablagerungsphase gebildet werden müssen, für die Szenarien B-F in einer ähnlichen Größenordnung. Es fallen für die Durchführung aktiver, das Emissionspotenzial mindernde Maßnahmen zur Belüftung und/oder Infiltration zwar geringfügige zusätzliche Kosten an, diese werden jedoch durch Kosteneinsparungen nach Abschluss entsprechender Maßnahmen kompensiert. Nachfolgend werden die Szenarien hinsichtlich der Folgekosten und des Langzeitverhaltens gesondert betrachtet.

Für die Szenarien A-C (ohne in situ Stabilisierung) sind aufgrund des verbleibenden Emissions- und Setzungspotenzials folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Der Zeitpunkt der Beendigung der intensiven Deponienachsorge ist fraglich: 30 Jahre oder 100 Jahre nach Beginn der Stilllegung oder sogar noch deutlich später.
- Auch 30 Jahre nach Beginn der Stilllegung kann noch ein erhöhter Überwachungs- und Wartungsaufwand erforderlich sein im Vergleich zu den Szenarien D-F.
- Beim Versagen des Dichtungssystems (technisches Bauwerk) können eine erneute Erfassung und Behandlung von Emissionen oder zusätzliche Sanierungsmaßnahmen erforderlich werden. Es besteht folglich ein größeres finanzielles Risiko in der Nachsorge.

Anmerkung: Entsprechende Kosten sind bei obigem Szenarienvergleich nicht berücksichtigt, da weder die Eintrittswahrscheinlichkeit noch der Umfang entsprechender Maßnahmen prognostiziert und monetär bewertet werden kann.

Für die Szenarien D-F (Oberflächenabdichtung ab 2020 nach Abschluss der in situ Stabilisierung) ist aufgrund des stabilisierten, mithin emissions- und setzungsarmen Abfallkörpers

- das Ende der intensiven Deponienachsorge 30 Jahre nach Beginn der Stilllegung sehr viel wahrscheinlicher,
- früher eine reduzierte Deponienachsorge mit einem geringen Überwachungsaufwand und Maßnahmen zur passiven Methanoxidation oder einfacheren Sickerwasserreinigung bzw. Direkteinleitung möglich,

- die Aufbringung eines standortangepassten Dichtungssystems möglich, was für die Szenarien D und E berücksichtigt wurde.

Die Alternativkonzepte weisen hinsichtlich einer Langzeitbetrachtung von 100 und mehr Jahren insgesamt wirtschaftliche Vorteile auf im Vergleich zum „DepV-Modell“, da durch die aktive, beschleunigte Reduzierung des Emissionspotenzials wirtschaftliche Risiken und Folgekosten abschätzbar sowie minimiert werden. Grundsätzlich muss die Bewertung der in Frage kommenden Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen unter Berücksichtigung der standortbezogenen Randbedingungen und Erfordernisse sowie der Verfügbarkeit der gebildeten Rücklagen erfolgen.

5.3 Zusammenfassender Vergleich zwischen „DepV-Modell“ und Alternativkonzepten

Das Stilllegungs- und Nachsorgemodell der DepV schöpft wie erläutert nicht alle Möglichkeiten zur Reduktion des Schadstoffpotenzials der abgelagerten Abfälle aus. Es stellt zwar i.V.m. der AbfAbIV hohe Anforderungen an die Qualität der abzulagernden Abfälle und an den Einbau. Weitergehende Maßnahmen zur Stabilisierung der Abfälle (Infiltration, Belüftung) gerade bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien sind zwar mit Einschränkungen möglich, sie werden zur bestmöglichen Reduktion des Schadstoffpotenzials jedoch nicht gefordert.

Stattdessen stellt die DepV hohe Anforderungen an die Funktionsfähigkeit der Dichtelemente, insbesondere an Basisabdichtung und Oberflächenabdichtung.

