

Neue Erfahrungen mit der Belüftung und der Übersaugung von Deponien zur Steuerung des Gashaushalts

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

1 Aerobe in situ Stabilisierung zur Stilllegung und Nachsorge von Deponien

Viele Deponien stehen nach Ablauf der Übergangsfristen zum 31.05.2005 unmittelbar vor der Schließung. Für diese Deponien werden derzeit Stilllegungs- und Nachsorgekonzepte erarbeitet, die in Verbindung mit der Stilllegungsanzeige in einen verbindlichen Stilllegungsplan überführt werden.

Die Auswahl geeigneter technischer Maßnahmen zur Deponiestilllegung erfolgt neben den rechtlichen Anforderungen unter Berücksichtigung der Standortbedingungen, der Schutzgutsituation und der Nachsorgeziele bzw. der Folgenutzung.

Durch die technischen Maßnahmen wie

- Aufbringung temporärer Abdeckungen
- Sickerwasserfassung- und -behandlung
- Deponiegaserfassung- und -behandlung
- Wasserinfiltration
- **aerobe in situ Stabilisierung**
- abschließende Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung

soll die Emissionssituation nachhaltig verbessert werden. Das bedeutet, dass Emissionsminderungen gegenüber der Ausgangssituation erreicht und dauerhaft gesichert werden, um die Deponie früher aus der Nachsorge entlassen zu können. Schadstofffrachten über den Sickerwasser- und Deponiegaspfad, die Auswirkungen auf Schutzgüter haben, werden insbesondere durch die aerobe in situ Stabilisierung, die Belüftung des Deponiekörpers, weitgehend und kontrolliert reduziert.

Umfangreiche wissenschaftliche Begleituntersuchungen belegen, dass eine derartige Verbesserung des Emissions- und Setzungsverhaltens von Deponien möglich ist, wenn die Belüftungstechnik auf die Bedingungen des Deponiekörpers angepasst und qualifiziert betrieben wird (Ritzkowski et al., 2005, Heyer, 2003). Für diese Zielstellung wurde zum einen die Niederdruckbelüftung entwickelt, die bereits seit mehreren Jahren auf Deponien und Altablagerungen eingesetzt wird. Ihr Einsatz auf größeren TASI II-Deponien, die u.a. eine große Ablagerungsmächtigkeit aufweisen und mit einer Basisabdichtung ausgestattet sind, steht unmittelbar bevor. Zum anderen können Übersaugungsverfahren eingesetzt werden, sofern der Deponiekörper hierfür ganz bestimmte Randbedingungen erfüllt.

Im Folgenden werden aktuelle Erfahrungen zur Niederdruckbelüftung und Übersaugung an unterschiedlichen Deponien und Altablagerungen vorgestellt. Dabei zeichnet sich gerade bei den größeren TASI II-Deponien ab, dass durch die aerobe in situ Stabilisierung beträchtliche Kosten für die weiteren Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen eingespart werden können.

2 Deponiebelüftung: Entwicklungsstand und Einsatzbereiche

2.1 Niederdruckbelüftung

Die Niederdruckbelüftung wurde an der TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Abfallwirtschaft, über nunmehr 10 Jahre wissenschaftlich untersucht und weiter entwickelt. Die Technik und der Belüftungsbetrieb wurden u.a. bei den Trierer Tagungen 2001 und 2003 (Heyer et al., 2001, 2003) eingehend vorgestellt.

Das technische Grundkonzept 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 über weitere Gasbrunnen 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).

Zum **Stabilisierungsbetrieb** mit einer Niederdruckbelüftung liegen bereits Erfahrungen von mehreren Siedlungsabfalldeponien und Altablagerungen vor:

- Altdeponie Kuhstedt, Landkreis Rotenburg (Wümme) – Niedersachsen, BMBF-Vorhaben (mit Testfeldern zur Überprüfung alternativer Oberflächenabdichtungen) seit 2000
- Altdeponie Amberg-Neumühle – Bayern seit 2001
- Altdeponie Milmersdorf, Landkreis Uckermark – Brandenburg seit 2002

Diese Stabilisierungsmaßnahmen werden öffentlich gefördert. Daher wurde die Niederdruckbelüftung jeweils wissenschaftlich, technisch und finanziell „auf Herz und Nieren“ geprüft, bevor das Verfahren mit öffentlichen Mitteln zum Einsatz gebracht wurde.

Weiterhin wurden **Belüftungsvoruntersuchungen** an größeren TASI II Deponien und Altablagerungen durchgeführt, um dort die Niederdruckbelüftung standortspezifisch zu bemessen und technisch wie zur Betriebsführung auf die Standortbedingungen anzupassen, u.a.:

- TASI II: Deponie Dörentrup, ABG Lippe, Kreis Lemgo, Nordrhein-Westfalen
- TASI II: Deponie Leppe, BAV Leppe, Bergisches Land, Nordrhein-Westfalen
- Altablagerung: Übergangsdeponie Schwalbach-Griesborn, Saarland
- Altablagerung: Altablagerung Römerstraße, Stadt Memmingen, Bayern

Die Situation dieser Deponien oder einzelner Deponieabschnitte ist von folgenden Ausgangsbedingungen geprägt:

- nur noch geringe Deponiegasproduktion (Erfassung und Behandlung noch erforderlich, aber in Kürze keine wirtschaftliche Verwertung des Energieträgers Methan mehr möglich), Vermeidung einer langfristigen, kostenintensiven Schwachgasbehandlung
- vor Aufbringung einer Oberflächenabdichtung und im Hinblick auf eine höherwertige Folgenutzung Vorwegnahme der Hauptsetzungen erforderlich
- bei diesen Deponien mit Basisabdichtung: stagnierende Sickerwasserbelastungen, die langfristig die Anforderungen des 51. Anhangs der AbwV überschreiten und daher eine beschleunigte Reduzierung erfordern

2.2 Übersaugungsverfahren

Bei den Übersaugungsverfahren soll der Aerobisierungseffekt durch einen Absaugbetrieb mit Einsaugen des Luftsauerstoffs über die Deponieoberfläche erreicht werden.

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 Randbedingungen gekennzeichnet:

- Gefährdung der Bebauung durch migrierendes Deponiegas, sowohl für Wohnbebauung wie gewerbliche Nutzung
- z.T. erhebliche Setzungen, die die Nutzung der Bebauung und der Altablagerung einschränkten oder sogar ganz unmöglich machten, so dass eine Absiedelung und ein Abriss von Gebäuden erforderlich wurde
- fehlende technische Barrieren, wo nachträgliche Sicherungsmaßnahmen (Oberflächenabdichtung, vertikale Dichtwände, Rückbau etc.) zu kostenintensiv oder technisch nicht durchführbar 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.

3 Vorgehen zum Einsatz der aeroben in situ Stabilisierung

Die aerobe in situ Stabilisierung ist ein Glied in der Maßnahmenkette zur Stilllegung einer Deponie. Von daher ist die standortbezogene Erarbeitung eines Gesamtkonzepts zur Stilllegung sinnvoll.

