

## **Ergebnisse des UFOPLAN-Forschungsvorhabens zur Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge**

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stegmann, Dr.-Ing. Kai-Uwe Heyer, Dr.-Ing. Karsten Hupe

IFAS Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, *Prof. R. Stegmann und Partner*

Schellerdamm 19 – 21, 21079 Hamburg, [www.ifas-hamburg.de](http://www.ifas-hamburg.de)

### **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 im Mai 2005 zur Schließung einer Vielzahl an Hausmülldeponien geführt. Nunmehr sind die weiteren Maßnahmen zur Stilllegung und Nachsorge unter Berücksichtigung des langfristigen Deponieverhaltens, der rechtlichen Anforderungen und der erforderlichen finanziellen Mittel festzulegen.

Nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen bedürfen Deponien der Nachsorge. Noch entstehendes Sickerwasser und Deponiegas müssen erfasst und behandelt werden. Das Deponieverhalten, d.h. technische Einrichtungen und die Emissionen sind zu überwachen.

Ziel des kürzlich abgeschlossenen UFOPLAN-Vorhabens „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 war es, konkrete Handlungsoptionen geeigneter Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen aufzuzeigen und Abschätzungen resultierender Nachsorgezeiträume vorzunehmen. Auf dieser Grundlage können die erforderlichen Rückstellungen ermittelt werden. Weiterhin werden Vorschläge zur Ableitung quantitativer Kriterien zur Entlassung aus der Nach-

sorge entwickelt, wobei nicht nur das Emissionsverhalten und die technischen Anforderung an Deponien, sondern auch die rechtlichen Rahmenbedingungen betrachtet werden (Stegmann et al., 2006).

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 waren gemäß § 13 Abs. 5 der bisherigen Deponieverordnung von 2002 (DepV) bestimmte Kriterien zugrunde zulegen, 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.

Zur thematischen Aufbereitung werden im UFOPLAN-Vorhaben die qualitativen Anforderungen für die Beendigung der Nachsorge gemäß § 13 Abs. 5 DepV mit ihren möglichen Auswirkungen auf das Emissions- und Deponieverhalten unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit diskutiert und es werden Thesen abgeleitet. Die Kernthese zur Erreichung einer nachsorgefreien Deponie lautet: „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 reaktiviert werden können. Etwaige noch langfristig auftretende Emissionen sollten so gering sein, dass das Wohl der Allgemeinheit,

insbesondere der Grundwasserschutz dadurch nicht gefährdet wird.“ Diese These hat insbesondere bei den herkömmlichen Hausmülldeponien zur Konsequenz, dass der abgelagerte Abfall nicht nur konserviert werden darf (z.B. durch Austrocknung nach Abdichtung der Oberfläche), sondern dass in der Stilllegungs- und Nachsorgephase ein emissionsarmer Zustand der abgelagerten Abfälle erreicht wird. Dazu können Deponiestabilisierungsverfahren wie die Infiltration und die Belüftung beitragen.

Quantitative Kriterien zur Beendigung der Deponienachsorge sollen folglich die grundsätzliche Reaktions- und Emissionsarmut des Deponiekörpers belegen. Vorschläge hierfür sollen technisch, wirtschaftlich und rechtlich gangbare Wege aufzeigen, um die Deponienachsorge in überschaubaren Zeiträumen abschließen zu können.

Mehrere dieser Vorschläge der UFOPLAN-Studie zu den quantitativen Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge haben Eingang in den ersten Entwurf der „Integrierten Deponieverordnung“ vom 05.02.2007 gefunden.

## **2 Emissionsverhalten und Dauer der Deponienachsorge**

### **2.1 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 [ $\text{m}^3$  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 aufgetragenen Oberflächenabdeckung wird eine Abnahme des Sickerwasseraufkommens auf 0,5 bis 5 m<sup>3</sup>/(ha\*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 m<sup>3</sup>/(ha\*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.

## **2.2 Prognose der Sickerwasseremissionen unterschiedlicher Deponietypen**

Auf herkömmlichen Siedlungsabfalldéponien (Altdeponien) wurden bis zum Mai 2005 überwiegend Siedlungsabfälle ohne Vorbehandlung abgelagert. Sie enthalten nennenswerte Anteile an organischen, biologisch verfügbaren Fraktionen, die das Emissionsverhalten im Sickerwasser und Deponiegas durch Umsetzungs- und Abbauprozesse maßgeblich prägen. Aus Sickerwasserdaten, die im Zuge von Überwachungsmaßnahmen auf Deponien und in Laborversuchen in „Deponiesimulationsreaktoren“ (DSR) gemessen wurden ergeben sich im Sickerwasser Verläufe, die 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. 2.1 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.

