

Aerobe in situ Stabilisierung von Deponien mit der Niederdruckbelüftung: Technik, Erfahrungen, aktuelle Maßnahmen

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

Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner (IFAS)

1 Aerobe in situ Stabilisierung in der neuen Deponieverordnung

Viele Hausmülldeponien der Deponiekategorie II befinden sich seit dem 31.05.2005 in der Stilllegungsphase. Darüber hinaus gibt es mehrere Hundert verfüllte Altdeponien und mehrere Tausend Altablagerungen, die noch erhöhte Anteile an biologisch verfügbarer Organik aufweisen und nennenswerte Sickerwasser- und Deponiegasemissionen hervorrufen. Die Auswahl geeigneter technischer Maßnahmen zur Deponiestilllegung und Nachsorge sowie zur Sanierung soll sich daher maßgeblich daran orientieren, eine Verbesserung des aktuellen wie des langfristigen Emissionsverhaltens dieser Abfallablagerungen herbeizuführen.

Schadstoffemissionen über den Sickerwasser- und Deponiegaspfad, die Auswirkungen auf Schutzgüter haben, werden insbesondere durch die aerobe in situ Stabilisierung, die Belüftung des Deponiekörpers, weitgehend, beschleunigt und kontrolliert reduziert.

Aufgrund der vorliegenden positiven Ergebnisse zur Emissionsreduzierung bei Einsatz der Niederdruckbelüftung haben die verfahrensgebenden Autoren (IFAS Hamburg) die Integration der aeroben in situ Stabilisierung in die neue Deponieverordnung (DepVereinfV, 2008) vorgeschlagen und dazu insbesondere die Ergebnisse des BMBF-Vorhabens der Altdeponie Kuhstedt herangezogen. Dieser Vorschlag wurde in die neue Deponieverordnung, wie sie am 19.12.2008 verabschiedet wurde, aufgenommen:

§ 25 In der Ablagerungsphase befindliche Altdeponien, Absatz (4):

Bei Deponien oder Deponieabschnitten nach Absatz 3 (auf denen Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Klärschlämme und andere Abfälle mit hohen organischen Anteilen abgelagert worden sind), kann die zuständige Behörde auf Antrag des Deponiebetreibers zur Beschleunigung biologischer Abbauprozesse und zur Verbesserung des Langzeitverhaltenseine gezielte Befeuchtung der Deponie durch Infiltration von Wasser oder.....eine Belüftung des Abfallkörpers oder eine Kombination der Verfahren zulassen, wenn nachfolgende Mindestanforderungen erfüllt sind:

.....

2. *Bei einer Belüftung des Abfallkörpers:*

- a) *sind Einrichtungen zur gezielten und kontrollierten Belüftung und Abluftfassung vorhanden, sodass unkontrollierte gasförmige Emissionen weitgehend vermieden werden,*
- b) *wird eine an die Abluftbeschaffenheit angepasste Abluftbehandlung durchgeführt, sodass schädliche Emissionen weitgehend vermieden werden,*
- c) *sind relevante Mengen noch biologisch abbaubarer organischer Substanz im Deponiekörper nachgewiesen.*

3. *Bei einer gezielten Befeuchtung oder Belüftung des Abfallkörpers sind der Wasserhaushalt, der Gashaushalt, die Temperaturentwicklung und die Setzungen des Deponiekörpers zu kontrollieren, um nachzuweisen, dass keine nachteiligen Auswirkungen auf den Deponiekörper und die Umwelt auftreten und ausreichend intensivierte oder beschleunigte biologische Abbauprozesse stattfinden.*

In § 26 Absatz 2 sind diese Möglichkeiten auch für in der Stilllegungsphase befindliche Altdeponien aufgenommen worden.

Im Folgenden wird erläutert, wie diese Mindestanforderungen technisch und wirtschaftlich erfüllt werden können. Dazu werden neben der Altdeponie Kuhstedt weitere Deponien, auf denen die aerobe in situ Stabilisierung mit der Niederdruckbelüftung angewandt wird oder bereits erfolgreich abgeschlossen wurde, herangezogen, so z.B. auf der Deponie Dörentrup (Kreis Lippe) in Nordrhein-Westfalen und auf der Deponie Milmersdorf (Landkreis Uckermark) in Brandenburg. Weiterhin werden Kosten und Kosteneinsparpotenziale genannt. Hier sind insbesondere Erleichterungen bei der Aufbringung der Oberflächenabdichtung zu nennen, die im Anhang 1 der neuen Deponieverordnung ermöglicht werden.

2 Einrichtungen zur gezielten und kontrollierten Belüftung und Ablufferfassung, Abluftreinigung

2.1 Technisches Grundkonzept der Niederdruckbelüftung

Das technische Grundkonzept des Niederdruckbelüftungsverfahrens *AEROflott*[®] besteht darin, über ein System von Gasbrunnen mit einer aktiven Belüftung soviel Luftsauerstoff in den Deponiekörper einzubringen, dass eine beschleunigte aerobe Stabilisierung der abgelagerten Abfälle erzielt wird. Gleichzeitig wird die schwachbelastete Abluft kontrolliert erfasst und behandelt. Die Belüftung erfolgt mit niedrigen Drücken und wird kontinuierlich an den Sauerstoffbedarf angepasst, so dass der Stabilisierungsbetrieb fortlaufend optimiert wird (STEGMANN et al., 2000).

Die wesentlichen technischen Einrichtungen umfassen:

- Gasbrunnen zur Belüftung und Ablufferfassung
- Gasleitungssystem zur Belüftung und Ablufferfassung
- Gasverteilerstation zur Einstellung der Belüftungsraten sowie der Ablufferfassungsraten je Gasbrunnen
- Belüftungsaggregate in der Gasverdichterstation
- Abluftreinigungsstufen: Biofilter, Hochtemperaturfackel, Schwachgasfackel oder autotherme Verfahren (RTO)

Im Falle einer ergänzenden Installation von Gasbrunnen zur Belüftung und Ablufferfassung kann diese Nachrüstung bereits frühzeitig in der Phase der aktiven Gaserfassung und –verwertung erfolgen. Dadurch wird der Gaserfassungsgrad gesteigert, so dass die Gasverwertung wirtschaftlicher und ggf. länger betrieben werden kann. Die Mehreinnahmen können für den anschließenden Stabilisierungsbetrieb und die weiteren Stilllegungsmaßnahmen genutzt werden.

