

Niederdruckbelüftungsverfahren AEROflott® zur aeroben in situ Stabilisierung von Altdeponien

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

Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner
Nartenstraße 4a, 21079 Hamburg, www.ifas-hamburg.de

1 In situ Stabilisierung zur Stilllegung und Nachsorge von Deponien

Für viele Deponiebetreiber wird die Stilllegung und Nachsorge das große Thema der nächsten Jahre sein. Es müssen umgehend Entscheidungen getroffen werden, wie der Abschluss des Betriebs und die nachfolgenden Maßnahmen technisch, wirtschaftlich und auch personell zu organisieren sind. Dabei sind unterschiedlichste Ausgangsbedingungen und Anforderungen zu berücksichtigen:

- Sickerwasser- und Deponiegasemissionen werden die Stilllegung und vor allem Nachsorge maßgebend bestimmen.
- Alle Untersuchungen und Erfahrungen zum Emissionsverhalten zeigen, dass die Nachsorge eine Frage von mehreren Jahrzehnten sein wird.
- Es muss geprüft werden, wie die Deponie in einen derart emissionsarmen Zustand überführt werden kann, dass nicht nur die Aufbringung einer endgültigen Oberflächenabdichtung sinnvoll ist, sondern eine Entlassung aus der Nachsorge überhaupt erst möglich wird.

Die Anforderungen an Betrieb, Stilllegung und Nachsorge sind hauptsächlich in der TA Siedlungsabfall (TASi) und der Deponieverordnung (DepV) festgelegt. In §14 (6) der DepV werden für Deponien Ausnahmen von dem Anforderungskatalog z.B. an die Oberflächenabdichtung zugelassen, wenn im Einzelfall der Nachweis erbracht wird, dass das übergeordnete Ziel des dauerhaften Schutzes der Umwelt nicht beeinträchtigt wird. Voraussetzung hierfür ist, dass bei solchen Deponien die Ablagerung vor dem 15. Juli 2005 beendet und dies ein Jahr vorher angezeigt wird.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie das Emissionsverhalten von Siedlungsabfallablagerungen positiv beeinflusst werden kann, um damit die Dauer und den Umfang von Maßnahmen in der Nachsorge zu reduzieren. Dazu können in Abhängigkeit der Randbedingungen von Deponien und Altablagerungen im Wesentlichen zwei in situ Stabilisierungsverfahren eingesetzt werden (Abbildung 1):

- Befeuchtungs- und Bewässerungsverfahren, z.B. bei basisgedichteten, jüngeren Abfallablagerungen mit höherem Anteil bioverfügbarer Organik zur Intensivierung anaerober Abbauprozesse (Hupe et al., 2003)
- Belüftungsverfahren, z.B. bei älteren Abfallablagerungen bzw. bei geringerem Anteil bioverfügbarer Organik und abnehmender Deponiegasproduktion

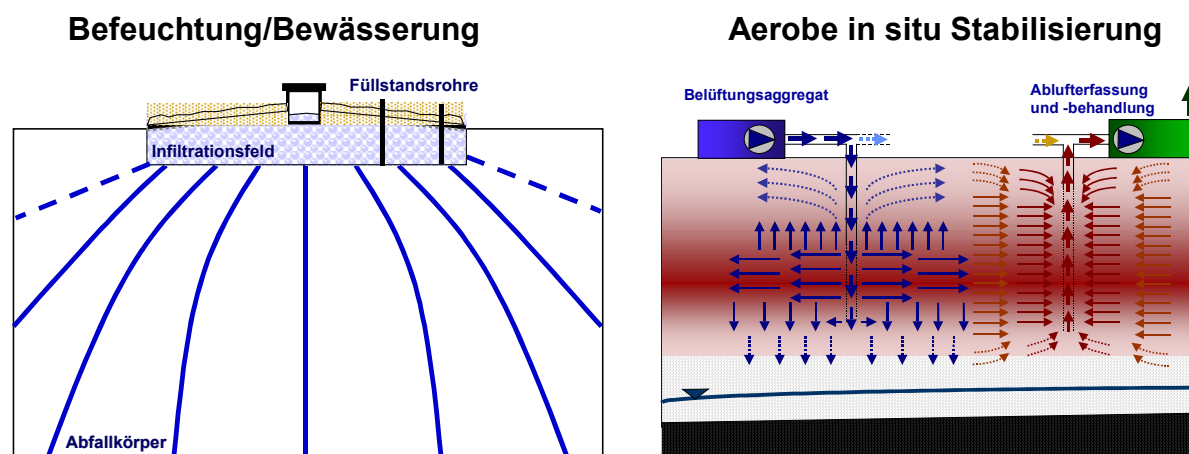


Abb.1: Verfahren zur in situ Stabilisierung zur Verkürzung der Deponienachsorge

Belüftungsverfahren zur aeroben in situ Stabilisierung werden mittlerweile auf der Altdeponie Kuhstedt im Landkreis Rotenburg (Wümme), der Altdeponie Milmersdorf im Landkreis Uckermark und der Abtabelleung Neumühle in Amberg mit Erfolg betrieben. Allen Standorten gemeinsam ist die grundsätzliche Zielstellung, das Emissions- und resultierende Gefährdungspotenzial kontrolliert und in einem vergleichsweise kurzen Zeitraum zu reduzieren, um damit wirtschaftliche Deponieabschluss- und Nachsorge- oder Sicherungsmaßnahmen ergreifen zu können. So ist z.B. die abschließende Aufbringung einer an den emissionsarmen Deponiekörper angepassten, langfristig funktionstüchtigen und trotzdem kostengünstigen Oberflächenabdichtung von großer Bedeutung, da Oberflächenabdichtungen erhebliche Investitionen und Unterhaltungsaufwand erfordern und gerade deswegen enorme Einsparpotenziale eröffnen (Hupe et al., 2002).

Im Folgenden werden aktuelle Erfahrungen der Niederdruckbelüftung unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten sowie in Hinblick auf die Auswirkungen auf das Emissionsverhalten vorgestellt.

2 Randbedingungen zum Einsatz der aeroben in situ Stabilisierung

Die aerobe in situ Stabilisierung kann unter folgenden Randbedingungen und Zielrichtungen eingesetzt werden:

- nur noch geringe Deponiegasproduktion (Erfassung und Behandlung noch erforderlich, aber keine wirtschaftliche Verwertung des Energieträgers Methan mehr möglich), Vermeidung einer langfristigen, kostenintensiven Schwachgasbehandlung
- vor Aufbringung einer Oberflächenabdichtung zur Vorwegnahme der Hauptsetzungen und bei geringer Deponiegasproduktion, um Aufkonzentration und Gasmigration zu vermeiden
- vor einer bzw. bei bestehender Bebauung, bei der der Baugrund und ein intensiv genutztes Umfeld auf jeden Fall nachhaltig deponiegasfrei gehalten werden sollte; gesundheitliche Vorsorge und Explosionsschutz als zwingend erforderliche Grundvoraussetzung sind so bestmöglich zu gewährleisten
- bei Deponien mit Basisabdichtung: abnehmende Sickerwasserbelastungen, die jedoch langfristig die Anforderungen des 51. Anhangs der AbwV noch überschreiten
- bei Deponien ohne Basisabdichtung: erhöhtes Gefährdungspotenzial durch betroffene Schutzgüter (z.B. Grundwasser, Oberflächengewässer)
- bei Altablagerungen: fehlende technische Barrieren, wo nachträgliche Sicherungsmaßnahmen (Oberflächenabdichtung, vertikale Dichtwände etc.) zu kostenintensiv oder technisch nicht durchführbar wären

3 Technische Umsetzung der Niederdruckbelüftung

3.1 Standortbedingungen und Gefährdungspotenzial

Mit einer Vorstellung der Standortbedingungen und des Gefährdungspotenzials der drei Abfallablagerungen, auf denen die Niederdruck-Belüftung eingesetzt wird, sollen die unterschiedlichen Ausgangsbedingungen und Anforderungen an die Stabilisierungsmaßnahmen verdeutlicht werden.

3.1.1 Altdeponie Kuhstedt, Landkreis Rotenburg (Wümme)

Die Altdeponie Kuhstedt im Landkreis Rotenburg (Wümme) wurde ursprünglich als Sandgrube genutzt. Seit den sechziger Jahren erfolgte die Verfüllung mit Siedlungs-

abfällen bis 1987. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Altdeponie. Aufgrund von Sickerwasseraustritten im Jahr 1987 wurde eine Gefährdungsabschätzung durchgeführt. Sie ergab ein hohes Gefährdungspotenzial durch die abgelagerten Abfälle, das sich vor allem begründet in:

- Grundwasser-, Stauwasser- und Bodenverunreinigungen,
- dem Fehlen von Sperrschichten und Abdichtungen,
- dem Schadstoffpotenzial oberhalb des Grundwasserleiters und
- den Schadstoffaustrag über den Grundwasserleiter, u.a. in Oberflächengewässer.