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 lang-

fristigen Emissionen bestehen durch gezielte Beeinflussung des Deponieverhaltens wie durch eine Wasserinfiltration oder eine aerobe in situ Stabilisierung.

**Tab. 2.1:** Prognose zum Langzeitemissionsverhalten verschiedener Deponietypen 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 ]
<b>CSB</b>	<b>200</b>		
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
<b>TKN</b>	<b>70</b>		
Hausmülldeponie		400 – 800	110 – 160
MBA-Deponie		150 - 250	45 – 80
MVA-Asche-Deponie		4 – 200	0 – 65
Bauschutt-Deponie		20 - 200	0 – 65
<b>CI</b>	<b>(100)</b>		
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
<b>AOX</b>	<b>500 µg/l</b>	[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

### 2.3 Beeinflussung der Sickerwasseremissionen durch Infiltration und aerobe in situ Stabilisierung

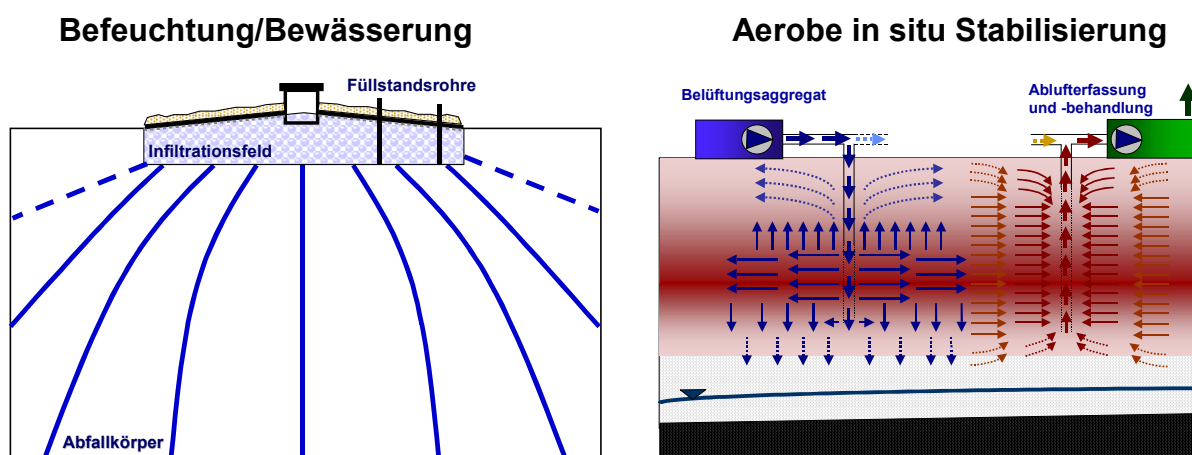
Es bestehen insbesondere bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien Möglichkeiten, das Emissionsverhalten auch noch nachträglich, d.h. in der Stilllegungsphase, positiv zu beeinflussen. Eine Wasserinfiltration und eine aerobe in situ Stabilisierung durch Belüftung können dazu beitragen, den Aufwand und 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 aufgetragenen 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 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) wurden 2006 bzw. im Frühjahr 2007 abgeschlossen. Die Ergebnisse des begleitenden Monitoringprogramms zeigen eindeutig die positive Beeinflussung des Emissionsverhaltens und den Beschleunigungseffekt insbesondere der biologischen Umsetzungsprozesse an, so dass gerade mit der aeroben in situ Stabilisierung die Zielstellung des § 14 Abs. 8 DepV erreicht werden kann.