2.2 Technische Umsetzung auf den Deponien Milmersdorf und Dörentrup

2.2.1 Deponie Milmersdorf (Landkreis Uckermark), Brandenburg

Die Deponie Milmersdorf befindet sich in der Gemeinde Milmersdorf im Landkreis Uckermark, östlich von Templin und südlich von Prenzlau. Die Deponie wurde in einer ehemaligen Kiesgrube ohne Basisabdichtung angelegt und von 1976 bis 1998 auf einer Ablagerungsfläche von ca. 6 ha verfüllt. Das Verfüllvolumen beträgt ca. 580.000 Mg. 1999 fanden erste Umlagerungs- und Profilierungsmaßnahmen statt, um die Deponie im Anschluss an die Stabilisierung mit einem Oberflächenabdichtungssystem versehen zu können.

Auf der Deponie Milmersdorf sind seit Beginn der 90-Jahre bis zum Ende der Verfüllung vermehrt Siedlungsabfälle mit erhöhten organischen Gehalten in einer Schichtmächtigkeit von ≥ 3 m abgelagert worden („Nachwendemüll“). Auf der einen Seite war daher zu erwarten, dass die biologischen Abbauprozesse sowohl zu Gasemissionen als auch zu erhöhten Sickerwasserbelastungen führen können. Andererseits zeigte ein Gasabsaugversuch, dass sich weder von der Gasqualität noch von der Quantität ausreichende Gasvolumina für eine Verwertung des Deponiegases erfassen lassen würden, da sich keine stabilen anaeroben Milieubedingungen mit ausreichender Deponiegasproduktion ausbilden können. Zudem wäre eine Belastung des ersten unbedeckten Grundwasserleiters durch Sickerwasser möglich gewesen.

Aus dieser Sachlage haben sich der Handlungsbedarf und die Durchführung der in situ Stabilisierung als Maßnahme zur Deponiestilllegung im Zeitraum 2002 – 2006 abgeleitet. Noch im Jahr 2006 konnte eine an den emissionsarmen Deponiekörper angepasste Oberflächenabdichtung unter Verzicht auf ein zweites Dichtungselement aufgebracht werden.

2.2.2 Deponie Dörentrup (Kreis Lippe), Nordrhein-Westfalen

Die Abfallbeseitigungs-GmbH Lippe (ABG Lippe) hat zur Entsorgung von Siedlungsabfällen die Verbunddeponie Dörentrup im Kreis Lippe von 1985 bis 1999 betrieben.

Der erste Hauptverfüllabschnitt wurde in dem Zeitraum zwischen 1985 und 1991 als Halden-Deponie betrieben. Das Gesamtablagerungsvolumen beträgt 590.000 m³. Der gesamte Hauptverfüllabschnitt ist mit Bodenmaterial unterschiedlicher Mächtigkeit abgedeckt. Der zweite Hauptverfüllabschnitt wurde zwischen 1991 und 1999 betrieben und umfasst ein Gesamtablagerungsvolumen von 432.000 m³.

In beiden Abschnitten wurden Industrie- und Gewerbemüll, Reststoffe aus einem Kompostwerk, Hausmüllreststoffe („Graue Tonne“), Schlämme und Kompost für Abdeckungen eingelagert. Beide Abschnitte verfügen über eine Basisabdichtung, so dass Sickerwässer kontrolliert erfasst und behandelt werden.

In der Stilllegungsphase wird ab 2007 die aerobe in situ Stabilisierung durchgeführt, bevor abschließend eine standortangepasste Oberflächenabdichtung aufgebracht wird.

2.2.3 Technische Umsetzung der Niederdruckbelüftung

In Abbildung 2.1 ist die Anordnung der technischen Einrichtungen zur Belüftung und Abluffterfassung einschließlich 20 weiterer Gaskontrollpegel und Monitoringeinrichtungen zur Setzungsmessung auf der Deponie Milmersdorf dargestellt.

Jeder der insgesamt 26 Gasbrunnen, von denen 14 bereits existierten und 12 kleinere zur Belüftungsmaßnahme nachgerüstet wurden, wurde über eine Einzelleitung mit der zentralen Gasverteilerstation, die mit der Gasverdichterstation und der Abluftreinigungsanlage auf einer Betriebsfläche im Deponiekuppenbereich installiert wurde, verbunden. Dort konnte die Einzelleitung sowohl an das Verteilersystem zur Belüftung als auch an das Gassammelsystem zur Abluffterfassung angeschlossen werden. Über zwei Hauptversorgungsleitungen war die Gasverteilerstation mit der Gasverdichterstation verbunden.

Das Verteilersystem zur Belüftung war über die Hauptversorgungsleitung mit der Belüftungsseite der Gasverdichterstation verbunden. Die Aerobisierung wurde über den eingestellten Überdruck bzw. das zugeführte Luftvolumen in den Einflussbereich des jeweiligen Gasbrunnens sichergestellt. Über den eingestellten Unterdruck wurde innerhalb des Einflussbereichs der übrigen Gasbrunnen die Abluft kontinuierlich abgesaugt, so dass unkontrollierte Abluffemissionen über die Deponieoberfläche bzw. Gasmigration über den Bodenluftpfad in den angrenzenden Untergrund vermieden bzw. auf einem tolerierbar niedrigen Niveau gehalten werden konnten. Anschließend wurde die Abluft der Abluftreinigungsstufe, einer regenerativen thermischen Oxidationsanlage (RTO), zugeführt. Dort wurden Restmethangehalte und eventuell auftretende Spurenstoffe in der Abluft per Hochtemperaturoxidation vollständig schadlos beseitigt.

Die Verdichteraggregate zur Belüftung und Abluffterfassung einschließlich Schalt- und Steuerschränken wurden in einem mobilen Container installiert. Schalt- und Steuerschränke sind im Betriebsraum durch eine Trennwand von den Verdichteraggregaten zur Belüftung und Abluffterfassung, und den kontinuierlichen arbeitenden Gasanalysatoren im Maschinenraum räumlich abgetrennt.

Der Regelbetrieb erfolgte über einen Zeitraum von 4 Jahren von 2002 bis zum Juni 2006. Die Beendigung des Regelbetriebs zur Stabilisierung erfolgte in Abstimmung mit dem Landesumweltamt Brandenburg als Genehmigungs- und Überwachungsbehörde vor dem Hintergrund einer Sicherungsanordnung gem. § 36 (2) KrW-/AbfG. Betriebsbegleitend und zum Abschluss der Maßnahme erfolgten neben dem eigentlichen Monitoringprogramm ergänzende Untersuchungen, um den erfolgreichen Abschluss der aeroben in situ Stabilisierung zu überprüfen und zu bestätigen.