3.1 Konzeptionelle Einbindung der in situ Stabilisierung in die Deponiestilllegung

Zur konzeptionellen Einbindung der in situ Stabilisierung in die Stilllegungsphase sollten folgende Aspekte aufbereitet werden:

- **Erfassung des Ist-Zustands**
Ablagerungsfläche, Ablagerungsvolumen, Kubatur, Mächtigkeit der Ablagerung in Kuppen und Böschungsbereichen
 - **Abdichtungssysteme**
Basisabdichtung, bestehende temporäre Abdeckungen oder endgültige Abdichtungen, ggf. Bebauungs- und Nutzungssituation
 - **Sickerwasserfassung**
 - **Deponiegaserfassung**
 - **Beschaffenheit der abgelagerten Abfallstoffe**
Ablagerungsalter, Abfallzusammensetzung, soweit vorhanden, aktuelle Ergebnisse zur Abfallbeschaffenheit aufgrund von z.B. Schürfen oder Abfallfeststoffprobenahmen
 - **Aktuelles Deponieverhalten und Prognose des zukünftigen Emissionsverhaltens in Abhängigkeit der Stilllegungsmaßnahmen**
 - Zukünftiger Wasserhaushalt, Emissionsverhalten über den Wasserpfad mit zukünftiger Entwicklung der Sickerwassermenge und –beschaffenheit
 - Setzungen
 - Deponiegashaushalt und Deponiegasprognose
- Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Ergebnisse einer Gasprognose für einen älteren Deponieabschnitt einer TAsi II-Deponie, der in den nächsten Jahren aerob stabilisiert werden soll. Dazu wurden die Halbwertszeit und die Gesamtgaspotenziale variiert, um die Unsicherheit bezüglich der Beschaffenheit der abgelagerten Abfälle und der Milieubedingungen zu berücksichtigen. Nach der Gasprognose nimmt die Gasproduktion dort bereits kontinuierlich ab und liegt derzeit bei 150 - 250 m³/h. Schon in wenigen Jahren kann sie unter 100 m³/h abfallen, zudem wird sich die Methankonzentration eher verschlechtern. Folglich wird dort durch regelmäßige Monitoringmessungen geprüft und ergänzende Voruntersuchungen abgeklärt, wie sich der Deponieabschnitt verhält, wie lange eine Gasverwertung noch möglich ist und wann und wie die aerobe in situ Stabilisierung umzusetzen ist.
- **Schlussfolgerungen zum Emissionsverhalten und zu Stabilisierungsmaßnahmen**
Ob und in welchem Maße die prognostizierten Emissionen über den Wasser- und Gaspfad mobilisiert und ausgetragen werden, hängt entscheidend vom Wasserhaushalt des Deponiekörpers ab, der wiederum maßgeblich von der Art des Oberflächenabdichtungssystems und vom Umfang der Stabilisierungsmaßnahmen (Infiltration und Belüftung) bestimmt wird. Bei einer vollständig undurchlässigen Abdichtung würde es ohne Infiltrationsmaßnahmen kurz- bis mittelfristig zu einem Einbruch der biologischen Abbauprozesse bzw. der biologischen Stabilisierung kommen. Anaerobe Abbauprozesse und die Deponiegasproduktion kämen zum Erliegen. Bei einer derartigen Trockenkonservierung auf Zeit würden die Stoff- bzw.

Emissionspotenziale zwar vorerst im Deponiekörper verbleiben, mittel- oder langfristig bei schadhafter Oberflächenabdichtung allerdings unkontrolliert freigesetzt werden können.

Die Abschätzung der Dauer und des Aufwands der Deponienachsorge legt den Schluss nahe, dass bereits die Deponiestilllegung so gestaltet werden sollte, dass ein großer Anteil des mobilisierbaren Restemissionspotenzials weitgehend kontrolliert freigesetzt, erfasst und behandelt werden kann. Dieses kann durch Verfahren zur in situ Stabilisierung des Deponiekörpers erreicht werden.

Grundsätzlich einsetzbare Stabilisierungsverfahren sind:

- die kontrollierte Befeuchtung von Deponieabschnitten zur Intensivierung biologischer Abbauprozesse (vorwiegend unter anaeroben Milieubedingungen, sofern der Wasserhaushalt limitierend wirkt, Vermeidung einer unerwünschten Trockenkonservierung, wie sie sich in abgedichteten bzw. abgedeckten Deponieabschnitten bereits einstellt (Hupe et al., 2003)),
- die beschleunigte aerobe in situ Stabilisierung zur Intensivierung der biologischen Abbauprozesse und Verbesserung der Sickerwasserqualität, wenn eine energetische Deponiegasverwertung nicht mehr wirtschaftlich ist.

Bei einem qualifizierten Betrieb von Stabilisierungsverfahren sind keine unkontrollierten erhöhten Sickerwasserausträge oder Gasemissionen aus dem Deponiekörper zu erwarten.

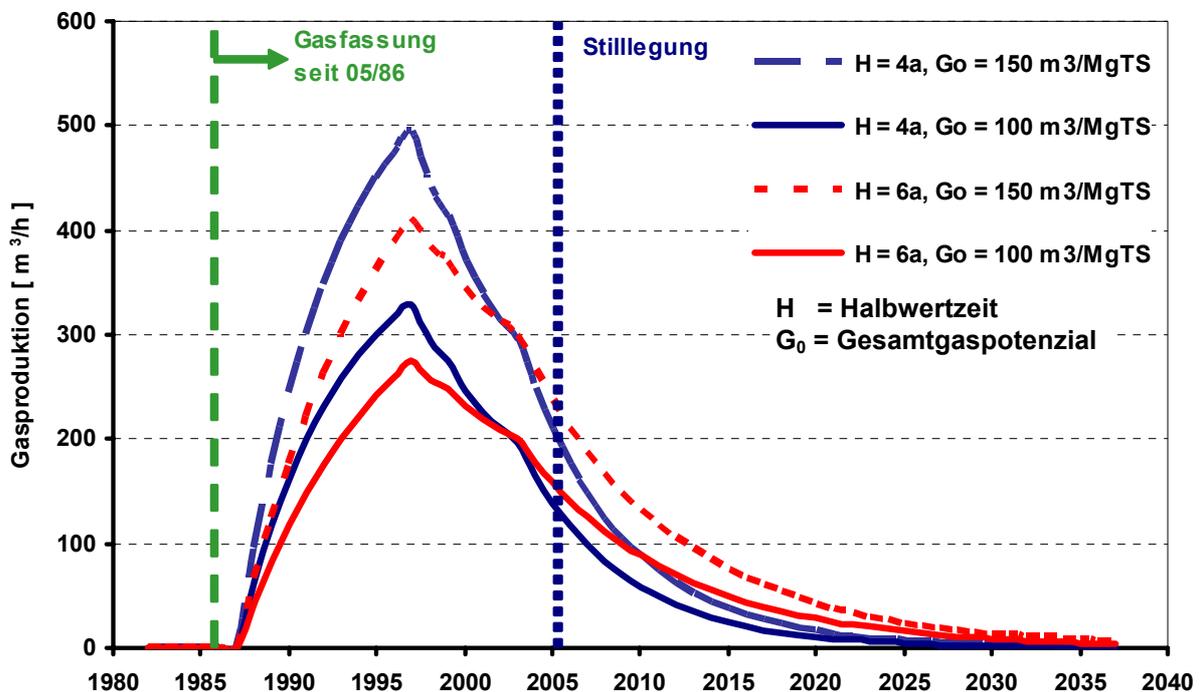


Abb. 1: Bandbreite der potenziellen Deponiegasproduktion eines bis 1996 verfüllten Deponieabschnitts einer TASi II-Deponie bei Variation der Halbwertzeit und des Kohlenstoffgehalts

3.2 Voruntersuchungen zur Feststoffbeschaffenheit

Angaben zur Feststoffbeschaffenheit und zur biologischen Aktivität unter aeroben Milieubedingungen können z.B. durch Bohrungen im Deponiekörper, Feststoffprobenahmen und Laboruntersuchungen gewonnen werden.