**Abb. 2.1:** Infiltration und aerobe in situ Stabilisierung zur Beschleunigung biologischer Abbauprozesse und zur Verbesserung des Langzeitverhaltens



### 3 Vergleich unterschiedlicher Stilllegungsmaßnahmen bezüglich des Deponieverhaltens und der zu bildenden Rückstellungen

Im Rahmen eines Vergleiches werden im UFOPLAN-Vorhaben die Auswirkungen der möglichen Vorgehensweisen zur Stilllegung und Nachsorge (Szenarien A – F, Tabelle 3.1) auf das Emissions- und Deponieverhalten sowie die dafür erforderlichen Kosten bzw. Rückstellungen für eine Modelldeponie betrachtet:

**Tab. 3.1:** Szenarien A – F für Kombinationen unterschiedlicher Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen

<b>Maßnahme</b>	<b>Szenario A</b>	<b>Szenario B</b>	<b>Szenario C</b>	<b>Szenario D</b>	<b>Szenario E</b>	<b>Szenario F</b>
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

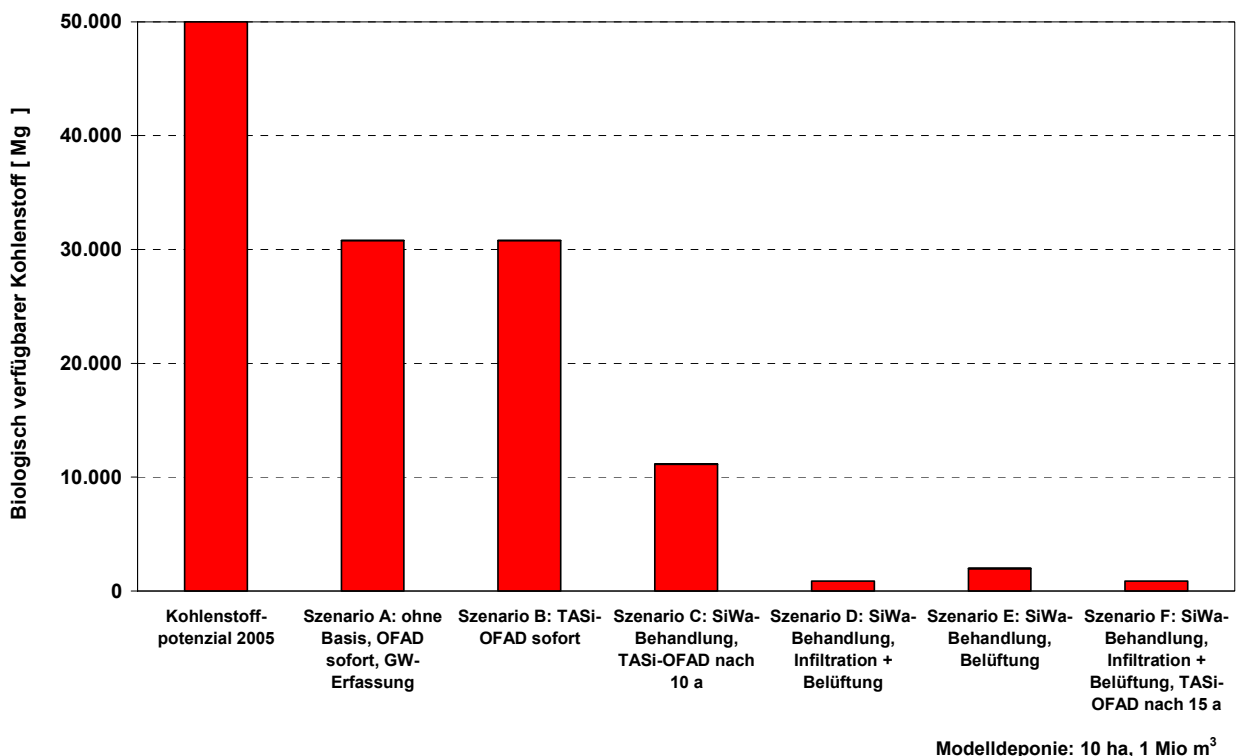
Zum Vergleich des Emissionsverhaltens wird in Abbildung 3.1 die Reduzierung des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs unter anaeroben und aeroben Milieubedingungen betrachtet. Sie liegen im Vergleich zwischen 40% (Szenario A - B, nur Oberflächenabdichtung) und mehr als 95% (Szenario D – F, Stabilisierungsmaßnahmen Infiltration und/oder Belüftung gemäß den Erläuterungen in Kap. 2.3) bezogen auf den biologisch verfügbaren Kohlenstoff zu Beginn der Stilllegungsphase.

In der Abbildung 3.1 sind ferner für die Szenarien die erforderlichen Rückstellungen für den Mindestzeitraum von 30 Jahren nach der Barwertmethode gegenübergestellt. Wie der Kostenvergleich zeigt, liegen die erforderlichen Nachsorgekosten bzw. die notwendigen Rückstellungen 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 der Stabilisierungsmaßnahmen kompensiert.