Tab. 1: Allgemeine Angaben zur Altdeponie Kuhstedt

Betrieb:	Mitte der 60er Jahre bis 1973: unkontrollierte Ablagerung 1973 – Oktober 1987: Betrieb als Übergangsdeponie
Abgelagerte Abfallarten:	Hausmüll, Sperrmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Bauschutt
Gesamtfläche:	ca. 3,2 ha
Höhe über Gelände:	ca. 8 - 10 m
Volumen:	ca. 220.000 m ³
Einbindetiefe uGOK:	ca. 2 - 3 m
Basisabdichtung:	keine
Entgasungseinrichtung:	keine
Oberflächenabdichtung/ -abdeckung:	provisorisch 1987: Teilbereiche wurden mit Erdaushub und Boden abgedeckt; eine endgültige Abdichtung ist bisher nicht erfolgt

3.1.2 Deponie Milmersdorf, Landkreis Uckermark

Die Deponie Milmersdorf wurde in einer ehemaligen Kiesgrube ohne Basisabdichtung angelegt und von 1976 bis 1998 verfüllt. Das Verfüllvolumen beträgt ca. 580.000 Mg, die Ablagerungsfläche ca. 6 ha. 1999 wurden Umlagerungs- und Profilierungsmaßnahmen durchgeführt, um die Deponie mit einem Oberflächenabdeckungs- bzw. -abdichtungssystem versehen zu können. Auf der Deponie Milmersdorf sind seit Beginn der 90-Jahre bis zum Ende der Verfüllung vermehrt Siedlungsabfälle mit beträchtlichen organischen Gehalten in einer Schichtmächtigkeit von etwa 3 m abgelagert worden (ca. 150.000 Mg „Nachwende-Müll“). Auf der einen Seite ist daher zu erwarten, dass die biologischen Abbauprozesse sowohl zu Gasemissionen als auch zu erhöhten Sickerwasserbelastungen führen werden. Andererseits zeigten Voruntersuchungen, dass sich weder von der Gasqualität noch

von der Quantität ausreichende Gasvolumina für eine Verwertung erfassen ließen. Möglicherweise wäre sogar eine eigenständige Verbrennung in einer Fackel schon nach kurzer Zeit nicht mehr möglich, da sich keine stabilen anaeroben Milieubedingungen mit ausreichender Deponiegasproduktion ausbilden können. Zudem wäre mit einer kontinuierlichen Belastung des ersten unbedeckten Grundwasserleiters durch Sickerwasser zu rechnen, vor allem durch erhöhten Kohlenstoff- und Stickstoffeintrag. Ferner sollte auf die Aufbringung einer temporären Oberflächenabdichtung verzichtet werden, so dass nach einer in situ Stabilisierung sofort die endgültige Oberflächenabdichtung aufgebracht werden kann. Aus dieser Sachlage leitet sich der Handbedarf und die Durchführung der in situ Stabilisierung als Maßnahme zur Deponiestilllegung ab.

3.1.3 Altdeponie Neumühle, Stadt Amberg

Die Altdeponie Neumühle in der Stadt Amberg wurde von 1935 bis 1965 mit Bauschutt, Hausmüll, hausmüllähnlichen Gewerbe- und Industrieabfällen sowie industriellen Schlacken und Galvanikschlamm verfüllt. Sie hat eine Fläche von ca. 9 ha, eine Ablagerungsmächtigkeit von 3 - 9 m und ein Gesamtvolumen von ca. 420.000 m³.

Auf dem nördlichen Teil der Deponiefläche wurden nach Ende der Verfüllung überwiegend Gewerbebetriebe angesiedelt. Der südliche Teil wird großteils durch einen Reitclub genutzt (Reit- und Sandplätze).

Aufgrund der vorhandenen Schadstoffemissionen bestand ein gewisses Gefährdungspotenzial für Menschen und Umwelt, so dass Sanierungsmaßnahmen ergriffen werden müssen. Hier sind ebenfalls insbesondere Grundwasserbelastungen und die Deponiegasproduktion zu nennen. Aus den festgestellten Methankonzentrationen im Deponiegas leitete sich ein mögliches Explosionsrisiko auch im Bereich der bestehenden Bebauung ab. Dabei ist davon auszugehen, dass dieser kritische Zustand ohne eine gastechnische Sanierung noch über viele Jahre angehalten hätte.

Herkömmliche Sicherungen z.B. nach den technischen Vorgaben der TA Siedlungsabfall wären aufgrund der Bebauung und Nutzung des Geländes schwierig und überaus kostenaufwendig gewesen. Es mussten deshalb andere Problemlösungen gefunden werden, die eine kontrollierte Reduzierung des Gefährdungspotenzials in Verbindung mit daran angepassten Sicherungsmaßnahmen zum Ziel haben.

3.2 Technisches Konzept der Niederdruckbelüftung

Das technische Grundkonzept der Belüftung eines Deponiekörpers 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 Energieverbrauch gering ist und fortlaufend optimiert wird (Stegmann et al., 2000).

In Abbildung 2 und 3 sind beispielhaft die Anordnungen der technischen Einrichtungen zur Belüftung und Ablufferfassung auf den Altdeponien Kuhstedt und Milmersdorf dargestellt.

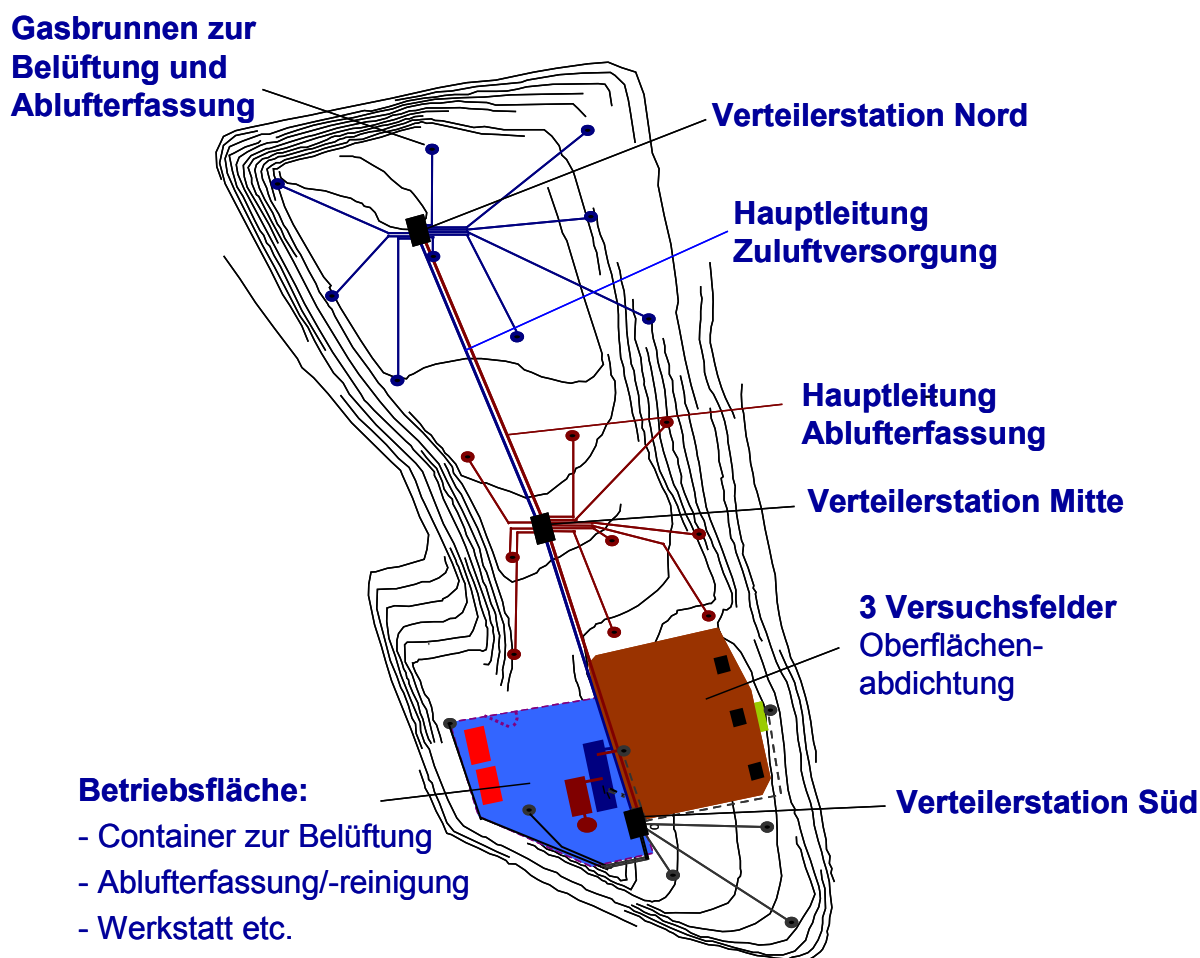


Abb. 2: Technische Einrichtungen zur aeroben in situ Stabilisierung der Altdeponie Kuhstedt, Landkreis Rotenburg (Wümme)