Bereits im Frühjahr 2006 wurde mit dem Bau der endgültigen Oberflächenabdichtung begonnen. Dabei wurden 14 Gasbrunnen im Plateaubereich für ein System zur passiven Entgasung (Einleitung eventuell entstehender Restgase in die untere Zone der Rekultivierungsschicht, um so deren Methanoxidationspotenzial zu nutzen) umgerüstet und die restlichen Gasbrunnen rückgebaut. Die Arbeiten zur Aufbringung der Oberflächenabdichtung wurden im Dezember 2006 beendet.

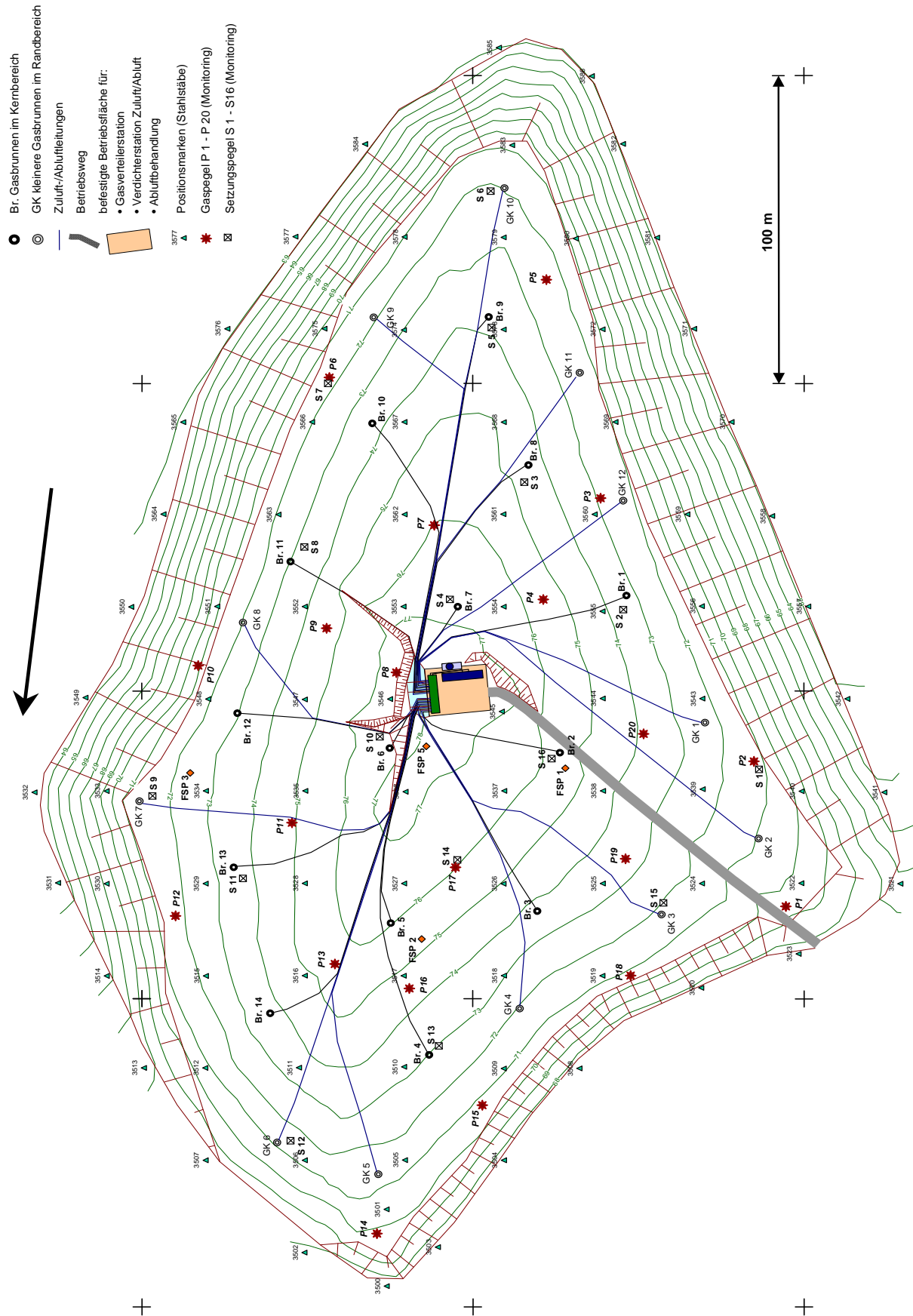


Abb. 2.1: Anordnung der Gasbrunnen, Leitungen und Belüftungsanlagen, Gas- und Setzungspegel zur aeroben in situ Stabilisierung der Deponie Milmersdorf

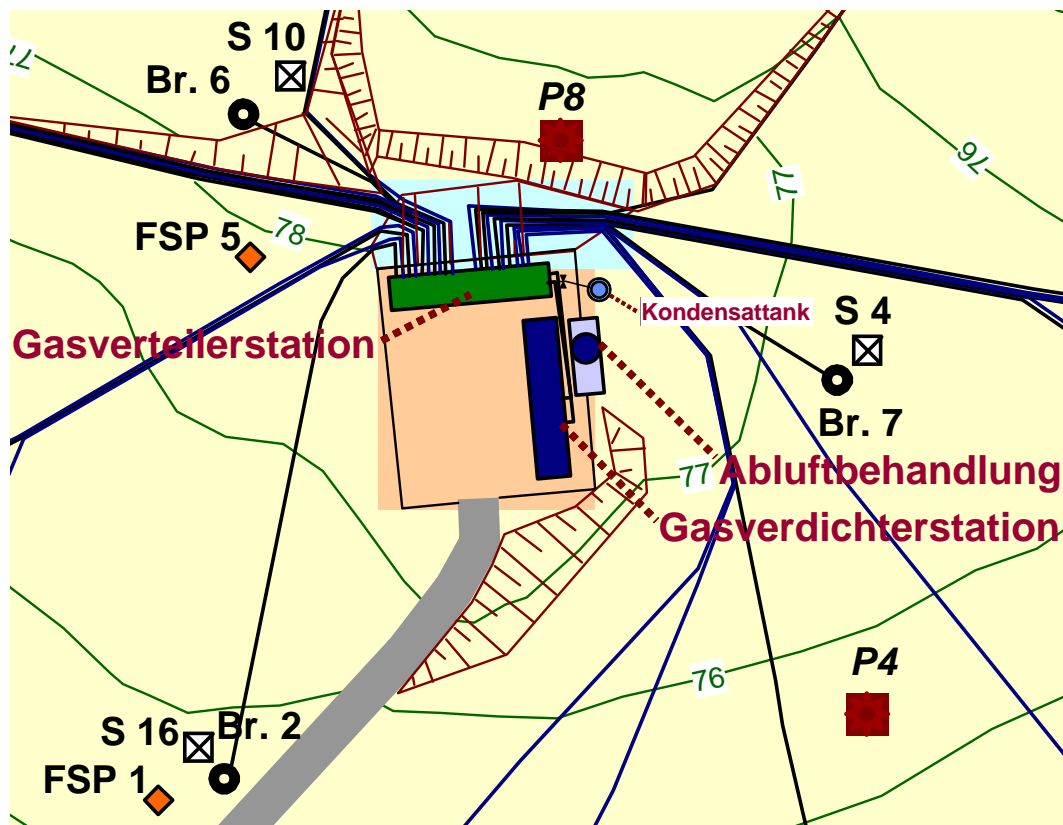


Abb. 2.2: Betriebsfläche im Kuppenbereich der Deponie Milmersdorf: Gasverteilerstation, Gasverdichterstation, Abluftreinigungsanlage und Kondensatabscheidung