Ziel:

- Ermittlung der biologisch verfügbaren Abfallanteile und Abschätzung der erforderlichen Belüftungsraten
- Abschätzung der potenziellen Setzungen infolge der Belüftung

Die bisher vorliegenden Erfahrungen an den Deponiestandorten, die aerob stabilisiert werden und die Ergebnisse von Feststoffuntersuchungen zeigen, dass die auftretenden Setzungen bei der aeroben in situ Stabilisierung durch den beschleunigten Masseabbau innerhalb weniger Jahre oft noch bis zu 10% der Ausgangshöhe betragen können. In Abbildung 2 sind die unterschiedlichen Setzungsverläufe für einen Deponieabschnitt der Zentraldeponie Leppe, der zukünftig aerob stabilisiert werden soll, qualitativ dargestellt, wobei der zukünftige Setzungsverlauf bei einer Belüftung ab 2005 prognostiziert wird.

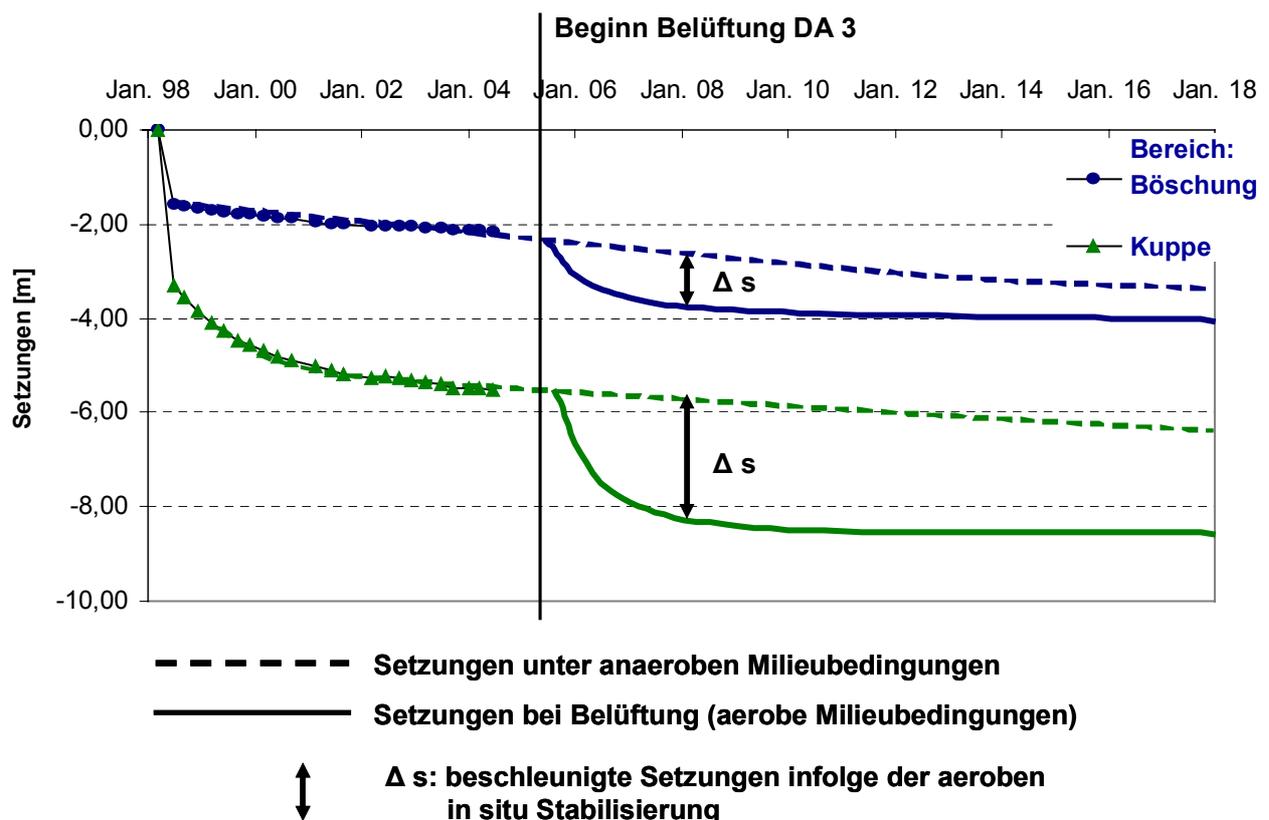


Abb. 2: Verlauf der Setzungen im Umfeld zweier Gasbrunnen im Kuppen- und Böschungsbereich unter anaeroben und aeroben Milieubedingungen, Deponieabschnitt DA 3 der Zentraldeponie Leppe

3.3 Voruntersuchungen zur aeroben in situ Stabilisierung im Deponiekörper

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

- Ist es technisch möglich, ausreichende Zuluftmengen 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 TASI II-Deponien haben gezeigt, dass eine Niederdruckbelüftung über herkömmliche Gasbrunnen, oft bereits bestehende Gasbrunnen, geeignet ist. Nach den Ergebnissen der Voruntersuchungen liegt der Einzugsradius der Belüftungsbrunnen häufig bei 15 – 25 m.

Die Voruntersuchungen wie auch die Betriebserfahrungen der laufenden Projekte zeigen weiterhin, dass es erforderlich ist, auch in die tieferen Deponiebereiche ausreichend Luftsauerstoff einzubringen, was durch Übersaugungsverfahren nicht zu leisten ist. Bei größeren Deponien mit einer Ablagemächtigkeit > 10 m ist eine aktive, z.T. tiefendifferenzierte Luftzuführung in der Regel am effektivsten.

4 Angaben zur technischen Umsetzung der in situ Stabilisierung bei größeren Deponien

Voruntersuchungen an mehreren TASI II-Deponien haben ergeben, dass die in situ Stabilisierung mit der Niederdruckbelüftung bei Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen einsetzbar ist. Die biologische Umsetzung der noch verfügbaren organischen Substanz wird beschleunigt, um den Deponiekörper im Hinblick auf die Folgenutzung und/oder die reduzierte Nachsorge in einen emissionsarmen Zustand zu überführen und die Restsetzungen vorwegzunehmen.

Auch für eine angestrebte Folgenutzung ist die aerobe in situ Stabilisierung als eine Grundvoraussetzung zu betrachten, um die nutzungs- und sicherheitsspezifischen Anforderungen an den Deponiekörper zu gewährleisten.

4.1 Technische Einrichtungen

Die wesentlichen technischen Einrichtungen umfassen:

- Gasbrunnen zur Belüftung und Ablufferfassung
- Gasleitungssystem zur Belüftung und Ablufferfassung
- Gasverteilerstation zur Einstellung der Belüftungsraten und des Überdrucks bzw. der Ablufferfassungsraten und des Unterdrucks je Gasbrunnen
- Belüftungsaggregate in der Gasverdichterstation
- Abluftreinigungsstufen: Biofilter, Aktivkohlefilter oder autotherme Verfahren (RTO)

Option zum Einsatz der Gasverdichterstation und Abluftreinigungsanlage:

Es können Mietmodelle für die Gasverdichterstation und die Abluftreinigungsstufe gewählt werden. Gleichzeitig kann über spezialisierte Anbieter das erforderliche Know-how zur Anlagenunterhaltung und ggf. technischen Optimierung bzw. Anpassung an den Stabilisierungsverlauf eingebunden werden.

Die Anordnung der technischen Einrichtungen ist in Abbildung 3 für einen älteren Deponieabschnitt der Zentraldeponie Leppe beispielhaft dargestellt.