Da mit der Kapselung der Deponie die biologischen Abbauprozesse weitgehend zum Erliegen kommen, reduziert sich das Emissionspotenzial der Abfälle auch in der Folgezeit nicht. Sofern die Kapselung nicht dauerhaft und vollständig gelingt, entstehen Restemissionen zu einem Zeitpunkt und in einer Größenordnung, die nicht prognostizierbar sind. Entsprechend langfristig muss die Funktionsfähigkeit der Dichtelemente erhalten werden. Es müssen also für einen sehr langen Zeitraum die Dichtwirkung kontrolliert und Schäden repariert werden. Soweit Restsickerwasser

austritt, ist dieses – ggf. auch noch nach Jahrhunderten – relativ hoch belastet und bedarf ggf. einer entsprechenden Fassung und Reinigung.

6 Vorschläge für quantitative Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge

Die Vorschläge für quantitative Kriterien zur Entlassung aus der Deponienachsorge basieren auf dem Emissionsverhalten der unterschiedlichen Deponietypen sowie den rechtlichen und wirtschaftlichen Betrachtungen zur Erforderlichkeit und Verhältnismäßigkeit der Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen.

Nachsorgekriterien können vor dem Hintergrund des § 13, Abs. 5 DepV aus einer Kombination genereller Anforderungen, die standortbezogen anzupassen und nachzuweisen sind, bestehen. Zur Beendigung der Deponienachsorge können Kriterien für

- das Emissionsverhalten,
 - die technischen Barrieren und Untergrundbedingungen,
 - die zulässigen Immissionen
- entwickelt werden.

Generelle Vorgaben zum Abfallkörper und Emissionsverhalten beziehen sich auf:

- das aktuelle Emissionsverhalten
- potenzielle zukünftige Emissionen, d.h. das noch verbliebene mobilisierbare Stoffpotenzial (das nach Abschluss der Nachsorge unkontrolliert mobilisiert und ausgetragen werden kann)

Vorschläge zu Nachsorgekriterien zum **aktuellen und zukünftigen Emissions- und Deponieverhalten** werden im Folgenden vorgestellt für:

- Sickerwasser
- Deponiegas
- Abfallfeststoffbeschaffenheit

Nachsorgekriterien hinsichtlich der **Schutzgutsituation** und der **Immissionen** sind zu entwickeln für:

- eine akzeptable bzw. zulässige Belastung des Grundwassers durch Stoffeinträge aus dem Deponiekörper, z.B. orientiert an Maßnahmenschwellenwerten bzw. Auslöseschwellen gemäß DepV oder Geringfügigkeitsschwellenwerten gemäß BBodSchV
- eine zulässige Belastung von Oberflächengewässern, wobei die Anforderungswerte des 51. Anhangs der Abwasserverordnung herangezogen werden
- eine akzeptable bzw. zulässige Belastung der Atmosphäre mit gasförmigen Emissionen, die u.a. zum Treibhauseffekt beitragen
- die Vermeidung von unmittelbaren Gefährdungen des Deponieumfeldes, z.B. Explosions- und Gesundheitsgefahren oder Schädigung von Pflanzen durch migrierendes Deponiegas
- die geomechanische Deponiestabilität, z.B. die Standfestigkeit

6.1 Kriterien für Sickerwasser- und Grundwasser

Sickerwasser, Kriterium zur Begrenzung der Emissionsquelle (Deponiekörper): Als Kriterium der Sickerwasserbelastungen kann neben der Schadstoffkonzentration der Massenstrom (Fracht) als Produkt von Konzentration und Sickerwasseranfall pro Hektar Ablagerungsfläche und Jahr gewählt werden.

Kriterium zur Begrenzung der Immissionen, Auslöseschwellen Grundwasser: Für das Grundwasser im Umfeld von Deponien sind Auslöseschwellen nach §§ 2, 9 und 25 DepV festzulegen.

Für die vier Leitparameter CSB, $N_{ges.}$, CI und AOX werden folgende Szenarien zum Sickerwasseraustrag im Hinblick auf die Entlassung aus der Nachsorge betrachtet:

- Direkteinleitung in Oberflächengewässer
- Indirekteinleitung
- Versickerung in den Untergrund

Am Beispiel des Parameters **CSB** werden die Vorschläge für akzeptable Restemissionen zur Entlassung aus der Nachsorge erläutert:

- **Bei Direkteinleitung in Oberflächengewässer:**

Derzeit gemäß 51. Anhang AbwV: CSB 200 mg/l maximale Konzentration, keine Frachtenbegrenzung, ggf. keine Entlassung aus der Nachsorge möglich, sofern Unterhaltungsaufwand für Sickerwasserableitung.