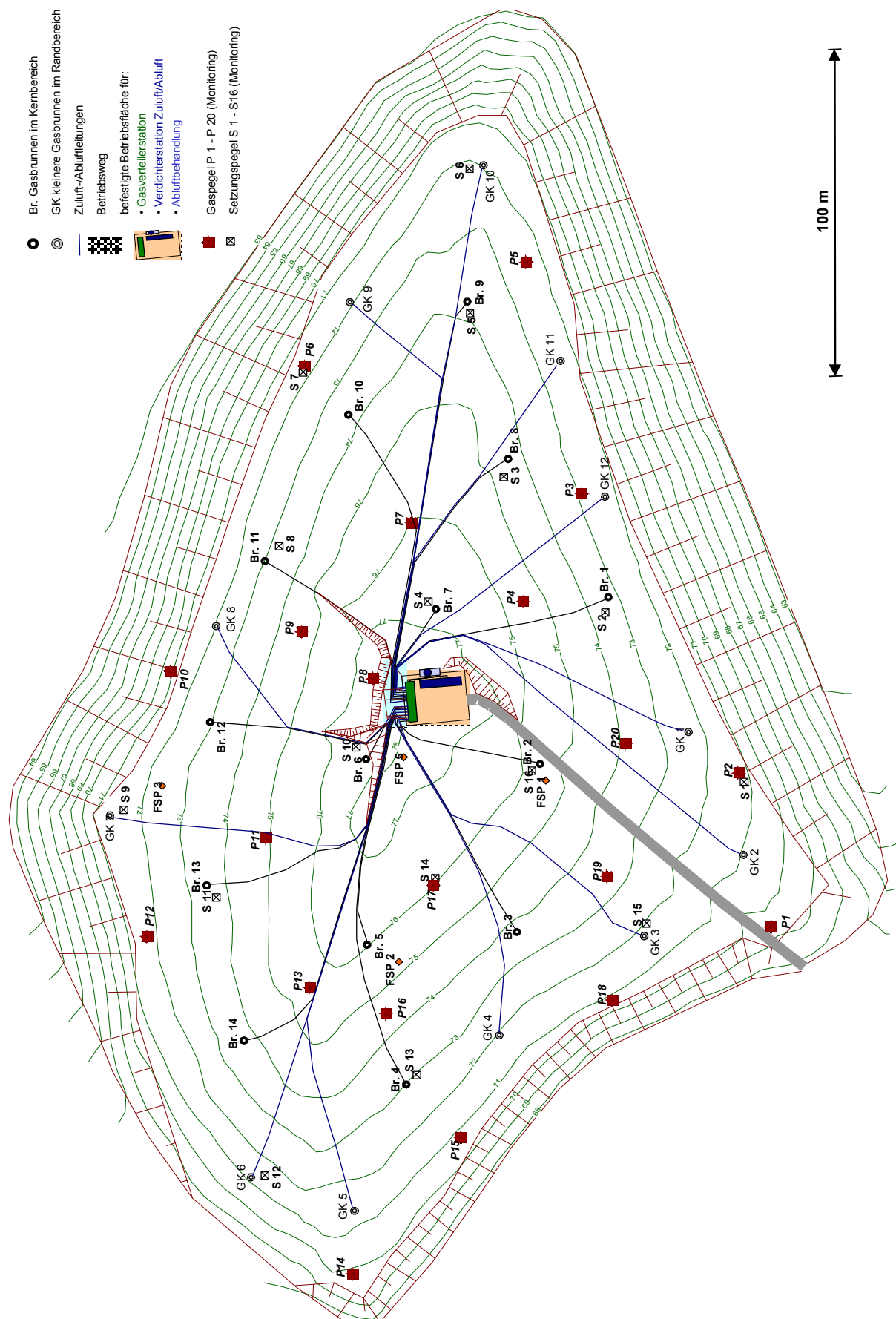


Abb. 3: Technische Einrichtungen zur aeroben in situ Stabilisierung der Deponie Milmersdorf, Landkreis Uckermark

Jeder Gasbrunnen ist über eine Einzelleitung mit einer zentralen Gasverteilerstation verbunden. Dort kann die Einzelleitung sowohl an die Hauptleitung zur Belüftung als auch an die Hauptsammelleitung zur Ablufferfassung angeschlossen werden.

Belüftung über die Gasbrunnen: Über den eingestellten Überdruck und das zugeführte Luftvolumen wird die Aerobisierung im Einflussbereich des jeweiligen Gasbrunnens sichergestellt.

Ablufferfassung über die Gasbrunnen: Über den eingestellten Unterdruck wird innerhalb des Einflussbereichs des Gasbrunnens die Abluft kontinuierlich abgesaugt, so dass unkontrollierte Abluftemissionen über die Deponieoberfläche bzw. eine potenzielle Gasmigration über den Bodenluftpfad in den angrenzenden Untergrund auf einem tolerierbar niedrigen Niveau gehalten werden.

Das Verteilersystem zur Belüftung ist über eine Hauptversorgungsleitung mit der Verdichterstation zur Belüftung verbunden. Das Gassammelsystem zur Ablufferfassung ist bei Bedarf mit einer Kondensatabscheidung versehen und über die Hauptabsaugleitung mit dem Verdichtersystem zur Ablufferfassung verbunden. Von dort wird die Abluft der Reinigungsstufe zugeführt.

3.2.1 Verdichterstation zur Belüftung und Ablufferfassung

Als „Herzstück“ der Niederdruckbelüftung wird eine Gasverdichterstation zur Belüftung und Abluftabsaugung eingesetzt. Die Gestaltung und der Betrieb der Belüftungs- und Ablufferfassungsanlagen soll derart erfolgen, dass im automatisierten Normal- oder Regelbetrieb

- auf der Abluftseite keine explosionsgefährlichen Atmosphären auftreten,
- ein hoher Nutzungsgrad des zugeführten Sauerstoffs erreicht wird.

Die gesamten Verdichteraggregate zur Belüftung und Ablufferfassung einschließlich Schalt- und Steuerschränken werden in einem mobilen Containern installiert.

Die Kontrolle der Funktionsfähigkeit aller technischen Einrichtungen auf den Deponien erfolgt regelmäßig. Über eine automatische Datenfernübertragung wird der Regelbetrieb überwacht und gesteuert. Bei einer Abschaltung der Anlage ist so sichergestellt, dass Betriebsstörungen schnell erkannt und kurzfristig beseitigt werden. In der Abbildung 4 ist die bauliche Ausführung der Verdichterstation zur

Belüftung und Ablufferfassung auf der Altdeponie Kuhstedt schematisch dargestellt.

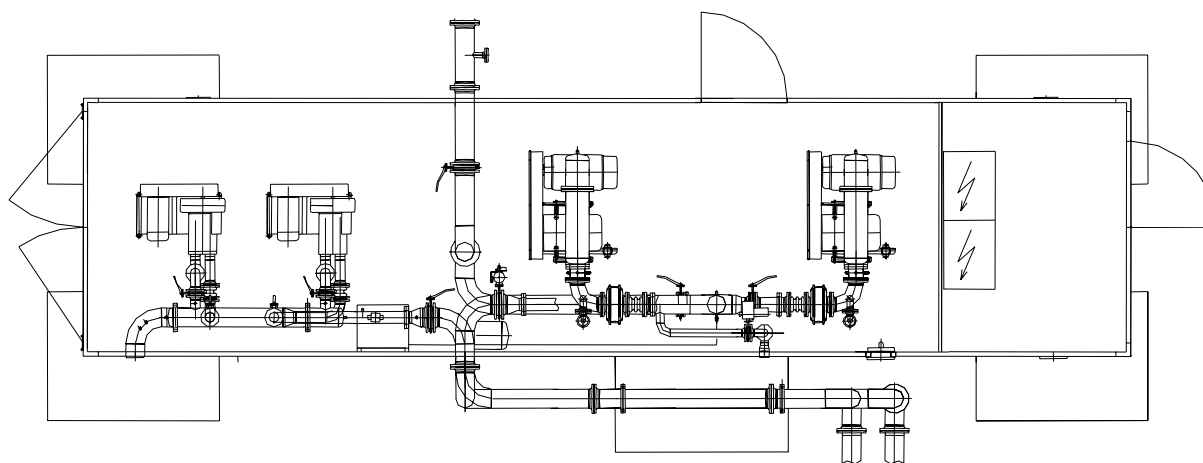


Abb. 4: Grundriss der Verdichterstation zur Belüftung und Ablufferfassung auf der Altdeponie Kuhstedt (gemäß Fa. Haase Energietechnik AG, Neumünster)

Die Dimensionierung der Verdichterstationen zur Belüftung und Ablufferfassung hängt entscheidend von den Gaswegigkeiten und dem Fließverhalten der zugeführten Luft im Deponiekörper ab. Die Belüftungstests und die Erfahrungen an den drei Standorten haben hier erhebliche standortspezifische Unterschiede zwischen den Überdrücken an den Belüftungsbrunnen bzw. am Verdichter zur Belüftung und den Belüftungsvolumina im Deponiekörper ergeben: während in Teilbereichen der Altdeponie Neumühle ein Überdruck von ca. 40 mbar erforderlich war, um 120 m³/h je Gasbrunnen an Luft in den Deponiekörper einzupressen, konnten bei der Deponie Milmersdorf in Brandenburg bei nur 17 mbar Überdruck über 300 m³/h an Luft über einen Gasbrunnen zugeführt werden. Diese beträchtlichen Unterschiede unterstreichen die Notwendigkeit von Voruntersuchungen, um standortspezifische technische Anlagen konzipieren zu können.