2.3 Übersaugungsverfahren

Neben der Niederdruckbelüftung mit einer aktiven Luftzugabe gibt es weitere Verfahren zur biologischen in situ Stabilisierung, z.B. Hochdruckbelüftungs- und Übersaugungsverfahren. So können unter bestimmten Randbedingungen Übersaugungsverfahren eingesetzt werden, bei denen der Aerobisierungseffekt durch einen Absaugbetrieb mit Einsaugen des Luftsauerstoffs über die Deponieoberfläche erreicht werden soll.

Dieses Vorgehen zur Stabilisierung und gastechnischen Sanierung wird u.a. an folgenden Altablagerungen eingesetzt:

- Altablagerung Schenefeld, Kreis Pinneberg – Schleswig-Holstein
- Altablagerung Barsbüttel, Kreis Stormarn – Schleswig-Holstein
- Altablagerung Kiel-Drachensee, Stadt Kiel – Schleswig-Holstein

Die Situation dieser Standorte war durch folgende Ausgangsbedingungen gekennzeichnet:

- Gefährdung der Bebauung durch migrierendes Deponiegas, sowohl für Wohnbebauung wie gewerbliche Nutzung
- fehlende technische Barrieren, wo nachträgliche Sicherungsmaßnahmen (Oberflächenabdichtung, vertikale Dichtwände, Rückbau etc.) zu kostenintensiv oder technisch nicht durchführbar gewesen wären
- Wesentliche Voraussetzung für den Einsatz der passiven Belüftung durch Übersaugung war der Umstand, dass die Ablagerungen von vergleichsweise geringer Mächtigkeit sind, so dass über die Tiefe des Deponiekörpers eine ausreichende Sauerstoffversorgung erzielt werden kann.

2.4 Abluftreinigung

In der neuen Deponieverordnung wird eine an die Abluftbeschaffenheit angepasste Abluftbehandlung gefordert, sodass schädliche Emissionen weitgehend vermieden werden.

Grundsätzlich kann die belastete Abluft zu Beginn über eine herkömmliche Hochtemperaturfackel, anschließend über eine Hochtemperatur-Schwachgasfackel und über nichtkatalytische, autotherme Verfahren oder Biofilter sowie durch Adsorption an Aktivkohle gereinigt werden. In der ersten Phase der aeroben in situ Stabilisierung, in der eine Gasabsaugung bzw. Übersaugung des Deponiekörpers möglich ist, kann bei Methangehalten bis ca. 10 Vol.-% eine Hochtemperatur-Schwachgasfackel eingesetzt werden. In der zweiten Stabilisierungsphase, wenn die Abluftbelastungen infolge einer weitgehenden Aerobisierung des Deponiekörpers soweit abgenommen haben, dass nur noch geringe Restmethangehalte in der erfassten Abluft vorhanden sind, wird häufig ein nichtkatalytisches, autothermes Oxidationsverfahren (RTO) zur Abluftreinigung eingesetzt. Bei noch geringen Abluftbelastungen wie z.B. bei Altablagerungen im Übersaugungsbetrieb werden auch Biofilter vornehmlich zur Geruchselimination genutzt.

Zur flexiblen Anpassung der Abluftreinigungstechnik an die veränderliche Abluftbeschaffenheit und zur Reduzierung der Kosten wird von den Deponiebetreibern im Regelfall ein Miet- bzw. Dienstleistungsmodell zur Abluftreinigung gewählt.

3 Voruntersuchungen und Nachweis relevanter Mengen noch biologisch abbaubarer organischer Substanz im Deponiekörper

3.1 Voruntersuchungen zum Deponieverhalten und zum Deponieinventar

Es ist grundsätzlich sinnvoll, zur Festlegung der geeigneten Stilllegungsmaßnahmen und deren Planung und Realisierung Kenntnisse zur Beschaffenheit des Abfallkörpers zu erhalten. Angaben zur Feststoffbeschaffenheit und zur biologischen Aktivität unter anaeroben wie aeroben Milieubedingungen können z.B. durch Bohrungen im Deponiekörper, Feststoffprobenahmen und Laboruntersuchungen gewonnen werden. Das Ziel der Untersuchungen umfasst die Ermittlung des Wasserhaushalts, den Nachweis relevanter Mengen noch biologisch abbaubarer organischer Abfallanteile, die Abschätzung der erforderlichen Belüftungsraten und der potenziellen Setzungen mit und ohne Belüftung.

In Abbildung 3.1 sind die Ergebnisse der Wassergehalte, Kohlenstoffgehalte und Atmungsaktivitäten von Abfallfeststoffproben unterschiedlicher Deponien und Altablagerungen (Standorte A – P) in Abhängigkeit der Ablagerungsdauer aufgetragen. Sie weisen auf Folgendes hin:

- Wassergehalte unter 25% FM, besonders unter 20% FM (Feuchtmasse) können anaerobe Abbauprozesse deutlich einschränken, aber auch auf aerobe Abbauprozesse limitierend wirken. In zu trockenen Bereichen oder Bereichen mit noch erheblichen biologisch verfügbaren Abfallbestandteilen kann eine Infiltrationsmaßnahme zur Erhöhung des Wassergehalts und der Wasserbewegung im Deponiekörper durchgeführt werden, um die biologische Stabilisierung zu intensivieren.
- Wassergehalte > 40% FM treten eher bei Abfallproben aus tieferen Ablagerungshorizonten auf, wo bei mehreren Deponien eine Wassersättigung des Porenvolumens festgestellt wurde. Auch dort laufen anaerobe Abbauprozesse oft eingeschränkt ab.

Für aerobe Abbauprozesse wird die Belüftung und Sauerstoffversorgung aufgrund des wassergefüllten Porenvolumens schwierig. Die meisten Deponiebereiche und Altablagerungen weisen jedoch ausreichende bis günstige Bedingung des Wasserhaushalts zur Belüftung auf.