4.2 Stabilisierungsbetrieb, Monitoring ingenieurtechnische Betreuung

Für die erfolgreiche Ausführung der in situ Stabilisierung ist ein qualifizierter Belüftungsbetrieb und eine ingenieurtechnische Betreuung unerlässlich. Sie umfasst u.a.:

- Erfassung der Betriebswerte, Durchführung von Standard- und Sondermessprogrammen innerhalb des Monitoringprogramms zur Erfassung des Stabilisierungsverlaufs
- Begleitende Untersuchungen (Monitoring und Deponieüberwachungsmaßnahmen) und Erfolgskontrolle
- Kontinuierliche Dokumentation und Auswertung des Stabilisierungsbetriebs
- Steuerung und Optimierung des Stabilisierungsprozesses z.B. per Datenfernübertragung
- Berichtswesen (u.a. für Genehmigungs- und Überwachungsbehörden), Arbeitstreffen
- Nachsorgekonzeption (u.a. nutzungsbezogen) zum Abschluss der in situ Stabilisierung

Standardtätigkeiten der Betriebsführung und regelmäßige Monitoringmaßnahmen können vom Deponiepersonal ausgeführt werden.

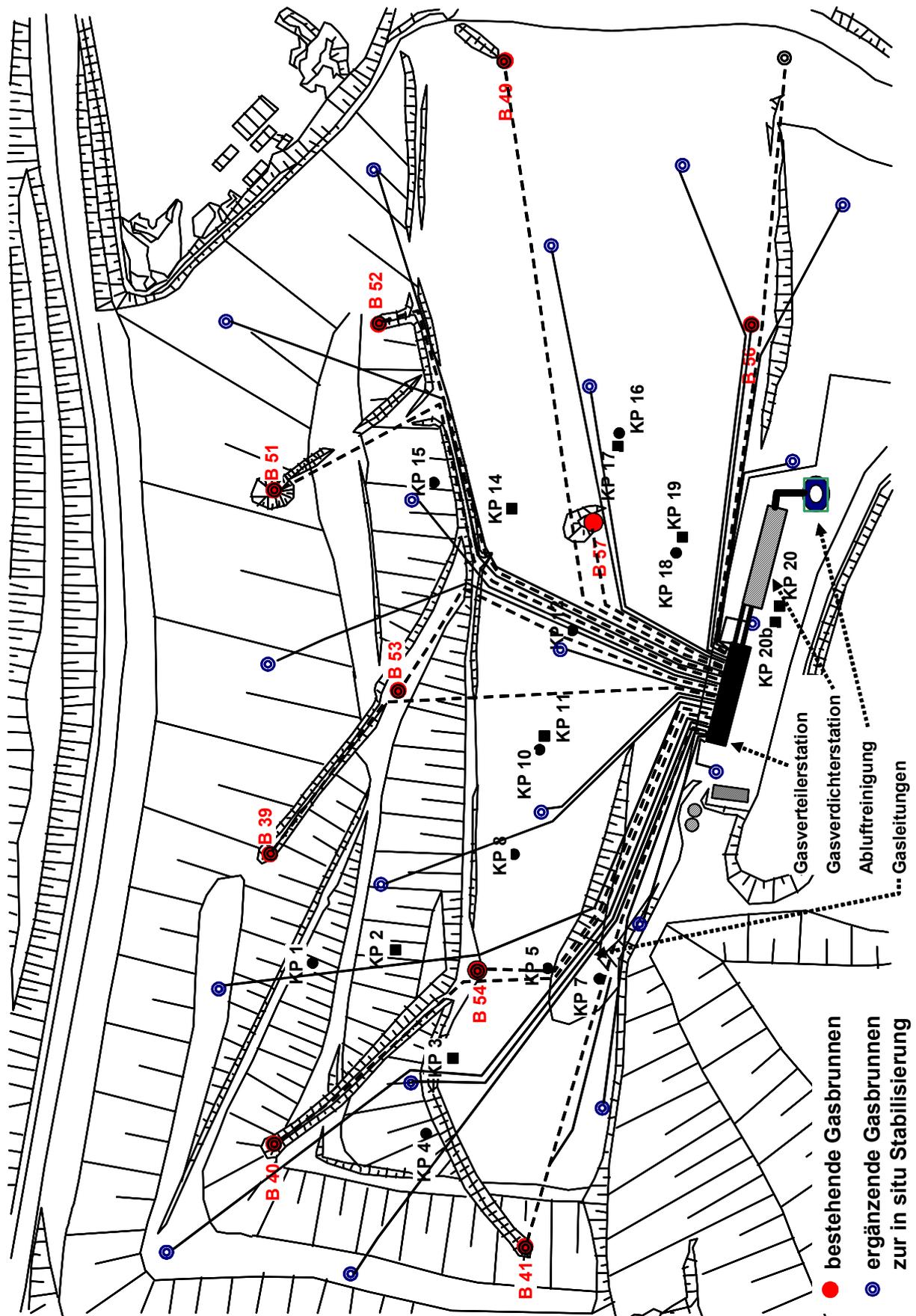


Abb. 3: Anordnung der Gasverteilerstation, Gasverdichterstation und der Abluftreinigungsanlage in einem Deponieabschnitt der Zentraldeponie Leppe (beispielhaft, unmaßstäblich)

4.3 Prozesse und Auswirkungen bei der aeroben in situ Stabilisierung

Der in situ Belüftungsbetrieb ist bei durchschnittlichen Deponiebedingungen für einen Zeitraum von 3 bis 5 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 biologischen verfügbaren Abfallbestandteile zur Folge hat.
- 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.

Auswirkungen auf den Wasserpfad:

- 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 mindestens um mehrere Jahrzehnte.

Auswirkungen auf den Gaspfad:

- Durch den beschleunigten Kohlenstoffabbau und –austrag wird vor allem die Bildungsrate von Kohlendioxid erhöht.
- Vermeidung bzw. Reduzierung des Methangehalts in der Abluft (reduzierte Gasproduktion bei Altdeponien zum Ende der stabilen Methanphase), dadurch z.B. geringeres Explosionsrisiko und geringerer Aufwand zur langfristigen Abluftbehandlung.

Der Kohlenstoffumsatz und –austrag über den Gaspfad kann als Maß für die Intensität und die Beschleunigung der biologischen Abbauprozesse herangezogen werden. Er kann als Fracht über die eingebrachten und abgesaugten Gasvolumina in Verbindung mit der Abluftbeschaffenheit ermittelt werden.

Zum Vergleich und zur Einordnung der Auswirkungen der aeroben in situ Stabilisierung auf der Deponie Milmersdorf wird der Kohlenstoffaustrag abgeschätzt, der sich unter durchschnittlichen anaeroben Milieubedingungen ergeben würde. Dazu werden Ergebnisse von Gasprognoserechnungen herangezogen.

Der tatsächliche Kohlenstoffaustrag („C-Austrag ist“ in Abb. 4.) infolge der aeroben in situ Stabilisierung der Deponie Milmersdorf liegt nach 16 Monaten Stabilisierungsbetrieb bei etwa 1.700 Mg C_{bio.}. Diese Kohlenstofffracht zeigt, dass:

- eine beschleunigte Umsetzung der biologisch verfügbaren Restorganik im Deponiekörper stattfindet,
- seit April 2002 bereits ein nennenswerter Anteil des insgesamt noch verfügbaren Kohlenstoffs kontrolliert mobilisiert und ausgetragen wurde. Die innerhalb kurzer Zeit mobilisierte Kohlenstofffracht beträgt ca. 30% – 50% des gesamten biologisch verfügbaren Kohlenstoffpotenzials im Deponiekörper von 2.500 bis max. 4.200 Mg C_{bio}.