3.2.2 Abluftreinigung

Grundsätzlich kann die belastete Abluft über Biowäscher und Biofilter sowie durch Adsorption an Aktivkohle oder nichtkatalytische, autotherme Verfahren gereinigt werden.

Die Ergebnisse der Voruntersuchungen auf der Altdeponie Kuhstedt wiesen darauf hin, dass die Abluft nur geringfügig mit Schadstoffen (Spurenstoffen wie FCKW, LCKW, BTEX), Geruchsstoffen oder Methan belastet sein wird. Diese geringfügigen Belastungen liegen um Größenordnungen unter den Schadstoffkonzentrationen von

Deponiegas sowie z.B. von Abluftströmen einer Biomüllkompostierung oder der aeroben biologischen Restabfallbehandlung. Dennoch wird aus Emissionsschutzgründen zuerst ein autothermes Verfahren zur Abluftbehandlung eingesetzt, solange noch Restmethangehalte in der Abluft auftreten.

Mit der an den drei Standorten genutzten flammenlosen, nicht-katalytischen Oxidationsanlage kann das Schwachgas bei der in situ Stabilisierung umweltgerecht und nahezu ohne zusätzlichen Energieaufwand behandelt werden. Die flammenlose, nicht-katalytische Oxidation ist insbesondere in der Phase der Inbetriebnahme und den ersten Monaten des Belüftungsbetriebs ein effektives Reinigungsverfahren, das in seinem Wirkungsgrad mit der Hochtemperaturverbrennung vergleichbar ist, jedoch in der Regel ohne Stützgase auskommt. Insbesondere in der ersten Phase der in situ Stabilisierung, in der noch höhere Methanströme in der Abluft auftreten, ist dieses Verfahren geeignet, um die Methanemissionen zu behandeln. Da die Wirksamkeit von Methan hinsichtlich des Treibhauseffektes etwa 30mal so hoch ist, wie die von Kohlendioxid, ist eine betriebssichere Verbrennung auch vor diesem Hintergrund sinnvoll.

Wenn die erwähnten Belastungen infolge einer vollständigen Aerobisierung des Deponiekörpers soweit abgenommen haben, dass kein Methan und nahezu keine Spurenstoffe mehr in der erfassten Abluft vorhanden sind, kann wie auf der Altdeponie Neumühle ein Biofilter eingesetzt werden.

3.3 Grundsätzliche Prozesse und Auswirkungen bei der aeroben in situ Stabilisierung

Über die grundsätzlichen Auswirkungen der aeroben in situ Stabilisierung ist bereits an anderer Stelle ausführlich berichtet worden (Heyer et al., 1997, Heyer et al., 2000, Ritzkowski et al., 2001).

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. Der erhöhte Kohlenumsatz während der in situ Belüftung führt folglich zu einer schnelleren Stabilisierung der organischen Substanz.
- 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 und Ammonium) auf.
- Die Nachsorgezeiträume für den Emissionspfad Sickerwasser verkürzen sich bei der in situ Belüftung gegenüber strikt anaeroben Bedingungen mindestens um mehrere Jahrzehnte. Die Nachsorgephase ist nach Belüftungsende zwar noch nicht als beendet anzusehen, der Nachsorgeaufwand reduziert sich jedoch ganz erheblich, weil aufwendige Sickerwasserreinigungsmaßnahmen früher entfallen können. Würde Sickerwasser direkt in den Untergrund versickern, wie es bei Altdeponien ohne Dichtungs- und Drainsystemen zur Sickerwasserfassung der Fall sein kann, wären die umweltbelastenden Auswirkungen deutlich geringer.

Auswirkungen auf den Gaspfad:

- Durch den beschleunigten Kohlenstoffabbau wird die Bildungsrate von Kohlendioxid und Wasser (letzteres in vernachlässigbarer Größenordnung) 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.
- Bei Abfallfeststoffproben im „Deponiesimulationsreaktor“ lag der Kohlenstoffaustrag bzw. der Abbau der organischen Substanz während der Belüftung um den Faktor 1,5 - 5 höher als im Vergleichszeitraum unter anaeroben Bedingungen (Heyer et al., 1997).

3.4 Ergebnisse und Erfahrungen zum Stabilisierungsbetrieb

Der in situ Belüftungsbetrieb ist bei durchschnittlichen Deponiebedingungen für einen Zeitraum von 2 bis 4 Jahren vorgesehen. Mittlerweile liegen auf den Deponiestandorten Ergebnisse und Erfahrungen des Stabilisierungsbetriebs über 12 bis 24

Monate vor. Diese werden für folgende Bereiche beispielhaft dargestellt:

- Auswirkungen auf die Sickerwasser-/Grundwasserbelastung
- Auswirkungen auf den Gashaushalt
- Auswirkungen auf die Setzungen
- Auswirkungen auf die Temperaturen

3.4.1 Auswirkungen der in situ Stabilisierung auf die Sickerwasserbelastung

Auf der Altdeponie Kuhstedt liegen Erfahrungen von 24 Monaten Belüftungsbetrieb vor (Ritzkowski et al., 2002):

- Die Monitoringergebnisse an der Altdeponie Kuhstedt bestätigen grundsätzlich die o.g. Entwicklung der Prozesse und Auswirkungen.
- Veränderungen der Beschaffenheit des Grundwasserleiters sind zu erkennen, z.B. die Erhöhung des Redoxpotenzials, des Sauerstoffgehalts und des pH-Werts als erster Schritt zur Reduzierung der Belastung mit organischen Verbindungen und Stickstoff.
- Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der Kohlenstoffbelastungen im Grundwasserabstrom an 3 Messpegeln am Deponierand. Vom Beginn der Belüftung im April 2001 ist über ein Jahr Stabilisierung eine kontinuierliche Abnahme der Kohlenstoffbelastung im Grundwasserabstrom festzustellen. Aufgrund einer betrieblichen Beeinträchtigung kam es im Frühjahr 2002 zwar nochmals zu einer Erhöhung der TOC-Konzentrationen, insgesamt ist aber die Abnahme der Grundwasserbelastung zu erkennen.
- Abbildung 6 zeigt die Entwicklung der Stickstoffbelastungen im Grundwasserabstrom an einem Messpegel am Deponierand. Vom Beginn der Belüftung im April 2001 ist über ein Jahr Stabilisierung trotz einiger Schwankungen eine deutliche Abnahme der Stickstoffbelastung festzustellen.

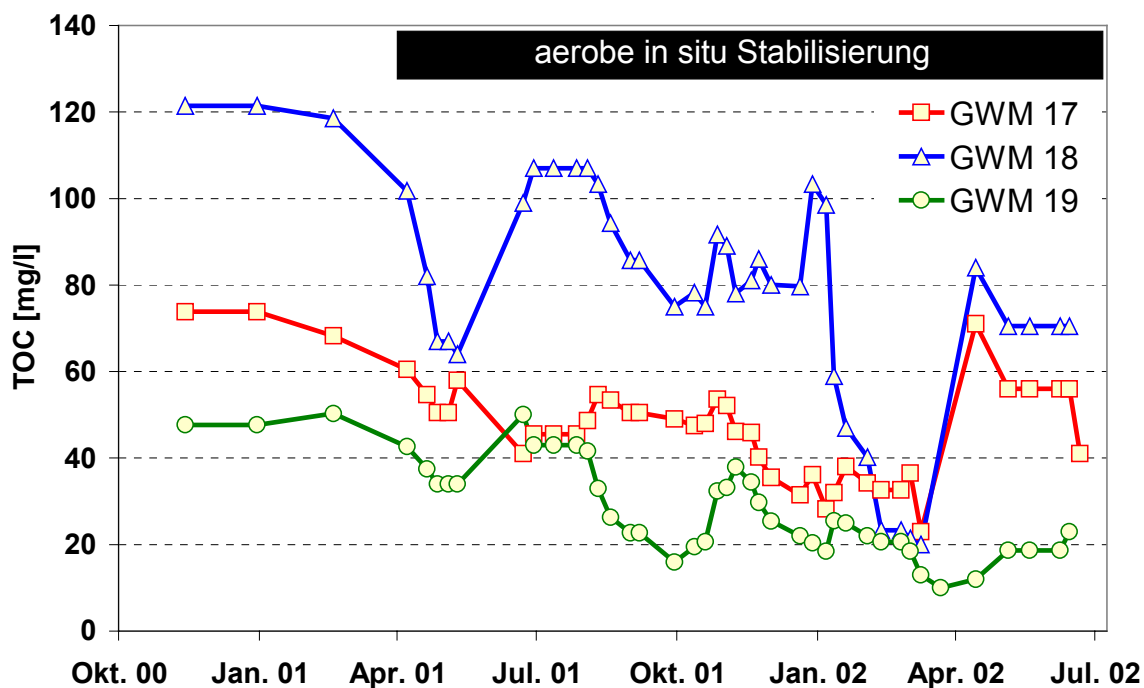


Abb. 5 Entwicklung der TOC-Grundwasserbelastung im Abstrombereich bei der in situ Stabilisierung der Altdeponie Kuhstedt (Daten der wissenschaftlichen Begleitung durch die TU Hamburg-Harburg, Ritzkowski et al., 2002)