- Beim Kohlenstoffgehalt ist eine tendenzielle Abnahme über die Ablagerungsdauer erkennbar, die den Abbau des biologisch verfügbaren Kohlenstoffanteils widerspiegelt. Auch mittel- bis langfristig bleibt ein Anteil aus schwer- und nicht abbaubaren Kohlenstoffen erhalten (z.B. Kunststoffe).
- Zwischen den Feststoffproben innerhalb eines räumlich begrenzten Deponieabschnitts können durchaus beträchtliche Unterschiede der biologischen Aktivität bestehen, wie es am Kohlenstoffgehalt der Abfallfeststoffproben einzelner Deponieabschnitte erkennbar ist.

Die Atmungsaktivitäten von Abfallfeststoffproben aus Deponien erlauben eine Einschätzung der biologischen Stabilisierungsprozesse vom Zeitpunkt der Ablagerung bis zur Feststoffprobenahme und in Verbindung mit dem TOC im Feststoff den Nachweis der biologisch noch abbaubaren organischen Substanz. Die Übersicht in Abbildung 3.1 zeigt:

- Nach dem Standard-Messzeitraum von 96 Stunden im Respirationsversuch liegt die Atmungsaktivität der Feststoffproben der Deponien schon nach etwa 10 Jahren Ablagerungsdauer überwiegend unter $10 \text{ mgO}_2/\text{gTS}$. Die Ergebnisse bestätigen in ihrer Gesamtheit, dass auf der einen Seite bereits ein weitgehender biologischer anaerober Abbau stattgefunden hat, andererseits aber noch biologisch abbaubare Stoffe vorhanden sind, die unter anaeroben Milieubedingungen zu einer langfristigen Schwachgasbildung führen, so dass ohne eine Belüftung eine langfristige Erfassung und Behandlung des Deponiegases erforderlich werden würde.
- Bei der biologischen Aktivität aller untersuchten Deponieabschnitte ist insgesamt ein zeitabhängiger Abnahmetrend zu erkennen. Dabei gibt es immer wieder Einzelwerte, die deutlich über den Ergebnissen der übrigen Feststoffproben eines Deponieabschnittes liegen können.
- Über mathematische Regressions- und Extrapolationsrechnungen können die maximalen Sauerstoffverbrauchswerte der Feststoffproben ermittelt und der daraus erforderliche Netto-Belüftungsbedarf abgeleitet werden. Darüber lässt sich zudem der biologisch abbaubare organische Anteil quantifizieren.

Aus den Ergebnissen zum Sauerstoffverbrauch der Abfallfeststoffproben im Respirometer in Verbindung mit der Bewertung des Wasserhaushalts eines Deponiebereiches können folgende Angaben abgeleitet werden:

- ob und inwieweit eine biologische Stabilisierung des Deponiekörpers durch eine Belüftung grundsätzlich möglich ist und
- ob der Wasserhaushalt der untersuchten Deponieabschnitte die biologischen Stabilisierungsprozesse unter aeroben oder auch anaeroben Milieubedingungen limitieren oder befördern kann.

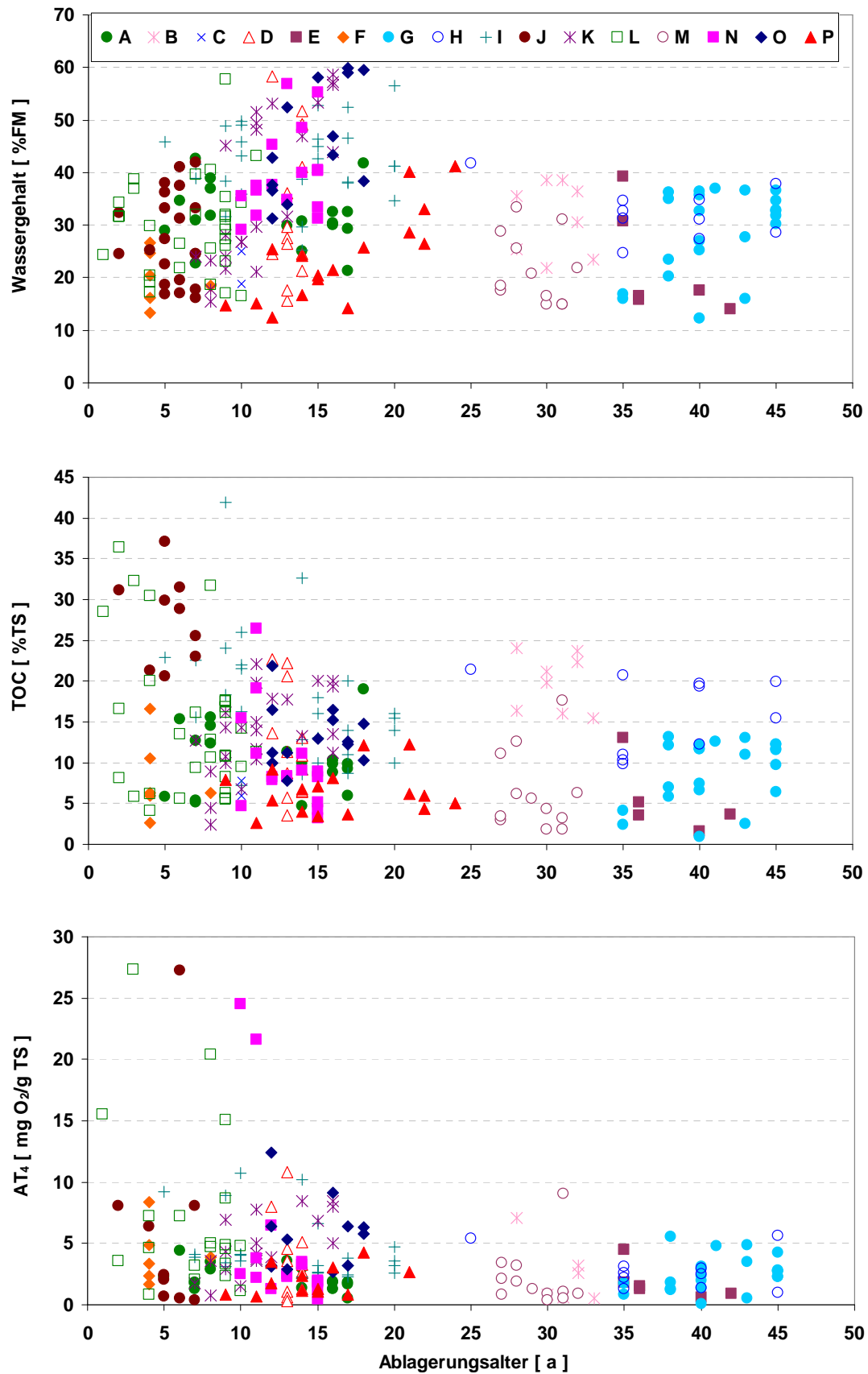


Abb. 3.1: Wassergehalte, Kohlenstoffgehalte und Atmungsaktivitäten von Abfallfeststoffproben unterschiedlicher Deponien und Ablagerungen (A – P) in Abhängigkeit der Ablagerungsdauer