In Abbildung 4 ist der Kohlenstoffaustrag pro Monat seit Beginn der aeroben in situ Stabilisierung im Juni 2002 aufgetragen. Zum Vergleich ist der theoretische Kohlenstoffaustrag unter anaeroben Milieubedingungen (Gasprognose-rechnungen und Ergebnisse einer Probeentgasung) hinzugefügt worden.

Die Schwankungen des Kohlenstoffaustrags während der aeroben in situ Stabilisierung sind auf unterschiedliche Betriebsbedingungen zurückzuführen. Der Beschleunigungsfaktor, ausgedrückt als Kohlenstoffaustrag pro Zeiteinheit, liegt gegenüber anaeroben Milieubedingungen mindestens bei etwa 2 bis 3.

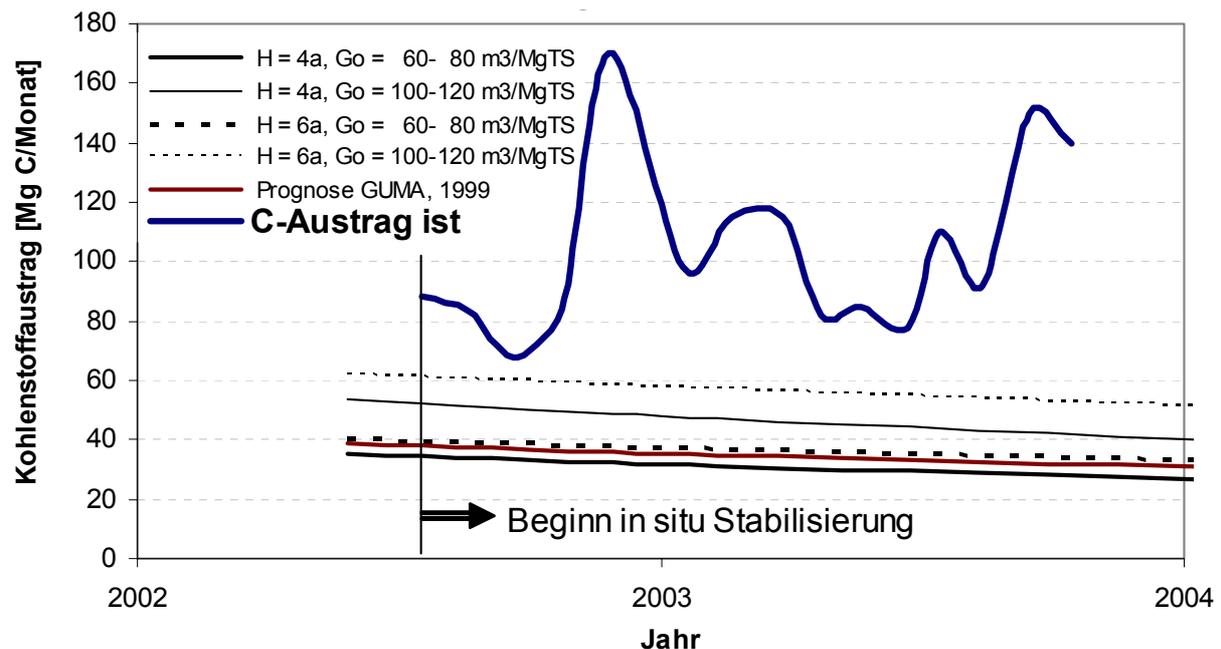


Abb. 4: Deponie Milmersdorf: Kohlenstoffaustrag pro Monat (C-Austrag ist) ab 2002 infolge der aeroben in situ Stabilisierung, Vergleich mit theoretischem Kohlenstoffaustrag unter anaeroben Milieubedingungen

4.4 Kosten der aeroben in situ Stabilisierung und Kosteneinsparpotenziale

4.4.1 Kosten

Kostenabschätzungen ergeben bei günstigen bis durchschnittlichen Standortrahmenbedingungen und optimiertem Stabilisierungsbetrieb Grundkosten in der Größenordnung von ca. 0,5 - 1 €/m³ Deponieinhalt. Nur bei ungünstigen Rahmenbedingungen (z.B. sehr kleine Altdeponien ohne bestehende Infrastruktur) können die Kosten auf 2 - 3 €/m³ Deponieinhalt ansteigen.

Für die beiden TASI II-Deponien, auf denen Voruntersuchungen durchgeführt wurden, ergeben sich voraussichtlich Grundkosten von 0,5 - 1 €/m³. 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.

4.4.2 Kosteneinsparpotenziale

Den Kosten für die aerobe in situ Stabilisierung mit der Niederdruckbelüftung sind beträchtliche Einsparmöglichkeiten in der Deponiestilllegung und Nachsorge gegenüberzustellen, die sich auf den Abfluss der gebildeten Rückstellungen auswirken:

- 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. Hier sind z.B. die erheblichen Treibhausgasemissionen zu nennen, die immer noch von Deponien abgegeben werden. Ggf. können Optionen für den Emissionshandel entwickelt werden, so dass über die Zertifikate zur Vermeidung treibhausgasrelevanter Emissionen eine weitere Einnahmequelle durch das Stabilisierungsverfahren geschaffen werden kann.
- 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
- bei Altablagerungen geringerer Aufwand bei der Grundwassersanierung und bei technischen Sicherungsmaßnahmen
- frühere Rekultivierung und Folgenutzung, was besonders in städtischen Ballungsräumen von wachsender Bedeutung ist

Den Kosten für die Belüftungsmaßnahmen stehen daher beträchtliche Einsparpotenziale gegenüber, so dass mittel- und langfristig mit Kostensenkungen gerechnet werden kann. Bei den beiden o.g. TASI II-Deponien sind durch die Stabilisierung mit der Niederdruckbelüftung Kosteneinsparungen von mindestens 5% der Gesamtkosten zur Stilllegung und Nachsorge zu erwarten, ggf. sogar 10 – 15%.

5 Übersaugungsverfahren bei Ablagerungen mit geringer Ablagerungsmächtigkeit

Übersaugungsverfahren bei Ablagerungen mit geringer Ablagerungsmächtigkeit können mittels passiver Belüftung und aktiver Gasfassung zur Sicherung und gastechnischen Sanierung abgedeckter oder abgedichteter Altablagerungen eingesetzt werden. Als Fallbeispiel soll im Folgenden die gastechnische Sanierung einer Altablagerung in Schleswig-Holstein vorgestellt werden (Hupe et al., 2004).

5.1 Altablagerung S3 in Schenefeld

Die Altablagerung S3 in Schenefeld wurde in den 50er Jahren als ungedichtete Deponie in einer ehemaligen Sand-/Kiesgrube angelegt und bis in die frühen 60er Jahre mit Hausmüll, Füllböden, Gewerbe- und Industriemüll in fester und flüssiger Form (z.T. toxisch bis hochtoxisch) verfüllt (Tabelle 1). Die Ablagerungsmächtigkeit ist überall kleiner 10 m.