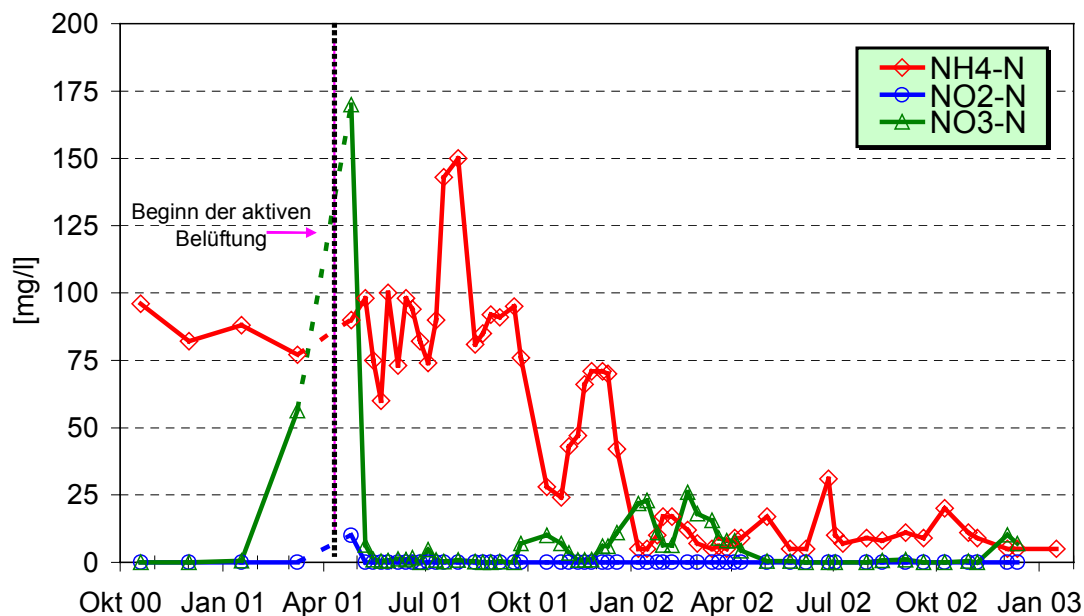


Abb. 6: Entwicklung der Stickstoffbelastungen im Abstrombereich an einer Grundwassermessstelle bei der in situ Stabilisierung der Altdeponie Kuhstedt (persönliche Mitteilung: Ritzkowski, 2003)

3.4.2 Auswirkungen der in situ Stabilisierung auf den Gashaushalt

Die Auswirkungen der in situ Stabilisierung auf den Gashaushalt ist sowohl am Gesamt-Abluftstrom in der Gasverdichterstation wie an den einzelnen Gasbrunnen zu erkennen.

In der Abbildung 7 ist die Deponiegaszusammensetzung vor Inbetriebnahme der in situ Stabilisierung auf der Deponie Milmersdorf und in den folgenden 10 Monaten der Stabilisierung den Gesamt-Abluftstrom aufgetragen.

Es ergaben sich folgende Entwicklungen des Gashaushaltes:

- Vor der in situ Stabilisierung lagen die Methangehalte an den Gasbrunnen zwischen 50 und 80 Vol.-%. Die Kohlendioxidgehalte schwankten bei allen Gasbrunnen um die 20 Vol.-%, während kein Sauerstoff vorhanden war.
- Während eines relativ kurzen Absaugbetriebes konnte bei allen Gasbrunnen eine abnehmende Tendenz bezüglich des Methangehaltes festgestellt werden.
- Deutlich zu erkennen ist der im Juni einsetzende Belüftungsbetrieb. Die rasche Abnahme der Methankonzentration bei nahezu konstanten Kohlendioxidgehalten zeigt deutlich den Einfluss der Belüftungsmaßnahmen.
- Es findet nunmehr ein beschleunigter Kohlenstoffaustrag statt.

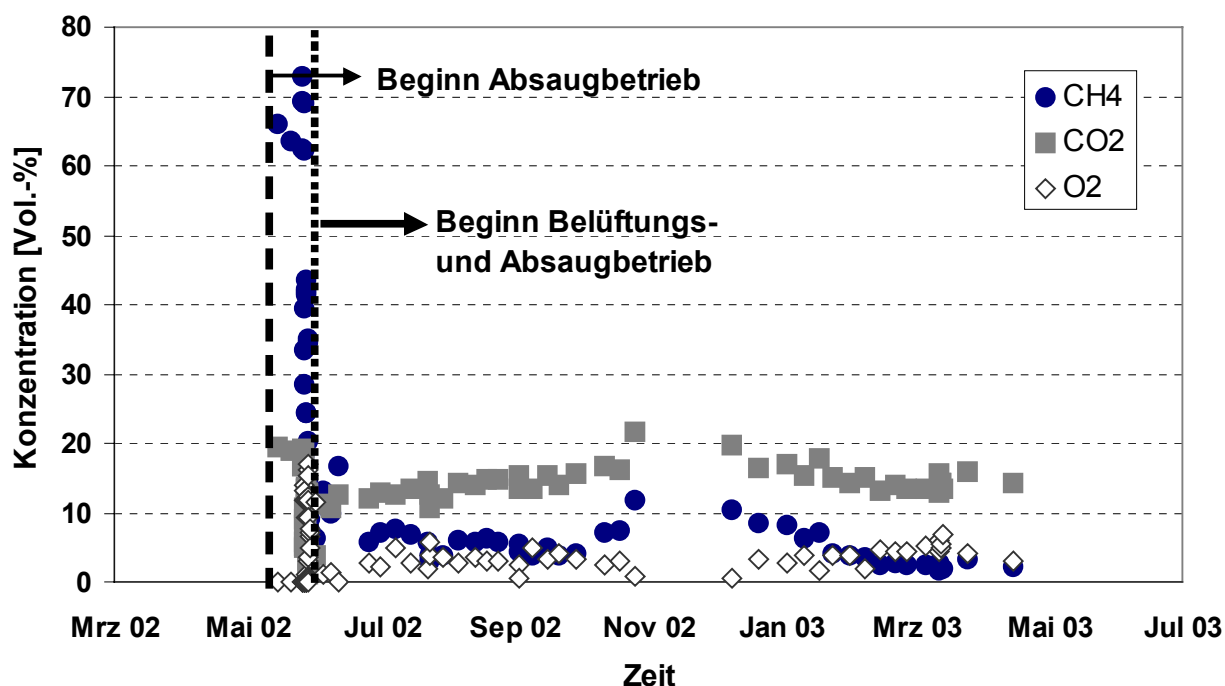


Abb. 7: Gaszusammensetzung an Abluftsammlerbalken, zu Beginn und während des Stabilisierungsbetriebes, Deponie Milmersdorf

Abbildung 8 zeigt die Abluftzusammensetzung der Gasverdichterstation auf der Altdeponie Neumühle, die sich als Mischwert aus der erfassten Bodenluft aller 29 Gasbrunnen ergibt.

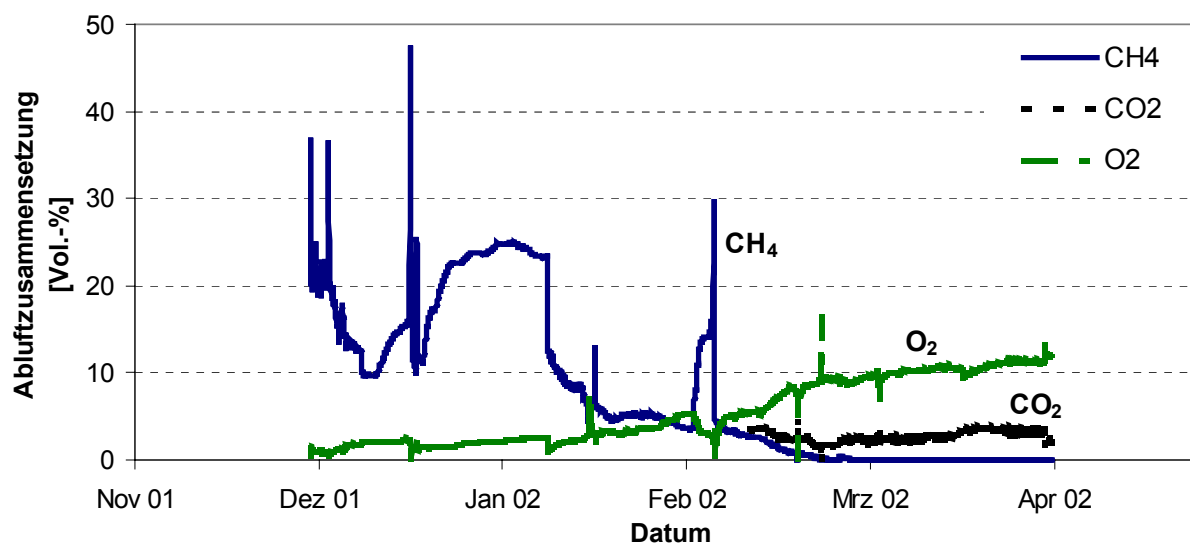


Abb. 8: Abluftzusammensetzung an der Gasverdichterstation, Altdeponie Neumühle, Stadt Amberg