Vorschlag: Dieser Konzentrationswert kann wie erläutert sehr lange Nachsorgezeiträume nach sich ziehen, obwohl die emittierte Fracht aufgrund eines geringen Sickerwasseranfalls bereits sehr gering sein kann. Es wird daher vorgeschlagen zu prüfen, ob standortbezogen bzw. im Einzelfall eine zulässige Fracht für die Direkteinleitung festgelegt werden könnte. So könnte bei geringem Sickerwasseranfall eine Direkteinleitung erfolgen, auch wenn der Anforderungswert des 51. Anhangs noch überschritten wird.

- **Bei Indirekteinleitung:**

Derzeit gemäß 51. Anhang AbwV: bei Einleitung in Kanalisation: CSB 400 mg/l maximale Konzentration, keine Frachtenbegrenzung, dann allerdings keine vollständige Entlassung aus der Nachsorge möglich, da Unterhaltungsaufwand für Sickerwasserableitung.

Vorschlag: wie bei der Direkteinleitung wird vorgeschlagen zu prüfen, ob standortbezogen bzw. im Einzelfall eine zulässige Fracht für die Indirekteinleitung festgelegt werden könnte. Auch in diesem Fall könnte bei geringem Sickerwasseranfall bereits eine Indirekteinleitung erfolgen, wenn der Anforderungswert des 51. Anhangs noch überschritten wird.

- **Bei Versickerung in den Untergrund:**

- **Begrenzung der Emissionen (Deponiekörper):** z.B. 50-200 kgCSB/ha*a maximale Fracht in den Untergrund (und Grundwasserleiter), d.h. z.B. 50-200 mg/l maximale Sickerwasserkonzentration bei 100 mm/a klimatischer Sickerwasserbildung.

- **Begrenzung der Immissionen (Grundwasser):** Die Auslöseschwelle im Grundwasserabstrom darf nicht überschritten werden. Differenzwert zum Zustrom ca. CSB = 11 mg/l, abgeleitet aus Differenzwert für DOC von 4 mg/l und Verhältniswert CSB : DOC von 2,75 : 1 (NLÖ, 2004).

Tabelle 6.1. enthält eine zusammenfassende Übersicht der vorgeschlagenen quantitativen Kriterien für den Wasserpfad hinsichtlich Sickerwasser- und Grundwasserbelastung sowie für die Direkt- und Indirekteinleitung.

Tab. 6.1: Vorschlag zu quantitativen Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge für Sickerwasser- und Grundwasserbelastungen sowie bei Direkt- und Indirekteinleitung

Parameter	Direkteinleitung		Indirekteinleitung		Versickerung	
	Konzentration [mg/l]	Fracht [kg/ha*a]	Konzentration [mg/l]	Fracht [kg/ha*a]	Konzentration Immission (Differenzwert) [mg/l]	Fracht [kg/ha*a]
CSB	200	50 – 200	400	50 - > 200	12	50 – 200
Nges.	70	25 - 100	> 70	25 - > 100	NH ₄ 0,3 – 5	25 - 100
CI	100	100 - 200	> 100	100 - > 200	30	100 - 200
AOX	0,5	0,1 – 0,5	0,5	0,1 - > 0,5	0,02	0,1 – 0,5

Zur Emissionsbegrenzung ist eine solche Kombination aus Konzentrations- und Frachtwerten angesichts der Belange des Gewässerschutzes wie der Deponie-nachsorge eine sehr geeignete Lösung. Es wurden im Wesentlichen die sich aus den vorhandenen Regelwerken (z.B. AbwV) ergebenden – strengen – Konzentrationswerte zugrunde gelegt. Die Konzentrationswerte müssen allerdings so flexibel sein, dass sie eine Entlassung aus der Nachsorge ermöglichen, wenn nur noch geringe Umweltauswirkungen zu erwarten sind. Deshalb soll die Behörde im Einzelfall von der Einhaltung des angegebenen Konzentrationswertes absehen können, wenn die Frachten gering sind, d.h. innerhalb der angegebenen Spannbreiten liegen, und eine weitergehende Emissionsreduzierung in Relation zu dem damit verbundenen Aufwand unangemessen erscheint.