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.



Rückstellungen nach der Barwertmethode [Mio. €]:	36,9	20,6	19,4	18,7	18,6	19,4
--	------	------	------	------	------	------

**Abb. 3.1:** Kohlenstoffpotenzial im Jahr 2005 und Kohlenstoffreduzierung bis 2020 in Abhängigkeit unterschiedlicher Stilllegungsmaßnahmen, Szenarien- und Kostenvergleich anhand einer Modelldeponie

Für die Szenarien D-F 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.

#### **4 Leitsätze für die Entwicklung der quantitativen Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge**

Als Ausgangsbasis für quantitative Kriterien soll ein flexibles Maßnahmenkonzept dienen, das Anforderungen an die abzulagernden Abfälle und das Emissionsverhalten, die Möglichkeit zur Anwendung von Stabilisierungsverfahren (Belüftung und/oder Infiltration) und zur Aufbringung einer qualifizierten Oberflächenabdichtung, die von den Regelanforderungen der DepV abweichen kann, einschließt. Ein solches Konzept weist den großen Vorteil auf, dass das Emissionspotenzial wesentlich rascher und kontrollierter reduziert wird und deshalb deutlich früher Nachsorgefreiheit erlangt werden kann.

Hierbei wird von folgenden Grundsätzen ausgegangen:

- Strenge Einleitgrenzwerte für Konzentrationen im Deponiesickerwasser (Direkt- oder Indirekteinleitung) sind ohne Berücksichtigung der Frachten aus ökologischer Sicht und unter dem Gesichtspunkt der Verhältnismäßigkeit nicht sachgerecht, wenn sie zu einem unabsehbaren Nachsorgezeitraum (>> 30 - 50 Jahre) führen. Gleiches gilt für Konzentrationsschwellenwerte für Grundwasserbelastungen.
- Konzentrationswerte sollen durch Frachtwerte ergänzt werden, die das Maß der Gewässerbelastung begrenzen (für Direkt- und Indirekteinleitung in Oberflächengewässer und für Stoffeinträge in das Grundwasser).
- Bei der Festlegung der Frachtwerte sollten die Umstände des Einzelfalls berücksichtigt werden, insbesondere

- standörtliche oder technische Merkmale (z.B. mit/ohne Basisabdichtung), Deponieinventar
- geltende rechtliche Anforderungen an die Deponie (z.B. Stilllegung nach dem aktuellen Stand der Technik oder Altdeponie nach § 14 DepV, spezifische Zulassungsbedingungen)
- Verhältnismäßigkeit

Auch bei den gasförmigen Emissionen sollten die emittierbaren Frachten bei der Entwicklung quantitativer Kriterien berücksichtigt werden.

Die folgenden Vorschläge für quantitative Kriterien zur Entlassung aus der Deponienachsorge basieren auf der Kernthese, den fachlichen Grundlagen und den Ergebnissen zum Deponieverhalten und dessen Beeinflussung sowie auf den rechtlichen Betrachtungen zur Erforderlichkeit und Verhältnismäßigkeit der Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen.

## **5 Vorschläge für quantitative Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge**

Nachsorgekriterien zur Beendigung der Deponienachsorge können für das Emissionsverhalten, die technischen Barrieren und Untergrundbedingungen und die zulässigen Immissionen entwickelt werden.

Bezüglich des Emissionsverhaltens ist zu unterscheiden zwischen dem aktuellen Emissionsverhalten und den potenziellen zukünftigen Emissionen, d.h. dem noch verbliebenen mobilisierbaren Stoffpotenzial (das nach Abschluss der Nachsorge unkontrolliert mobilisiert und ausgetragen werden kann).

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

- eine akzeptable bzw. zulässige Belastung des Grundwassers durch Stoffeinträge aus dem Deponiekörper
- eine zulässige Belastung von Oberflächengewässern

- eine 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

## 5.1 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,  $N_{ges.}$ , Cl 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 Sickerwasser-

anfall 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 Zuström 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 5.1. enthält eine zusammenfassende Übersicht der vorgeschlagenen quantitativen Kriterien für den Wasserpfad hinsichtlich Sickerwasser- und Grundwasserbelastung sowie für die Direkt- und Indirekteinleitung.