Austretende Sickerwässer führten zu einer Grundwasserverunreinigung insbesondere mit halogenierten und leichtflüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen. Zur Verhinderung einer weiteren Ausbreitung der Verunreinigung wurden im Abstrombereich der Ablagerung 6 Brunnen installiert. Das abgepumpte verunreinigte Wasser wird einem Klärwerk zugeführt. Um dem Problem der Grundwasserverunreinigung und den damit verbundenen langfristig hohen Betriebskosten zur Wasserfassung und -behandlung nachhaltig entgegenzuwirken, wurde eine Abdichtung der Deponieoberfläche zur Unterbindung einer weiteren klimatischen Sickerwasserneubildung und Grundwasserverunreinigung angestrebt (Hupe et al., 2004).

Aufgrund von Gasabsaugversuchen im Herbst 1998 wurde festgestellt, dass von der Altablagerung auch eine Gefährdung über den Gaspfad ausgeht. Es wurden hohe Methangehalte im Deponiegas (bis zu 40 Vol.-%) und zum Teil sehr hohe Konzentrationen an Spurenstoffen - insbesondere Benzol (bis 294 mg/m³) und Chlorbenzol (bis 277 mg/m³) - gemessen. Darüber hinaus konnte aufgrund der Voruntersuchungen der gastechnisch relevante Ablagerungsbereich eingegrenzt werden. Aufgrund einer Gasprognoserechnung wurde von einer mittleren Gasproduktionsrate von nur ca. 10 m³/h ausgegangen. Die aktive Entgasung wurde so ausgelegt, dass einerseits das Gasspeichervolumen, andererseits das neu gebildete Gas erfasst wird und sich zudem ein Übersaugungseffekt einstellt.

So wurden neben den bautechnischen Sicherungsmaßnahmen auch aktive Entgasungsmaßnahmen mit thermischer Abgasbehandlung zum Schutz der Umwelt, Anwohner und Gewerbebetriebe realisiert.

Tab. 1: Kenndaten der Altablagerung S3, Schenefeld, Schleswig-Holstein (Hupe et al., 2004)

Randbedingungen:

Deponieart:	Grubendeponie – ehemalige Kiesgrube
Deponiefläche:	ca. 4 ha
Mächtigkeit:	< 10 m
Abfallzusammensetzung:	Hausmüll, Füllböden, Gewerbe- und Industriemüll in fester und flüssiger Form (z.T. toxisch bis hochtoxisch)
Ablagerungszeitraum:	50er bis in die frühen 60er Jahre
Grundwasserbelastung:	insbesondere halogenierte und leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe
Zustand vor der Sanierung:	Nutzung als Verkehrsübungsplatz; nördlicher Bereich: mit Asphalt bedeckt; südlicher Bereich: ohne bindige Abdeckung (Brache, Wildwuchs) – Wohnbebauung schließt an; westlicher Bereich: ungedichtet mit Wohn- und Gewerbebebauung z.T. im Bereich der Ablagerungsfläche

Sanierungsmaßnahmen:

Abdichtung:	Aufbringung einer Oberflächenabdichtung (30 cm Ausgleichsschicht, 2,5 mm BAM-KDB, 20 cm Drainschicht, 70 cm Unterboden, 30 cm Oberboden, Gras und Kraut)
Gastechnik:	Installation von 12 Gasabsaugbrunnen über eine gemeinsame Gasleitung abgesaugt und 6 passiven Belüftungsbrunnen; Gasfassung/-behandlung mittels Verdichter und RTO (VocsiBox [®] , solange autothermer Betrieb ohne Zufeuerung möglich) bzw. Biofilter-/Aktivkohlefilter (im Anschluss)
Folgenutzung:	landwirtschaftlich genutzte Grünfläche

5.2 Sanierungskonzept

Das Sanierungskonzept ist in bautechnische Maßnahmen zur Aufbringung einer Oberflächenabdichtung und gastechnische Sanierungsmaßnahmen zur Verhinderung unkontrollierter Gasemissionen der abgedichteten Ablagerung zu untergliedern.

Vor Aufbringung der Oberflächenabdichtung wurde das Gelände geräumt und profiliert. Der Aufbau der Oberflächenabdichtung wurde gemäß den Angaben in Tab. 1 gewählt. Das Gasfassungs- und -behandlungssystem ist schematisch in Abbildung 5 dargestellt.

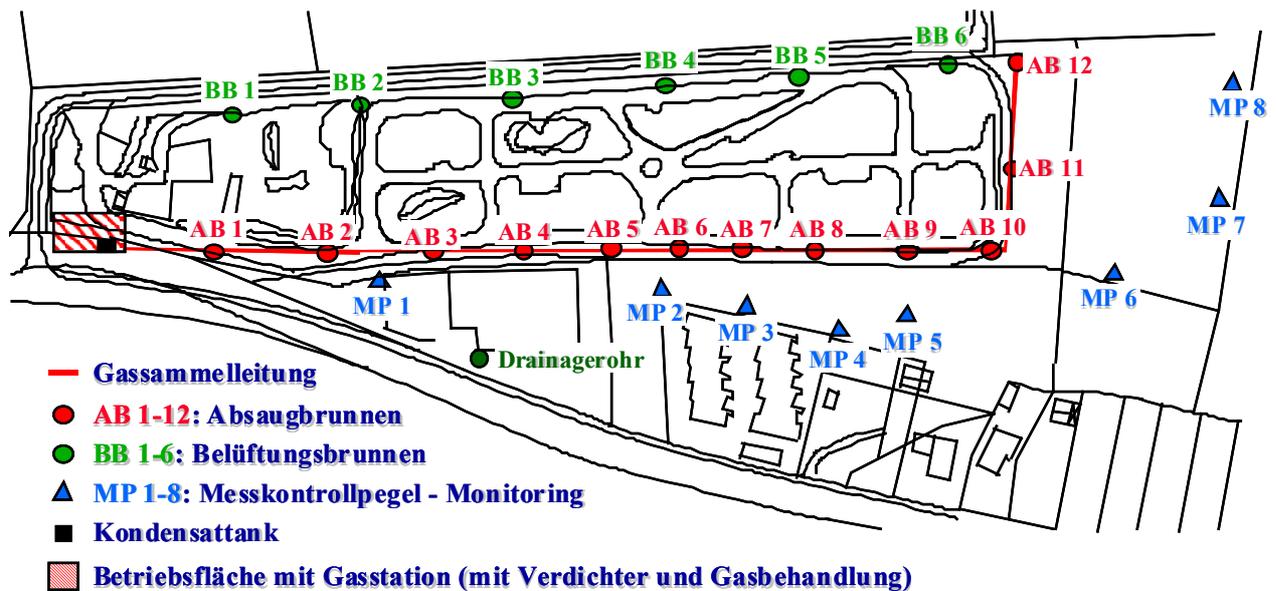


Abb. 5: Altablagerung S 3, Schenefeld: Gasfassungssystem zur Übersaugung inkl. der passiven Belüftungsbrunnen und der Kontrollmesspegel

Parallel erfolgte die Installation von:

- 12 Gasabsaugbrunnen sowie einer Gassammelleitung (oberhalb der KDB)
Die einzelnen Gasabsaugbrunnen sind über eine Gassammelleitung miteinander verbunden. Die Gassammelleitung liegt auf der den Wohngebäuden abgewandten Seite der Gasbrunnen und wurde mit einem Gefälle vom Hochpunkt zum Kondensattank bzw. zum Absaugbrunnen AB10 verlegt. Auf diese Weise erfolgt eine Ableitung anfallenden Kondensats, was einen Verschluss der Gassammelleitung verhindert.
- 6 passive Belüftungsbrunnen zur gleichmäßigen Sauerstoffverteilung unterhalb der Oberflächenabdichtung
Über die 6 passiven Belüftungsbrunnen kann Luftsauerstoff in die gasdurchlässige Ausgleichsschicht unterhalb des Dichtungselementes und in den Deponiekörper gelangen und mikrobielle Umsetzungsprozesse beschleunigen. Mit zunehmender Absaugleistung wird aufgrund des dadurch unterhalb der Oberflächenabdichtung erzeugten Unterdrucks verstärkt Luftsauerstoff über die passiven Belüftungsbrunnen aber auch über die nicht gedichteten Flanken in den Deponiekörper eingesaugt (Übersaugung), was zu einer beschleunigten Stabilisierung des Abfallkörpers führt.
- Kondensatabscheider
- gasdichte Anbindung der Brunnen und Leitungen an die KDB
- Gasfassungs- und -behandlungsanlage
Gasverdichterstation zur Abluftabsaugung (und Übersaugung), RTO (solange autothermer Betrieb ohne Zufeuerung möglich) und im Anschluss Bio-/Aktivkohlefilter zur Geruchsbehandlung

Der Absaugvolumenstrom wird über die Absaugleistung des Verdichters und für die einzelnen Absaugbrunnen durch die an jedem Gasbrunnen installierten Schieber den Erfordernissen angepasst.