Zur Einordnung der quantitativen Kriterien und zur Anpassung bzw. Heraufsetzung der Differenzwerte im Grundwasser können die Erkenntnisse zum Natural Attenuation und die Zwischenergebnisse des BMBF-Verbundvorhabens KORA

herangezogen werden. Die Sickerwasserbelastungen als „Quellkonzentrationen“ vieler Altablagerungen sind in der näheren Umgebung des Abfallkörpers älterer Deponien (10 – 20 m) häufig noch hoch. Sie nehmen jedoch durch verschiedene Retentions- und Abbauvorgänge, den so genannten natürlichen Selbstreinigungskräften (Natural Attenuation), in Abstromrichtung meistens deutlich ab. Aufgrund der bisherigen Erkenntnisse kann prognostiziert werden, dass bei vielen Altablagerungen zwar ein Grundwasserschaden festzustellen ist, der aber lokal begrenzt ist und häufig keine Gefährdung weiterer Schutzgüter beinhaltet (Kerndorff et al., 2006).

6.2 Kriterien für Deponiegas

Die Auswirkungen der Methanemissionen am anthropogenen Treibhauseffekt sind ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung des Gashaushalts. Zur Entlassung aus der Nachsorge soll daher insbesondere der Methanvolumenstrom unter Berücksichtigung der Schutzgutsituation betrachtet werden.

Bei einer Deponiegasproduktion mit einem Methanvolumen $\leq 25 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{h}$ für den gesamten Deponiestandort und $\leq 5 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/(\text{h} * \text{ha})$ auf die Ablagerungsfläche bezogen können folgende Schritte eingeleitet werden:

- Umstellung auf passive Restgasbehandlung z.B. über Methanoxidation in der Rekultivierungsschicht mit dem Nachweis, dass weniger als $0,5 \text{ l CH}_4 / (\text{m}^2 * \text{h})$ in die Rekultivierungsschicht eindringt und die maximale flächenhafte Ausgasung über die Rekultivierungsschicht **25 ppm** an Kohlenwasserstoffverbindungen (hauptsächlich Methan) nicht überschreitet.
- Bei Erfüllung dieses Kriteriums über 10 Jahre wäre gasseitig die Entlassung aus der Nachsorge möglich.

6.3 Kriterien für die Abfallfeststoffbeschaffenheit

Im BMBF-Verbundvorhaben „Deponiekörper“ und weiteren Untersuchungen wurden umfangreiche Abfallfeststoffprobenahmen auf Deponien vorgenommen. Aus dem

Vergleich der Abfallfeststoffbeschaffenheit und den Eluatwerten mit dem resultierenden Emissionsverhalten werden Zielwerte abgeleitet, die der Abfall zur Entlassung aus der Nachsorge aufweisen sollte. Sie werden zur Einordnung u.a. mit den Anforderungswerten des Anhangs 2 der AbfAbIV verglichen, wobei sie diese um 30 – 80% unterschreiten (Tab. 6.2).

Anmerkungen zu den vorgeschlagenen Zielwerten:

- Mit dem Einsatz von Stabilisierungsverfahren können Zielwerte früher erreicht und die Barriere „Deponiekörper“ in einen emissionsarmen Zustand überführt werden, der die Nachsorgedauer und den Nachsorgeaufwand deutlich reduziert.
- Die Kriterien an die Beschaffenheit des Abfalls zum Zeitpunkt der Entlassung aus der Nachsorge können bei größeren, jüngeren Siedlungsabfalldponien mit Ablagerungsmächtigkeiten > 20m sonst lange Nachsorgezeiträume bedingen (mehrere Jahrzehnte bis theoretisch einige Jahrhunderte).
- Die quantitativen Kriterien an die Abfallfeststoffproben sind nicht mit dem Ansatz der Konservierung des Abfallkörpers durch Kapselung und Austrocknung bei herkömmlichen Siedlungsabfalldponien vereinbar. Eine Entlassung aus der Nachsorge ist dann nicht möglich, da die Barriere „Deponiekörper“ noch keinen nachsorgefreien Zustand aufweist.