**Tab. 5.1:** 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]
<b>CSB</b>	200	50 – 200	400	50 - > 200	12	50 – 200
<b>Nges.</b>	70	25 - 100	> 70	25 - > 100	NH <sub>4</sub> 0,3 – 5	25 - 100
<b>CI</b>	100	100 - 200	> 100	100 - > 200	30	100 - 200
<b>AOX</b>	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 Deponienachsorge 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).

## 5.2 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.

Diese Kriterien sind in § 15 *Nachsorge (4)* des ersten Entwurfs der „Integrierten Deponieverordnung“ vom 05.02.2007 aufgenommen worden.

## 5.3 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 Anforderungs-



werten des Anhangs 2 der AbfAbIV verglichen, wobei sie diese um 30 – 80% unterschreiten (Tab. 5.2).

**Tab. 5.2:** Zielwerte bzw. quantitative Kriterien an Abfallfeststoffproben aus Deponien zur Beendigung der Nachsorge, Vergleich mit Zuordnungswerten von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen gemäß Anhang 2 der AbfAbIV

Parameter	Zielwerte zum Nachsorgeende	Zuordnungswerte Anhang 2 AbfAbIV
<b>Eluatkriterien</b>		
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	-	-
<b>Biologische Abbaubarkeit des Trockenrückstands der „Originalsubstanz“</b>		
bestimmt als Atmungsaktivität (AT <sub>4</sub> )	≤ 2,5 mgO <sub>2</sub> /gTS	≤ 5 mgO <sub>2</sub> /gTS
oder bestimmt als Gasbildungsrate im Gärtest (GB <sub>21</sub> )	≤ 10 l/kgTS	≤ 20 l/kgTS

### **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 Siedlungsabfalldeponien 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 Siedlungsabfalldeponien vereinbar. Eine Entlassung aus der Nachsorge ist dann nicht möglich, da die Barriere „Deponiekörper“ noch keinen nachsorgefreien Zustand aufweist.

### **5.4 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.

Dieses Kriterium „90% der Gesamtsetzungen“ ist ebenfalls in § 15 *Nachsorge (4)* des ersten Entwurfs der „Integrierten Deponieverordnung“ vom 05.02.2007 aufgenommen worden.

## **5.5 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

## **6 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.

Die Implementierung von mehreren der vorgeschlagenen quantitativen Kriterien erfolgt im ersten Entwurf der „Integrierten Deponieverordnung“ vom 05.02.2007. Für den Wasserpfad wären die rechtlichen Voraussetzungen für die vorgeschlagene Kombination der Konzentrationswerte mit Frachtwerten im Sickerwasser bzw. beeinflussten Oberflächengewässer oder Grundwasser und für die flexiblere Handhabung der Konzentrationswerte zu schaffen. Ferner wird im ersten Entwurf der „Integrierten Deponieverordnung“ auch über die Anwendung von Stabilisierungsverfahren in der Stilllegungsphase eine größere Flexibilität bei der Ausbildung der Oberflächenabdichtung eröffnet. Dieser Weg leitet sich aus den Ergebnissen der UFOPLAN-Studie ab.

## 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
- 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.: 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
- Ramke, H.G.: Wasserhaushalt abgedichteter Deponien. In: Kranert (Hrsg.): Zeitgemäße Deponietechnik 2006 – Weiterbetrieb, Stilllegung und Nachsorge von Deponien – Vertiefenseminar an der Universität Stuttgart am 14.03.2006, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 87, Oldenbourg Industrieverlag
- Stegmann, R., Heyer, K.-U., Hupe, K., 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  
Zu beziehen unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3128.pdf>  
sowie unter: [http://www.ifas-hamburg.de/pdf/UFOPLAN\\_IFAS.pdf](http://www.ifas-hamburg.de/pdf/UFOPLAN_IFAS.pdf)

**Anschrift der Autoren:**

**Prof. Dr.-Ing. Rainer Stegmann**  
**Dr.-Ing. Kai-Uwe Heyer**  
**Dr.-Ing. Karsten Hupe**

Tel.: 040 / 77 11 07 42

Tel.: 040 / 77 11 07 41

Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft  
*Prof. R. Stegmann und Partner*  
Schellerdamm 19 - 21  
21079 Hamburg

Fax: 040 / 77 11 07 43

Email: [stegmann@ifas-hamburg.de](mailto:stegmann@ifas-hamburg.de)

<http://www.ifas-hamburg.de>