- 8 Gasmesskontrollpegel

5.3 Verlauf der gastechnischen Sanierung

Seit Inbetriebnahme der Gasverdichterstation wird das Deponiegas bzw. die belastete Abluft kontinuierlich im Tag- und Nachtbetrieb erfasst und behandelt. In Abbildung 6 ist der Verlauf der Gaszusammensetzung und des veränderten Volumenstromes seit Beginn der Gasabsaugung dargestellt. Die Absaugleistung konnte aufgrund der sinkenden Methangehalte im Deponierohgasstrom auf bis zu 250 m³/h gesteigert werden, was zu der erläuterten Übersaugungseffekt mit dem beschleunigten aeroben Abbau der Restorganik führt.

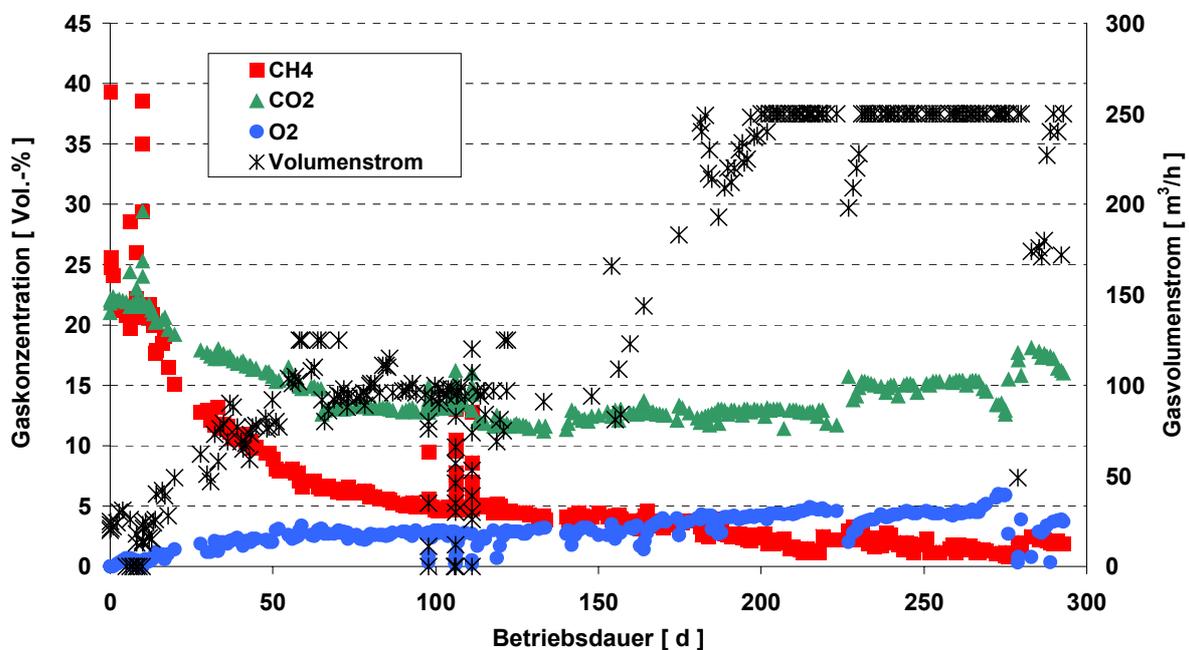


Abb. 6: Altablagerung S3, Schenefeld: Darstellung der Gaszusammensetzung der Abluft und des Gasvolumenstroms über die Betriebsdauer

Im Verlauf der gastechnischen Sanierung wurde im Deponierohgas-/ Abluftstrom eine kontinuierliche Abnahme des Methangehaltes von 38 Vol.-% auf unter 2 Vol.-% gemessen. Parallel zur Abnahme des Methangehaltes war eine Zunahme des Sauerstoffgehaltes von anfänglich 0 Vol.-% auf bis zu 6 Vol.-% zu messen. Die zu Beginn der Betriebsphase gemessenen Kohlendioxidgehalte fielen von ca. 22 Vol.-% nur auf ca. 13 Vol.-% ab und stiegen mit zunehmendem Volumenstrom auf über 17 Vol.-% an. Durch den erhöhten Volumenstrom wird unterhalb der Oberflächenabdichtung ein höherer Unterdruck angelegt. Auf diese Weise wird ein größerer Bereich im Deponiekörper

gastechisch erfasst. Darüber hinaus erfolgt auch eine stärkere Besaugung des ungedichteten Außenbereichs der Altlast. Dieses ist sinnvoll, um insbesondere den Westbereich zwischen Altlast und Wohnbebauung verstärkt gastechisch zu sichern. Aufgrund der nicht vorhandenen Oberflächenabdichtung in diesem Bereich wird über die Bodenoberfläche verstärkt Luft angesaugt. Ferner werden durch die Erhöhung des Unterdrucks auch die passiven Belüftungsbrunnen stärker genutzt. Der Luftsauerstoff wird zum Großteil für die mikrobielle Umsetzung der organischen Abfallinhaltsstoffe genutzt, wodurch der Kohlendioxidgehalt ansteigt. Mit dieser Betriebsweise wird das Emissions- und damit Gefährdungspotenzial signifikant reduziert. Dieses zeigen auch die Ergebnisse des Gasmonitorings an den Messkontrollpegeln im Umfeld der Altablagerung. Hier kann mittlerweile kein Methan mehr gemessen werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Mit der aeroben in situ Stabilisierung von Deponien und Altablagerungen wird das Ziel verfolgt, die Schadstoffemissionen der abgelagerten Abfälle nachhaltig und kontrolliert zu vermindern, den Aufwand wie die Dauer von Deponienachsorgemaßnahmen zu reduzieren und soweit erforderlich Gefahrenabwehr bei bestehender Bebauung zu betreiben.