Es ergab sich folgende Entwicklung in der ersten Phase der Stabilisierung:

- Anfänglich waren noch nennenswerte Methangehalte über 40 Vol.-% im Abluftstrom enthalten. Infolge der geringen Gasproduktion im Deponiekörper und der kontrollierten Übersaugung, bei der anfänglich alle 29 Gasbrunnen abgesaugt wurden, nahmen diese Methankonzentrationen jedoch kontinuierlich ab.
- Es kam zu einem allmählichen Anstieg des Sauerstoffgehalts in der Bodenluft. Ein Teil des derart zugeführten Sauerstoffs wurde zu Kohlendioxid umgesetzt, so dass bereits allein aufgrund der Übersaugung in weiten Bereichen der Altdeponie ein belüftungsähnlicher Zustand zur Aerobisierung eingestellt werden konnte.
- Die Abluftvolumenströme wurden allmählich gesteigert, bis mit dem eingestellten Abluftvolumenstrom und dem korrespondierenden Unterdruck ein sehr hoher Erfassungsgrad im Deponiekörper sichergestellt werden konnte.
- Der Methangehalt im Abluftstrom sank nach nur drei Monaten Stabilisierungsbetrieb auf nahezu 0 Vol.-%.

In Abbildung 9 ist exemplarisch an zwei Gasbrunnen der Altdeponie Neumühle die Beschaffenheit der Bodenluft vor Inbetriebnahme der in situ Stabilisierung und in der ersten Stabilisierungsphase aufgetragen.

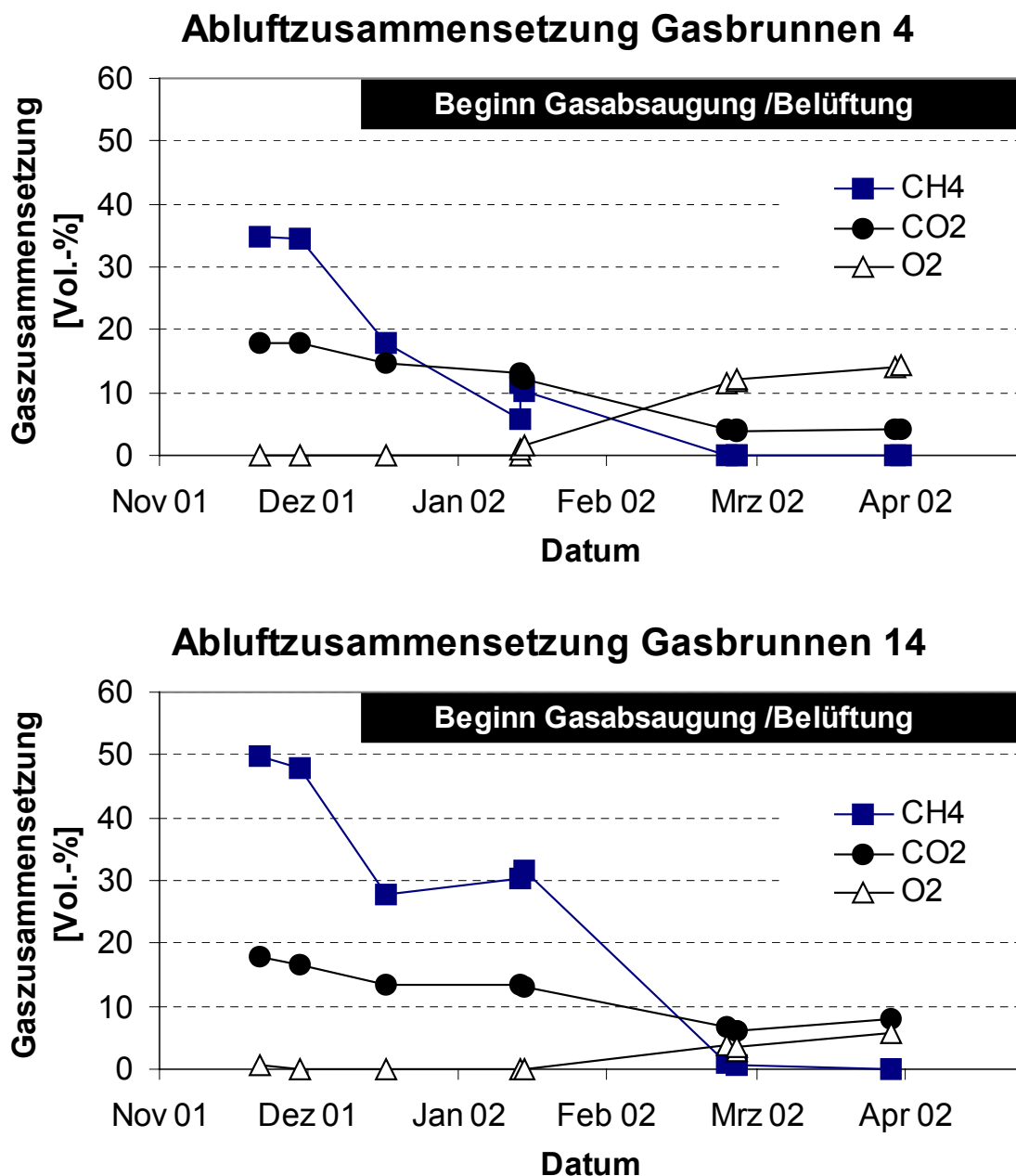


Abb. 9: Abluftzusammensetzungen an 2 Gasbrunnen, Altdeponie Neumühle

Hier ergab sich folgende Veränderung des Gashaushalts:

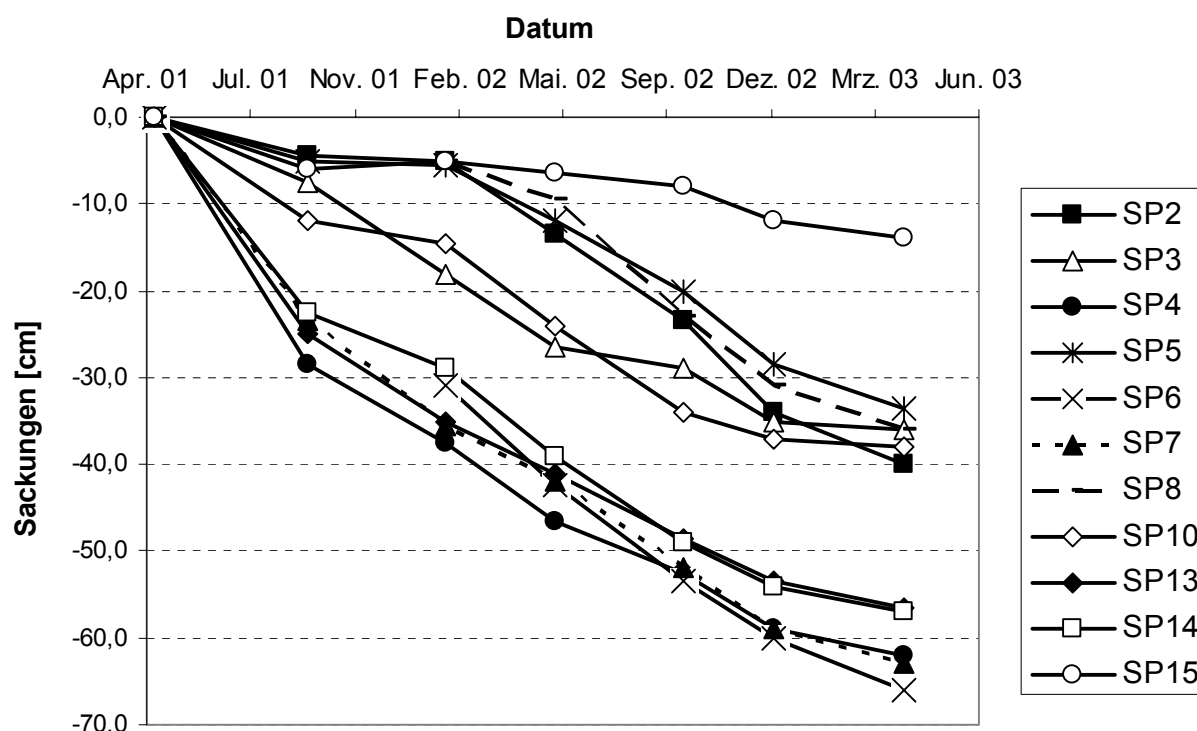
- Vor Beginn der Stabilisierung waren unterschiedlich hohe Methankonzentrationen im Deponiekörper festzustellen. Im südlichen Deponiebereich traten im Ausgangszustand Methangehalte über 60 Vol.-% auf. Im mittleren Deponiebereich gab es ebenfalls noch erhöhte Methankonzentrationen bis zu 50 Vol.-%. Im nördlichen Deponiebereich waren die Ausgangsbelastungen deutlich geringer, aber mit über 15 Vol.-% bis zu 40 Vol.-% im Sinne einer potenziellen Gefährdung der bestehenden Bebauung infolge Gasmigration immer noch erheblich.