Tab. 6.2: Zuordnungswerte von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen gemäß Anhang 2 der AbfAbIV und Zielwerte bzw. quantitative Kriterien an Abfallfeststoffproben aus Deponien zur Beendigung der Nachsorge

Parameter	Zielwerte zum Nachsorgeende	Zuordnungswerte Anhang 2 AbfAbIV
Eluatkriterien		
pH-Wert	6,0 – 9,0	5,5 – 13,0
Leitfähigkeit	≤ 2.500 µS/cm	≤ 50.000 µS/cm
TOC	≤ 150 mg/l	≤ 250 mg/l
Phenole	≤ 0,5 mg/l	≤ 50 mg/l
Arsen	≤ 0,1 mg/l	≤ 0,5 mg/l
Blei	≤ 0,4 mg/l	≤ 1 mg/l
Cadmium	≤ 0,05 mg/l	≤ 0,1 mg/l
Chrom-VI	(≤ 0,1 mg/l)	≤ 0,1 mg/l
Kupfer	≤ 1 mg/l	≤ 5 mg/l
Nickel	≤ 0,2 mg/l	≤ 1 mg/l
Quecksilber	≤ 0,005 mg/l	≤ 0,02 mg/l
Zink	≤ 2 mg/l	≤ 5 mg/l
Fluorid	(≤ 25 mg/l)	≤ 25 mg/l
Ammoniumstickstoff	≤ 50 mg/l	≤ 200 mg/l
Cyanide, leicht freisetzbar	≤ 0,1 mg/l	≤ 0,5 mg/l
AOX	≤ 0,5 mg/l	≤ 1,5 mg/l
Glühverlust	-	-
TOC	-	-
Biologische Abbaubarkeit des Trockenrückstands der „Originalsubstanz“		
bestimmt als Atmungsaktivität (AT ₄)	≤ 2,5 mgO ₂ /gTS	≤ 5 mgO ₂ /gTS
oder bestimmt als Gasbildungsrate im Gärtest (GB ₂₁)	≤ 10 l/kgTS	≤ 20 l/kgTS

6.4 Kriterien zum Setzungsverhalten

Es wird vorgeschlagen, dass im Sinne der Hauptsetzungen mindestens 75% der Gesamtsetzungen, die nach Abschluss der Verfüllung noch auftreten können, stattgefunden haben sollten, bis eine endgültige Oberflächenabdichtung aufgebracht

wird. Es wären aufgrund der Analogie zu den biologischen Abbauprozessen zwei Halbwertszeiten oder 8 – 16 Jahre nach Abschluss der Verfüllung erforderlich, bis dieser Zustand bei vielen herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien erreicht ist.

Um der Anforderung, verformungsbedingte Beschädigungen des Oberflächenabdichtungssystems für die Zukunft auszuschließen, zu genügen, wird ein Setzungsmaß von mindestens 90% der Gesamtsetzungen vorgeschlagen. Dieses wird theoretisch nach etwa 3,5 Halbwertszeiten bzw. 14 bis 28 Jahre, nachdem der letzte Abfall eingebaut wurde, erreicht.

6.5 Technische Anforderungen als Kriterien zur Beendigung der Nachsorge

Zur Entlassung aus der Nachsorge sind für jeden Standort die technischen Anforderungen und die zu erfüllenden Bedingungen für folgende Bereiche zu prüfen:

- Untergrund und hydrologische Randbedingungen
- Basisabdichtung
- Sickerwasserfassung
- Gaserfassung
- Oberflächenabdichtung und Rekultivierung
- Infrastruktur, Rückbau entbehrlicher Anlagen
- Standsicherheit und geomechanische Stabilität des Deponiekörpers

7 Fazit der Auswertungen zur Nachsorgedauer und den Vorschlägen zur Beendigung der Nachsorge

Die Vorschläge für die quantitativen Kriterien zur Entlassung aus der Deponienachsorge orientieren sich an den fachlichen Erkenntnissen über das langfristige Emissionsverhalten der abgelagerten Abfälle, am Stand des Wissens zur Deponietechnik und allgemein zum Deponieverhalten und an Erkenntnissen über die Beeinträchtigung von Schutzgütern (insbesondere Gewässern) durch die Abfalldeponierung. Die Kriterien sind mit dem wachsenden Erkenntnisstand, der in den nächsten Jahren insbesondere bei den im Mai 2005 geschlossenen

herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien und den neuen MBA-Deponien gewonnen wird, fortzuschreiben.