Die aerobe in situ Stabilisierung mit der Niederdruckbelüftung wird seit 2000 auf drei Deponien und Altablagerungen umgesetzt. Dieses mittlerweile ausgereifte Verfahren soll nunmehr auch auf größeren, basisgedichteten TASI II-Deponien eingesetzt werden, die in den letzten Jahren geschlossen wurden oder zum 01.06.2005 den Ablagerungsbetrieb einstellen werden. Die aerobe in situ Stabilisierung bildet eine wesentliche Maßnahme innerhalb des gesamten Stilllegungs- und Nachsorgekonzepts. Von daher ist eine qualifizierte Erfassung des Ist-Stands mit dem aktuellen Emissionsverhalten sowie einer Prognose des zukünftigen, langfristigen Emissionsverhaltens in Abhängigkeit der jeweiligen Stilllegungsmaßnahmen durchzuführen. Voruntersuchungen zur Ermittlung der aktuellen Beschaffenheit des Deponiekörpers und der resultierenden biologischen Restaktivität sind in vielen Fällen sinnvoll. Daran schließen sich wie bei den Deponien Dörentrup und Leppe in Nordrhein-Westfalen oft Belüftungsvoruntersuchungen an, um die Belüftungstechnik und den Belüftungsbetrieb an die standortspezifischen Bedingungen anzupassen und so einen optimierten und wirtschaftlichen Stabilisierungsbetrieb zu erreichen.

Bei flachen Deponien oder Altablagerungen mit Ablagerungsmächtigkeiten < 10 m können auch Übersaugungsverfahren, oft in Kombination mit einer passiven Belüftung, eingesetzt werden, um eine aerobe in situ Stabilisierung des Abfallkörpers zu erzielen. Entscheidend ist dabei, auch in größeren Tiefen eine ausreichende Sauerstoffversorgung einzustellen. Für alle Verfahrensvarianten ist dabei eine qualifizierte Abluftreinigung zu fordern, um u.a.

Geruchsemissionen zu vermeiden und den Klimaschutz zu gewährleisten.

In Abhängigkeiten der Deponierandbedingungen und des technischen wie betrieblichen Belüftungsaufwands können Kosten zwischen 0,5 und 3 € je m³ zu stabilisierendem Deponievolumen entstehen. Bei größeren TAsi-Deponien sind Grundkosten von 0,5-1 € je m³ zu erwarten. Gesamtkostenbetrachtungen zeigen, dass bei Einsatz der Stabilisierung insgesamt Kostenreduzierungen zur Stilllegung und Nachsorge von mindestens 5%, ggf. sogar 10 bis 15% möglich sind, da sich Betrieb und Unterhaltung wie die Dauer der Nachsorge deutlich verringern. Über Dienstleistungsmodelle zum Stabilisierungsbetrieb können sowohl weitere Kostenreduzierungen als auch betriebliche Vorteile realisiert werden.

Die aerobe in situ Stabilisierung kann u.a. im Rahmen der Regelungen des §14 (6) der DepV eingesetzt werden. In der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“ wurden hierzu fachliche Eckpunkte zur Beurteilung von Anträgen auf Ausnahmeregelungen konkretisiert (LAGA, 2004): „Maßnahmen wie eine gezielte Belüftung der Deponie können zu einer Reduzierung des langfristigen Emissionspotenzials der abgelagerten Abfälle führen“ (LAGA, 2004).

Auch im Leitfaden „Deponiestilllegung“ des VKS bzw. der ATV-DVWK (Palm et al., 2003) wird die aerobe in situ Stabilisierung als flankierende Maßnahme genannt.

Fazit: Die aerobe in situ Stabilisierung und insbesondere die Niederdruckbelüftung ist ein Verfahren, das zukünftig auf vielen Deponien aus Gründen der beschleunigten und kontrollierten Emissionsreduzierung wie auch aus Wirtschaftlichkeitserwägungen heraus Anwendung finden wird.

7 Literatur

- AbwV - Abwasserverordnung (1997): Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer vom 21. März 1997
- DepV – Deponieverordnung: Verordnung über Deponien und Langzeitlager – in der Fassung des Beschlusses des Bundeskabinetts vom 24. Juli 2002
- Heyer, K.-U., Hupe, K., Stegmann, R. (2000): Die Technik der Niederdruck-Belüftung zur in situ Stabilisierung von Deponien und Altablagerungen. Müll und Abfall, 32 (7), 438-443.
- Heyer, K.-U., Hupe, K., Ritzkowski, M., Stegmann, R. (2001): Stabilisierung von Altdeponien durch Belüftung, Erfahrungen mit der großtechnischen Anwendung. In: Deponiegas 2001, Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 13 (Hrsg. Rettenberger, G., Stegmann, R., Verlag Abfall aktuell Stuttgart.
- Heyer, K.-U. (2003): Emissionsreduzierung in der Deponienachsorge. Einflüsse auf das Emissionsverhalten organischer und stickstoffhaltiger Verbindungen in Siedlungsabfalldeponien. Dissertation an der TU Hamburg-Harburg, AB Abfallwirtschaft, Hamburger Berichte 21 (Hrsg.: R. Stegmann), Verlag Abfall aktuell, Stuttgart.
- Heyer, K.-U., Hupe, K., Ritzkowski, M., Stegmann, R. (2001): Aktuelle Ergebnisse zur aeroben in situ Stabilisierung von Altdeponien und Altablagerungen. In: Stilllegung und Nachsorge von Deponien – Schwerpunkt Deponiegas, Trierer Berichte zur

- Abfallwirtschaft, Band 14 (Hrsg. Rettenberger, G., Stegmann, R., Verlag Abfall aktuell Stuttgart.
- Hupe, K., Heyer, K.-U., Stegmann, R. (2003): Kontrollierte Bewässerung und Belüftung von Deponien – Praxisergebnisse. In: 8. Münsteraner Abfallwirtschaftstage (Hrsg.: B. Gallenkemper, W. Bidlingmaier, H. Doedens, R. Stegmann), LASU Münster, 215-223.
- Hupe, K., Heyer, K.-U., Ramthun, A. (2003): Stilllegung und Nachsorge von Deponien als Dienstleistung. Müll und Abfall, 04/2003, S. 169 - 176
- Hupe, K., Heyer, K.-U., Stegmann, R., Schulz, T., Brammann, G. (2004): Sicherung und gastechische Sanierung einer abgedichteten Altablagerung. VKS-NEWS, Oktober 2004, 9-11.
- LAGA-Eckpunktepapier (2004): Fachliche Eckpunkte für die Beurteilung von Ausnahmeanträgen nach § 14 Absatz 6 Deponieverordnung. LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“ (vom 04.02.04)
- Palm, A., Schmidt-Tegge, J. (2003): Leitfaden „Deponiestilllegung“, im Auftrag und unter Begleitung der VKS und ATV-DVWK, Veröffentlichung und Vertrieb über ATV-DVWK ab Juni 2003
- Ritzkowski, M., Heyer, K.-U., Heerenklage, J., Stegmann, R. (2000): Grundlagen der aeroben in situ-Stabilisierung von Altdeponien. Müll und Abfall, 32 (6), 358-367.
- Ritzkowski, M., Heyer, K.-U., Stegmann, R. (2005): Neuere Erkenntnisse zur aeroben in situ Stabilisierung von Altdeponien, Tagungsband zur Fachtagung „Stilllegung und Nachsorge von Deponien – Schwerpunkt Deponiegas“, 11.-12.01.2005 in Trier (Hrsg.: Rettenberger, G., Stegmann, R., Bilitewski, B.)
- 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.
- TASi - Technische Anleitung Siedlungsabfall: Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen, vom 14. Mai 1993.

Anschrift der Verfasser:

Dr.-Ing. Kai-Uwe Heyer
Dr.-Ing. Karsten Hupe
Dipl.-Ing. Astrid Koop

Tel.: 040 / 77 11 07 42
Tel.: 040 / 77 11 07 41

Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft
Prof. R. Stegmann und Partner
Nartenstraße 4a
21079 Hamburg

Fax: 040 / 77 11 07 43

e-mail: info@ifas-hamburg.de
<http://www.ifas-hamburg.de>