- Durch die kontrollierte Übersaugung konnte nach einigen Wochen in allen Deponiebereichen, in denen die in situ Stabilisierung durchgeführt wird, eine deutliche Reduzierung auf unter 2 Vol.-%, in vielen Fällen bereits auf nahezu 0 Vol.-% erreicht werden.
- Das erste Hauptziel der in situ Stabilisierung der Altdeponie Amberg, die sofortige Gefahrenabwehr für die bestehende Bebauung und für die intensive Nutzung der Altdeponie, wurde damit erreicht.
- Die Fließrichtung des Deponiegases bzw. Methans in der Bodenluft war jeweils von den Gebäuden weg gerichtet.
- Der Methangehalt nahm kontinuierlich ab und ist mittlerweile deutlich unter einer Gefährdungsschwelle hinsichtlich Explosionen oder gesundheitlichen Gefährdungen.

In allen Gasbrunnen und in allen Gaskontrollpegeln an den Gebäuden konnten über eine differenzierte Steuerung der Ablufferfassung diese geringen und weiter abnehmenden Restmethangehalte eingestellt werden.

3.4.3 Auswirkungen auf die Setzungen und weitere Erfahrungen

Bisher hat es an allen drei Standorten nennenswerte Setzungen im Dezimeterbereich gegeben, was auf den beschleunigten Masseabbau und die Schwächung des „Stützgerüsts“, das die verbleibende Abfallmatrix bildet, zurückzuführen ist. Nach knapp zwei Jahren Belüftung auf der Altdeponie Kuhstedt sind dort Setzungen bzw. Sackungen zwischen 15 cm und 70 cm bzw. 1,7 - 8% der Deponiehöhe aufgetreten, wie es in Abbildung 10 an einigen Setzungspegeln zu erkennen ist.



SP: Setzungspegel

Abb. 10: Verlauf der Setzungen / Sackungen nach Beginn der in situ Stabilisierung im April 2001, Deponie Kuhstedt

3.4.4 Auswirkungen auf die Temperaturen und weitere Erfahrungen

Weitere Erfahrungen bei der in situ Stabilisierung:

- Die aerobe in situ Stabilisierung führt überwiegend zu Temperaturen im Deponiekörper zwischen 20 und 50°C. Abbildung 11 zeigt beispielhaft die Temperaturverteilung im mittleren Deponiebereich der Deponie Kuhstedt, wo auch die Temperaturschichtung über die Tiefe des Deponiekörpers und der Einfluss der Außentemperatur zu erkennen ist. Nennenswerte Temperaturerhöhungen bis in den thermophilen Bereich (50 – 70°C), wie sie bei der Kompostierung bekannt sind, haben sich in wenigen Deponiebereichen der Altdeponie Kuhstedt und Milnersdorf über mehrere Monate eingestellt. Die Temperaturentwicklungen in ihrer Gesamtheit sind eindeutige Anzeichen, dass infolge intensiver aerober Umsetzungsprozesse Wärmeenergie freigesetzt wird.

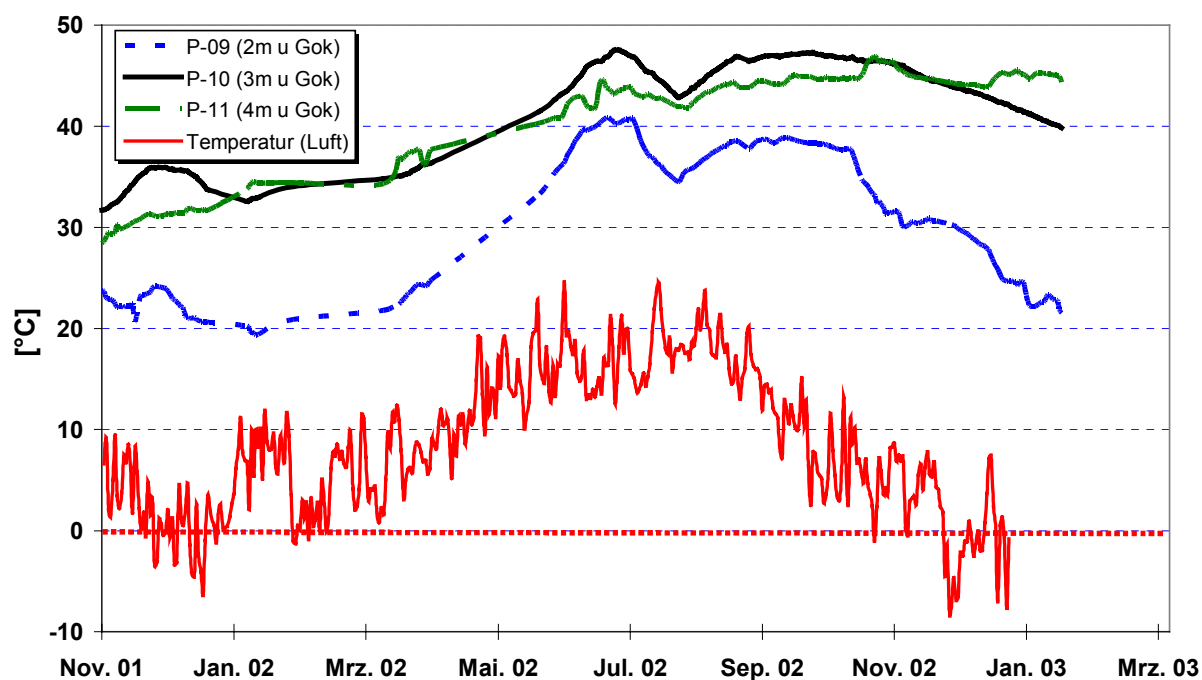


Abb. 11: Verlauf der Temperaturentwicklung im mittleren Deponiebereich nach Beginn der in situ Stabilisierung im April 2001, Deponie Kuhstedt (persönliche Mitteilung: Ritzkowski, 2003)

- Ein Zusammenhang zwischen Sauerstoffzufuhr, Intensität der aeroben Umsetzungsprozesse und Temperaturentwicklung ist feststellbar.
- Austrocknungsprozesse im Deponiekörper aufgrund des erhöhten Luft-/ Gasaustauschs sind bei allen drei Standorten nicht erkennbar.
- Bei der in situ Stabilisierung tritt ein temperaturbedingter Kondensatanfall im Abluftfassungssystem auf. Die Kondensatbelastungen sind bei allen Deponien und Altablagerungen, auf denen die Belüftung durchgeführt wird, sehr gering.

Insgesamt lässt sich bei der Beurteilung der bisherigen Erfahrungen an allen drei Deponiestandorten feststellen, dass mit der gewählten Belüftungstechnik die grundsätzlichen Ziele der beschleunigten Stabilisierung durch eine kontrollierte Reduzierung des Emissionspotenzials erreicht werden können.

4 Kosten und Kosteneinsparungen durch die aerobe in situ Stabilisierung mit der Niederdruckbelüftung

4.1 Kosten der Niederdruckbelüftung

In Abhängigkeit des standortspezifisch festzulegenden technischen Aufwands der Belüftungseinrichtungen, der vorgesehenen Stabilisierungsdauer, der Belüftungs-kapazität und weiterer Rahmenbedingungen können die Kosten für die Deponie-stabilisierung erheblich variieren.

In Tabelle 1 sind die Grundkosten der drei in Betrieb befindlichen Projekte zur aero-ben in situ Stabilisierung mit der Niederdruckbelüftung (System AEROflott®) aufge-führt.