3.2 Voruntersuchungen zur aeroben in situ Stabilisierung im Deponiekörper

Im Regelfall werden als nächster Schritt Voruntersuchungen im Deponiekörper der zu stabilisierenden Deponiebereiche durchgeführt. Damit sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Ist es technisch möglich, ausreichende Luftmengen in den Deponiekörper einzubringen?
- Wie breitet sich die eingebrachte Luft im Deponiekörper aus?
- Welche Auswirkungen hat die Luftzugabe auf den Gashaushalt des Deponiekörpers?

Die Voruntersuchungen zur Beantwortung dieser Fragen führen zur standortbezogenen Planung und Dimensionierung der technischen Einrichtungen, der betrieblichen Vorgaben sowie der Kostenabschätzung.

Die Belüftungsversuche erfolgen mit einer mobilen Belüftungsanlage über wenige Wochen, wobei zum Lufteintrag häufig bestehende Gasbrunnen genutzt werden können.

Die Untersuchungen an mehreren Altdeponien der Klasse II haben gezeigt, dass eine Niederdruckbelüftung über herkömmliche Gasbrunnen, z.B. bereits bestehende Gasbrunnen, möglich bzw. geeignet ist. Sofern ergänzende Gasbrunnen nachgerüstet werden müssen, können sie technisch auf den Belüftungsbetrieb abgestimmt werden, um so die Effektivität des Belüftungsprozesses zu steigern.

Die Voruntersuchungen wie auch die Betriebserfahrungen der laufenden Projekte zeigen weiterhin, dass es erforderlich ist, auch bzw. gerade in die tieferen Deponiebereiche durch eine aktive Luftzugabe ausreichend Luftsauerstoff einzubringen. Bei Ablagerungsmächtigkeit > 10 m wird daher in der Regel eine aktive, z.T. tiefendifferenzierte Luftzuführung empfohlen.

4 Kontrollen zum Deponieverhalten im Stabilisierungsbetrieb

4.1 Monitoring- und betriebliche Maßnahmen

Als weitere Mindestanforderung der Deponieverordnung sind der Wasserhaushalt, Gashaushalt, die Temperaturentwicklung und Setzungen des Deponiekörpers zu kontrollieren, um nachzuweisen, dass keine nachteiligen Auswirkungen auf den Deponiekörper und die Umwelt auftreten und ausreichend intensivierte oder beschleunigte biologische Abbauprozesse stattfinden.

Für die erfolgreiche Ausführung der in situ Stabilisierung ist demnach ein qualifizierter Belüftungsbetrieb und eine ingenieurtechnische Betreuung mit einem auf die Stabilisierungsmaßnahme angepassten Monitoringprogramm unerlässlich. Dies umfasst u.a.:

- Erfassung der Betriebswerte, regelmäßige Durchführung der Monitoringmaßnahmen zur Erfassung des Stabilisierungsverlaufs und Erfolgskontrolle
- Kontinuierliche Dokumentation und Auswertung des Stabilisierungsbetriebs
- Steuerung und Optimierung des Stabilisierungsprozesses
- Berichtswesen (u.a. Nachweisführung für Genehmigungs- und Überwachungsbehörde)
- Nachsorgekonzeption (u.a. nutzungsbezogen) zum Abschluss der in situ Stabilisierung

4.2 Prozesse und Auswirkungen bei der aeroben in situ Stabilisierung auf das Deponieverhalten

Der in situ Belüftungsbetrieb ist bei durchschnittlichen Deponiebedingungen für einen Zeitraum von 3 bis 6 Jahren vorgesehen. Grundsätzlich laufen bei der Belüftung folgende Prozesse im Deponiekörper ab:

- Es findet eine Umstellung von anaeroben auf aerobe Milieubedingungen statt, die einen beschleunigten und teilweise weiter gehenden Abbau der bioverfügbaren Abfallbestandteile zur Folge hat.
- Im Sickerwasserpfad tritt durch die Belüftung mit dem aeroben Abbau organischer Verbindungen und der Freisetzung in die Gasphase (hauptsächlich als Kohlendioxid) eine beschleunigte Abnahme der Parameter CSB und vor allem BSB₅ sowie des Stickstoffs (TKN bzw. NH₄-N) auf.
- Die Nachsorgezeiträume für den Emissionspfad Sickerwasser verkürzen sich bei der in situ Belüftung gegenüber strikt anaeroben Bedingungen daher mindestens um mehrere Jahrzehnte.
- Organische Verbindungen bestehen zum Ende der Stabilisierung nur noch aus schwer- oder nicht abbaubaren organischen Verbindungen mit sehr geringem Restgaspotenzial.
- Infolge der beschleunigten biologischen Abbauprozesse werden auch die Hauptsetzungen beschleunigt vorweggenommen.

Nähere Ergebnisse insbesondere der Altdeponie Kuhstedt wurden für diese Deponiefachtagung im ersten Teilbeitrag zur aeroben in situ Stabilisierung von RITZKOWSKI et al. vorgestellt (siehe auch RITZKOWSKI et al., 2007; HEYER, 2003).

4.3 Nachweis ausreichend intensivierter oder beschleunigter biologischer Abbauprozesse

Zum Nachweis ausreichend intensivierter oder beschleunigter biologischer Abbauprozesse kann der Kohlenstoffumsatz und –austrag über den Gaspfad als Maß herangezogen werden. Zum Vergleich und zur Einordnung der Auswirkungen der aeroben in situ Stabilisierung am Beispiel der Deponie Milmersdorf wird der Kohlenstoffaustrag abgeschätzt, der sich unter durchschnittlichen anaeroben Milieubedingungen ergeben würde. Dazu werden Ergebnisse von Gasprognoserechnungen und eines Gasabsaugversuchs herangezogen (Abb. 4.1).