Die Vorschläge suchen einen angemessenen Ausgleich im Spannungsverhältnis zwischen dem Leitbild der „emissionsfreien“ bzw. „emissionsarmen“ Deponie und dem Ziel einer Entlassung von Deponien aus der Nachsorge innerhalb eines überschaubaren Zeitraums und zu wirtschaftlich vertretbaren Kosten. Diese Abwägung wird maßgeblich durch die gesetzlichen Vorschriften und den übergeordneten Grundsatz der Verhältnismäßigkeit gesteuert.

Zur Implementierung der vorgeschlagenen quantitativen Kriterien wären Rechtsänderungen auf untergesetzlicher Ebene notwendig. Dies betrifft zum einen die Erweiterung der bisherigen Spielräume für die Anwendung von Stabilisierungsverfahren in der Stilllegungsphase (DepV). Ferner wären die rechtlichen Voraussetzungen für die vorgeschlagene Kombination der Konzentrationswerte mit Frachtwerten und für die flexible Handhabung der Konzentrationswerte zu schaffen (AbwV).

Literatur

- Heyer, K.-U.: Emissionsreduzierung in der Deponienachsorge. Hamburger Berichte Band 21, Verlag Abfall aktuell, Stuttgart, 2003
- Kerndorff, H., Kühn, S., Minden, Th., Orlikowski, D., Struppe, Th. (2006): Emissionsverhalten von Deponien und Identifikation von NA-Prozessen. In: Deponietechnik 2006, Hrsg: Stegmann, Rettenberger, Bidlingmaier, Bilitewski, Fricke. Hamburger Berichte Band 29, Verlag Abfall aktuell, Hamburg 2006
- Krümpelbeck, I., Ehrig, H.-J.: Abschätzung der Restemissionen von Deponien in der Betriebs- und Nachsorgephase auf der Basis realer Überwachungsdaten. BMBF Vorhaben Förderkennzeichen 1471067, Bonn, 1999
- NLÖ: Abfallwirtschaftsfakten 9 „Auslöseschwellen und Maßnahmenpläne nach § 9 DepV“, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim, Oktober 2004.
- N.N.: Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TASI - TA Siedlungsabfall) vom 14. Mai 1993, Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen, Bundesanzeiger Nr. 99a
- N.N.: Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) vom 27. September 1994, zuletzt geändert am 27. Juli 2001, Bundesanzeiger
- N.N.: Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer; AbwV - Abwasserverordnung, Anhang 51: Oberirdische Ablagerung von Abfällen, 1996

-
- N.N.: Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen (AbfAbIV – Abfallablagerungsverordnung) vom 20. Februar 2001, BGBl I 2001, 305, geändert durch Art. 2 vom 24.07.2002, I 2807
- N.N.: Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV - Deponieverordnung) vom 24. Juli 2002 BGBl I 2002, 2807
- N.N.: Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung – BBodSchV, 1999
- Ramke, H.G. (2006): Wasserhaushalt abgedichteter Deponien. In: Kranert (Hrsg.): Zeitgemäße Deponietechnik 2006 – Weiterbetrieb, Stilllegung und Nachsorge von Deponien – Vertiefersseminar an der Universität Stuttgart am 14.03.2006, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 87, Oldenbourg Industrieverlag
- Rettenberger, G. (2001): Überwachung und Kontrolle von Methanemissionen aus Deponien. In: Hamburger Berichte 17 - Abluft 2001, Biologische Abfallbehandlung - Emissionen und deren Behandlung, Verlag Abfall aktuell, Stuttgart
- Stegmann, R., Heyer, K.-U.: Langfristiges Gefährdungspotential und Deponieverhalten von Ablagerungen; Bericht zum Teilvorhaben TV 4 im BMBF-Verbundvorhaben „Deponiekörper“, Arbeitsbereich Abfallwirtschaft der TU Hamburg-Harburg, Projektträger PTAWAS (Umweltbundesamt Berlin), 1997
- Stegmann, R., Heyer, K.-U., Hupe, K., Siederer, H., Willand, A.: „Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Abfallwirtschaft, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 204 34 327, im Auftrag des Umweltbundesamtes, 2006