Tab. 1: Grundkosten für Investitionen und Betrieb der aeroben in situ Stabilisie-rung mit der Niederdruckbelüftung an drei Standorten

Bauteil /Leistung	Kuhstedt	Amberg	Milnersdorf
Investitions- und Betriebskosten (Netto)¹⁾	650.000,- €	650.000,- €	640.000,-²⁾ €
Deponievolumen (gesamt)	220.000 m ³	420.000 m ³	580.000 m ³
Spezifische Kosten (Bezug m³ Deponievolumen)	3,0 €/m³	1,5 €/m³	1,1 €/m³
Belüftungsleistung max.	2.400 m ³ /h	900 m ³ /h	2.400 m ³ /h
Spezifische Kosten (Bezug m³ Zuluft/Abluft)	0,014 €/m³	0,036 €/m³	0,014 €/m³

1): Nettokosten für Infrastruktur, Baustelleneinrichtung, Gasbrunnen, Leitungssysteme, Gasverteilerstationen, Verdichterstation, Abluftbehandlung, Betriebskosten für 2- 3 Jahre, ohne Monitoringmaßnahmen, Planung, Genehmigungen, Gutachten, Berichtswesen, Dokumentation, und weiteren Nebenkosten wie z.T. wissenschaftliche Begleitung

2): In Milnersdorf waren bereits 14 Gasbrunnen vorhanden, die zur Belüftung genutzt werden können

Die derzeit in Betrieb befindlichen Projekte zur Deponiebelüftung und beschleunigten Stabilisierung führen zu Grundkosten für Investitionen und Betrieb von voraussicht-lich etwa 650.000,- €, die bezogen auf das gesamte zu stabilisierende Deponie-körpervolumen in einer Größenordnung von 1 - 3 €/m³ liegen (Tabelle 1). Werden die Belüftungskosten auf das Zuluft-/Abluftvolumen bezogen, das vom Anteil des zu stabilisierenden Deponievolumens (biologisch verfügbarer Anteil im Deponiekörper) und der resultierenden Belüftungs-kapazität bestimmt wird, so ergeben sich Kosten zwischen 0,014 und 0,036 €/m³ zugeführtes und abgesaugtes Gasvolumen. Pauschale und verallgemeinerbare Angaben sind daher nicht möglich, weil Deponien neben dem Volumen sehr unterschiedliche Randbedingungen und Anforderungen

aufweisen (Sauerstoffbedarf, Ablagerungsmächtigkeit, Längen der Leitungssysteme, Anzahl Gasverteilerstationen, Bebauungssituation, Infrastruktur usw.).

Die Belüftungsdauer beträgt voraussichtlich etwa 2 - 4 Jahre. Bei allen drei Projekten liegt der bauliche und technische Aufwand insgesamt etwas höher, da sie als geförderte Pilotvorhaben mit mehr Ausstattung zur wissenschaftlichen Begleitung und mit technischen Zusatzgeräten für ein umfangreicheres Monitoringprogramm versehen wurden.

Bei der Niederdruckbelüftung bestehen erhebliche Kostensenkungspotenziale, wenn bereits vorhandene Einrichtungen und Infrastruktur auf Deponiestandorten mitgenutzt werden können:

- bestehende Gasbrunnen und Leitungssysteme können zur Belüftung und Abluffterfassung mitgenutzt werden wie z.B. auf der Deponie Milmersdorf
- bestehende Infrastruktur wie Stromanschlüsse, Betriebswege, Einzäunungen, Gebäude etc.

Abschätzungen ergeben bei günstigen bis durchschnittlichen Standortrahmenbedingungen und dem optimierten, standardisierten Stabilisierungsbetrieb Kosten 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.

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

- Ersatz einer kostenintensiven Oberflächenabdichtung durch an den emissionsarmen Deponiekörper angepasste und langlebige alternative Oberflächenabdichtung, darüber geringere Kosten für Investitionen wie insbesondere für deren Instandhaltung
- bei Altablagerungen geringerer Aufwand bei der Grundwassersanierung und bei technischen Sicherungsmaßnahmen
- 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
- 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. Rückstellungsberechnungen zeigen, dass bei Einsatz der Stabilisierung insgesamt Kostenreduzierungen zur Stilllegung und Nachsorge von mindestens 10 bis 15% möglich sind.

4.2 Aerobe in situ Stabilisierung als Dienstleistung

Die Technik und der Betrieb zur Niederdruckbelüftung werden mit den nunmehr vorliegenden Erfahrungen laufend optimiert. Zusätzlich bestehen Möglichkeiten zur Kostenreduzierung, wenn technische Einrichtungen wie die Verdichteranlagen zur Belüftung und Ablufferfassung und die Abluftreinigungsaggregate für die Dauer der Stabilisierungsmaßnahmen gemietet oder geleast werden. Zudem kann der Stabilisierungsbetrieb der Anlagen einschließlich Monitoring und Dokumentation als externe Dienstleistung erbracht werden.

Die zeitlich befristete Anmietung der technischen Ausrüstung oder die vollständige Beauftragung der in situ Stabilisierung als Dienstleistung bietet für Deponiebetreiber folgende Vorteile (Hupe et al., 2003):

- Einbindung des umfassenden Know-hows des Dienstleisters
- keine oder allenfalls geringe Investitionskosten, keine finanziellen Risiken
- Finanzbedarf wird zeitlich gestreckt, Finanzierung kann ggf. über parallel erfolgende oder nachträgliche höherwertige Folgenutzung gedeckt werden
- Betrieb, Wartung und Reparatur über qualifiziertes Fachpersonal
- Anpassung der Aggregate zur Belüftung, Ablufferfassung und Abluftbehandlung an den Stabilisierungsverlauf, dadurch Kostensenkung
- eigenes Personal wird nicht gebunden, z.B. für Berichte und Dokumentationen für Genehmigungs- und Überwachungsbehörden
- reduziertes technisches und wirtschaftliches Betriebsrisiko
- Abstimmung und Integration in weitere Maßnahmen zur Stilllegung und Nach-

sorge im Rahmen eines „Gesamtpakets“

- weitere Nachsorgemaßnahmen können damit kostengünstig in externe Dienstleistung integriert werden, z.B. Erfassung und Behandlung von belastetem Grundwasser oder Sickerwasser, Kontroll- und Unterhaltungsmaßnahmen, jährliche Berichte zum Deponieverhalten als Grundlage zur Entlassung aus der Deponienachsorge

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit der aeroben in situ Stabilisierung der Altdeponien Kuhstedt, Neumühle, Milmersdorf und vergleichbarer 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.

In Abhängigkeiten der Deponierandbedingungen und des technischen wie betrieblichen Belüftungsaufwands können Kosten zwischen 0,5 und 3 € je m³ zu stabilisierendem Deponievolumen entstehen. Rückstellungsberechnungen zeigen, dass bei Einsatz der Stabilisierung insgesamt Kostenreduzierungen zur Stilllegung und Nachsorge von mindestens 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.

Dieses innovative Stabilisierungsverfahren ist ein wesentlicher Schritt zur Stilllegung von vielen Deponien und zur technischen, zeitlichen und finanziellen Überschaubarkeit der Deponienachsorge wie der Sanierung von Altablagerungen. Es kann u.a. im Rahmen der Regelungen des §14 (6) der DepV eingesetzt werden. Daher wird es auch als flankierende Messnahme im Leitfaden „Deponiestilllegung“ des VKS bzw. der ATV-DVWK genannt (Palm et al., 2003).

6 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., Stegmann, R. (2002): Technische Umsetzung und Kosten der in situ Stabilisierung mit dem AEROflott-Verfahren: Erfahrungen auf den Altdeponien Kuhstedt, Amberg und Milnersdorf. In: Deponietechnik 2002, Hamburger Berichte 18 (Hrsg.: R. Stegmann, G. Rettenberger, W. Bidlingmaier, H.-J. Ehrig), 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.
- Hupe, K., Heyer, K.-U., Stegmann, R. (2003): Kontrollierte Bewässerung und Belüftung von Deponien – Praxiserfahrungen. In: 8. Münsteraner Abfallwirtschaftstage (Hrsg.: B. Gallenkemper, W. Bidlingmaier, H. Doedens, R. Stegmann), Fachhochschule Münster, LASU.
- 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. (2002): Optimierte Oberflächenabdichtungen für stabilisierte Abfallablagerungen – Versuchsfelder auf der Altdeponie Kuhstedt – In: Handbuch der Altlastensanierung (Hrsg.: V. Franzius, K. Wolf, E. Brandt), C.F. Müller Verlag, Heidelberg, Gliederungsnummer 5589
- 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., Stegmann, R. 2001. Aerobe in situ Stabilisierung der Altdeponie Kuhstedt - Hintergründe, Potenziale, Möglichkeiten - In: Belüftung von Altdeponien zur in situ Stabilisierung. Tagung am 31.05.2001 in Kuhstedt, Landkreis Rotenburg (Wümme), Band 3 der Schriftenreihe Abfall aktuell, Hrsg.: R. Stegmann, Verlag Abfall aktuell, Stuttgart
- Ritzkowski, M., Heyer, K.-U., Stegmann, R. 2002. Laufende wissenschaftliche Begleitung, u.a. dokumentiert in: Aerobe in situ Stabilisierung der Altdeponie Kuhstedt – Laboruntersuchungen und Praxisbezug - In: Deponietechnik 2002, 3. Hamburger Abfallwirtschaftstage 14.-15. Februar 2002, Hamburger Berichte, Band 18, Hrsg.: R. Stegmann, G. Rettenberger, H.-J. Ehrig, W. Bidlingmaier, Verlag Abfall aktuell
- Stegmann, R., Hupe, K., Heyer, K.-U. 2000. Verfahren zur abgestuften beschleunigten in situ Stabilisierung von Deponien und Ablagerungen. 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:

Dipl.-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

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>