Der Kohlenstoffaustrag infolge der aeroben in situ Stabilisierung der Deponie Milmersdorf lag zum Abschluss des Stabilisierungsbetriebs bei etwa 3.900 Mg C_{bio.} (bioverfügbarer Kohlenstoff im Abfallfeststoff). Diese Kohlenstofffracht zeigt, dass:

- eine beschleunigte Umsetzung der bioverfügbaren Restorganik im Deponiekörper stattgefunden hat,
- von April 2002 bis Juni 2006 über 90 % des gesamten bioverfügbaren Kohlenstoffpotenzials im Deponiekörper von 3.900 bis max. 4.300 Mg C_{bio.} kontrolliert mobilisiert und ausgetragen wurde,
- der Beschleunigungsfaktor, ausgedrückt als Kohlenstoffaustrag pro Zeiteinheit, mindestens bei etwa 3 bis 6 gegenüber anaeroben Milieubedingungen lag.

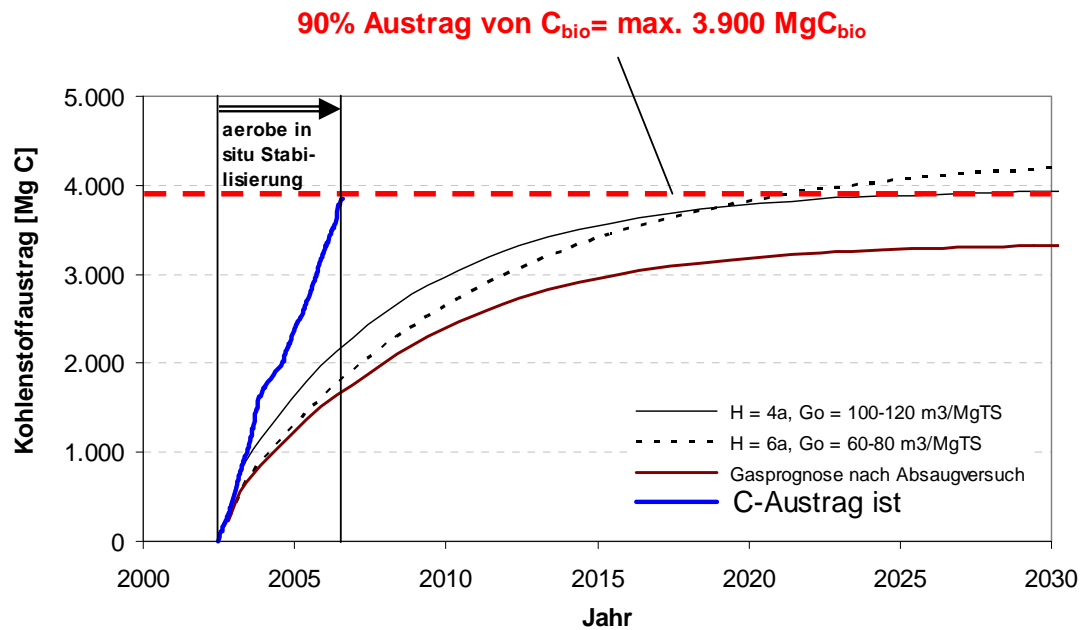


Abb. 4.1: Über den Gaspfad austragbarer, biologisch umsetzbarer Kohlenstoff unter anaeroben Milieubedingungen (aus Gasabsaugversuch und Gasprognosen), Vergleich mit tatsächlichem Kohlenstoffaustrag (C-Austrag ist) infolge der aeroben in situ Stabilisierung auf der Deponie Milmersdorf im Zeitraum 2002 - 2006

Zum Abschluss der aeroben in situ Stabilisierung wird im Regelfall eine Qualität des Gashaushalts hinsichtlich der Restemissionen erreicht, die nach den Vorschlägen des UFOPLAN-Vorhabens „Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“, die im Zuge der neuen Deponieverordnung erarbeitet wurden, bereits eine Entlassung aus der Nachsorge erlauben würde (STEGMANN et al., 2006). So konnte zum Abschluss der aeroben in situ Stabilisierung auf den Deponien Kuhstedt und Milmersdorf nachgewiesen werden, dass die Restgasemissionen $5 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}\cdot\text{h}$ unterschreiten und demzufolge weniger als $0,5 \text{ l CH}_4 / (\text{m}^2\cdot\text{h})$ über die Deponieoberfläche abgegeben werden.

5 Kosten der aeroben in situ Stabilisierung und Kosteneinsparpotenziale

5.1 Kosten

Kostenabschätzungen ergeben bei günstigen bis durchschnittlichen Standortrahmenbedingungen und optimiertem Stabilisierungsbetrieb Grundkosten in der Größenordnung von ca. $0,5 - 1 \text{ €/m}^3$ Deponieinhalt. Bei ungünstigen Rahmenbedingungen (z.B. sehr kleine Altdeponien ohne bestehende Infrastruktur) können die Kosten auf $2 - 3 \text{ €/m}^3$ Deponieinhalt ansteigen.

Für größere Altdeponien der Klasse II ergeben sich Grundkosten von $0,5 - 1 \text{ €/m}^3$. Damit sind die Investitionskosten z.B. für ergänzende Gasbrunnen und Gasleitungssysteme, die Mietkosten z.B. für die Gasverdichterstation und die Abluftreinigung und Betriebskosten für etwa 3 Jahre abgedeckt.

5.2 Kosteneinsparpotenziale

Den Kosten für die aerobe in situ Stabilisierung mit der Niederdruckbelüftung stehen beträchtliche Einsparmöglichkeiten in der Deponiestilllegung und Nachsorge gegenüber:

- bei geordneten Deponien mit Basisabdichtung geringere Betriebskosten bei der Sickerwasserreinigung, frühere Beendigung der Sickerwasserreinigung
- Vermeidung langandauernder diffuser Gasemissionen, die eine Schwachgasbehandlung erfordern können, u.U. Explosionsgefahren hervorrufen können und die Atmosphäre belasten.
- Verkürzung der Nachsorgephase um mehrere Jahrzehnte
- Ersatz einer kostenintensiven Oberflächenabdichtung durch an den emissionsarmen Deponiekörper angepasste und langlebige Oberflächenabdichtung, geringere Kosten für Investitionen und Instandhaltung (Anhang 1 der neuen DepVereinV)
- bei Altablagerungen geringerer Aufwand bei einer Grundwassersanierung und bei technischen Sicherungsmaßnahmen
- frühere Rekultivierung und höherwertige Folgenutzung

In Tabelle 5.1 sind beispielhaft die Kosten und Kosteneinsparpotenziale für eine Deponie, die ab 2009 aerob stabilisiert werden soll, aufgeführt.

Tab. 5.1: Kosten und Kosteneinsparpotenziale bei der aeroben in situ Stabilisierung einer Deponie mit der Niederdruck-Belüftung

	Kosten ohne in situ Stabilisierung	Kosten mit in situ Stabilisierung
Gesamtkosten in situ Stabilisierung (2009 – 2013)	-	0,68 – 0,97 Mio. €
Deponieschwachgasreinigungsanlage	0,15 Mio. €	-
Deponiegasbehandlung ab 2008 (Schwachgasbehandlung)	0,3 Mio. €	0,06 Mio. €
Sickerwasserreinigung 2013 – 2033	2,0 Mio. €	1,4 Mio. €
Investitionen Oberflächenabdichtungssystem	4,5 Mio. € (ab 2011)	3,25 Mio. € (ab 2013)
Unterhaltung Oberflächenabdichtungssystem	0,4 Mio. €	0,2 Mio. €
Gesamtkostenrahmen	7,35 Mio. €	5,59 – 5,88 Mio. €
Kosteneinsparpotenzial durch aerobe in situ Stabilisierung (mindestens)		1,5 – 1,8 Mio. €

Bei konservativen Annahmen zur mittel- und langfristigen Reduzierung der Stilllegungs- und Nachsorgekosten ergeben sich Einsparpotenziale von mindestens 1,5 – 1,8 Mio. € bzw. 20 – 25% der ursprünglich veranschlagten Kosten. Es handelt sich insofern um eine Abschätzung, da einige Kostensenkungen erst mittelfristig in der weiteren Stilllegung und Nachsorge realisiert werden können. Aufgrund des erfolgreichen Abschlusses der aeroben in situ Stabilisierung konnten die Kosteneinsparungen bei der abschließenden Aufbringung der Oberflächenabdichtung wie bei der Deponie Milmersdorf bereits realisiert werden.

6 Zusammenfassung

Mit der aeroben in situ Stabilisierung von Deponien und Altablagerungen wird das Ziel verfolgt, die Schadstoffemissionen der abgelagerten Abfälle mit hohen biologisch abbaubaren organischen Anteilen nachhaltig und kontrolliert zu vermindern und den Aufwand wie die Dauer von Deponienachsorgemaßnahmen zu reduzieren.

Aufgrund der vorliegenden positiven Ergebnisse zur Emissionsreduzierung bei Einsatz der Niederdruckbelüftung haben die verfahrensgebenden Autoren (IFAS) die Integration der aeroben in situ Stabilisierung in die neue Deponieverordnung (DepVereinfV) vorgeschlagen und dazu insbesondere die Ergebnisse des BMBF-Vorhabens der Altdeponie Kuhstedt herangezogen. Dieser Vorschlag wurde in die neue Deponieverordnung aufgenommen, und es wurden Mindestanforderungen an das Verfahren festgelegt.

Insbesondere mit der Niederdruckbelüftung besteht die Möglichkeit, diese Mindestanforderungen technisch und wirtschaftlich umzusetzen und die gewünschte Verbesserung des Deponieverhaltens zu erzielen. So wurde die aerobe in situ Stabilisierung mit diesem Verfahren zwischen 2000 und 2007 auf drei Deponien und Altablagerungen erfolgreich umgesetzt, u.a. auf der Milmersdorf im Landkreis Uckermark, Brandenburg. Es wird nunmehr auch auf größeren, basisgedichteten Altdeponien der Klasse II eingesetzt, die in den letzten Jahren geschlossen wurden, u.a. auf der Deponie Dörentrup in Nordrhein-Westfalen.

Die aerobe in situ Stabilisierung bildet somit eine wesentliche Maßnahme innerhalb des gesamten Stilllegungs- und Nachsorgekonzepts. Von daher werden Voruntersuchungen mit einer qualifizierten Erfassung des Ist-Stands, des aktuellen Emissionsverhaltens sowie einer Prognose bzw. Voruntersuchungen zum zukünftigen, langfristigen Emissionsverhalten, was die Bestimmung bzw. den Nachweis relevanter biologisch abbaubarer organischer Anteile im Deponiekörper einschließt, empfohlen.

In Abhängigkeiten der Deponierandbedingungen und des technischen wie betrieblichen Belüftungsaufwands können Kosten zwischen 0,5 und 3 €/je m³ zu stabilisierendem Depo-
nievolumen entstehen, bei größeren Deponien sind Grundkosten von 0,5-1 €/je m³ zu erwarten. Gesamtkostenbetrachtungen zeigen, dass bei Einsatz der Stabilisierung insgesamt Kostenreduzierungen zur Stilllegung und Nachsorge bis 25% möglich sind, da sich Investitionskosten sowie Betrieb und Unterhaltung wie die Dauer der Nachsorge deutlich verringern.

Die aerobe in situ Stabilisierung mit der Niederdruckbelüftung ist daher ein Verfahren, das zukünftig auf vielen Deponien aus Gründen der beschleunigten und kontrollierten Emissionsreduzierung wie auch aus Wirtschaftlichkeitserwägungen heraus Anwendung finden kann.

7 Literatur

DEPV (Deponieverordnung; 2002) : Verordnung über Deponien und Langzeitlager vom 24. Juli 2002

DEPVEREINFV (2008): Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts, Stand 19.12.2008

HEYER, K.-U. (2003): Emissionsreduzierung in der Deponienachsorge. Hamburger Berichte Band 21, Verlag Abfall aktuell, Stuttgart

RITZKOWSKI, M., STEGMANN, R. (2007): Ergebnisse des Monitoringprogramms und der wissenschaftlichen Begleitung im BMBF-Verbundvorhaben „Beschleunigte aerobe in situ Stabilisierung der Altdeponie Kuhstedt zur Minderung des Kosten- und Nachsorgeaufwandes“, Tagungsband zum BMBF-Workshop "Aerobe in situ Stabilisierung von Altablagerungen und Deponien – Stabilisierung der Altdeponie Kuhstedt erfolgreich abgeschlossen", 15.11.2007 Rotenburg (Wümme)

STEGMANN, R., HUPE, K., HEYER, K.-U. (2000): Verfahren zur abgestuften beschleunigten in situ Stabilisierung von Deponien und Altablagerungen. Patent Nr. 10005243. Deutsches Patent- und Markenamt, München.

STEGMANN, R., HEYER, K.-U., HUPE, K., WILLAND, A. (2006): „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

Autoren:

Dr.-Ing. Kai-Uwe Heyer

Tel.: 040 / 77 11 07 42

Dr.-Ing. Karsten Hupe

Tel.: 040 / 77 11 07 41

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stegmann

Fax: 040 / 77 11 07 43

IFAS - Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft

Prof. R. Stegmann und Partner

Schellerdamm 19 – 21

21079 Hamburg

Email: info@ifas-hamburg.de

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