

Erkenntnisstand zur in situ-Belüftung von Deponien am Beispiel des mehrjährigen Versuches auf der Altdeponie Kuhstedt

Marco Ritzkowski, Rainer Stegmann und Kai-Uwe Heyer*

TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Abfallwirtschaft

*Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. Dr.-Ing. Rainer Stegmann und Partner

1 Einleitung

Zwischen Juli 1999 und Januar 2004 wurde erstmalig in der Bundesrepublik ein mit Fördermitteln des BMBF sowie des Landkreises Rotenburg (Wümme) gefördertes Projekt zur beschleunigten aeroben in-situ-Stabilisierung einer stillgelegten Altdeponie mittels des Niederdruckbelüftungsverfahrens *AEROflott*[®] (STEGMANN ET AL., 2000) durchgeführt. Vorausgegangen waren umfangreiche Untersuchungen an Abfallproben aus Altdeponien im Labormaßstab sowie großtechnische Belüftungsversuche im Jahr 1998 auf der Altdeponie Kuhstedt. Sowohl die Ergebnisse der Versuche in Deponiesimulationsreaktoren (DSR) als auch der Belüftungs- und Absaugversuche vor Ort bestätigten die prinzipielle Eignung des Verfahrens für den ausgewählten Standort.

Nach der Fertigstellung der Gasbrunnen sowie des Leitungssystems zur Belüftung und Ablufterfassung wurde im vierten Quartal 2000 sowie im ersten Quartal 2001 Deponiegas aus der Altdeponie abgesaugt und über eine mobile Hochtemperaturfackel verbrannt. Im April 2001 wurde der reguläre Belüftungs- und Ablufterfassungsbetrieb der Gesamtanlage aufgenommen und seit dieser Zeit im weitgehend kontinuierlichen Tag- und Nachtbetrieb durchgeführt.

Nach Abschluss der ersten Projektperiode im Januar 2004 können nun anhand der Ergebnisse des breit angelegten begleitenden Monitoringprogramms die Auswirkungen der biologischen in situ-Stabilisierung auf das Emissionsverhalten des Deponiekörpers zwischenbeurteilt werden. Die Ergebnisse geben wesentliche Hinweise auf die Leistungsfähigkeit des gewählten Verfahrens. So konnten beispielsweise im Bereich des Sickerwassers signifikante Qualitätsänderungen beobachtet werden, welche im wesentlichen im Bereich der organischen Belastungen sowie der Ammoniumkonzentrationen liegen. Insbesondere der Parameter Stickstoff bestimmt maßgeblich die notwendige Dauer etwaiger Sickerwasserreinigungsmaßnahmen im Zuge der Deponienachsorge. Diverse Untersuchungen an Sickerwässern bestehender Betriebsdeponien sowie Extrapolationen von Laboruntersuchungen in Deponiesimulationsreaktoren deuten darauf hin, dass Sickerwasseremissionen über Jahrzehnte bis > 100 Jahre behandelt werden

müssen. Unter dem Einfluss der aeroben in situ-Stabilisierung kann sowohl das mobilisierbare Stickstoff- als auch Kohlenstoffpotenzial (N- und C-Pool) innerhalb überschaubarer Zeiträume (wenige Jahre) signifikant reduziert werden. Langfristig ist mit Ammonium- und TOC / BSB-Emissionen auf einem niedrigen Niveau zu rechnen. Ausschlaggebend im Bereich des Stickstoffs sind Ammonifikations- und Nitrifikations-/Denitrifikationsprozesse sowie das Ausstrippen in Form von Ammoniak. Diese Reaktionen konnten innerhalb der vergangenen beiden Jahre im Labormaßstab nachgewiesen werden und scheinen im großtechnischen Maßstab ebenfalls relevant zu sein. Für die Reduzierung des Kohlenstoffpotenzials ist die beschleunigte mikrobielle Umsetzung unter aeroben Milieu verantwortlich, welche zudem anaerob schwerabbaubare Verbindungen weiter reduzieren kann.

Im Bereich des Deponiegases kann durch die Umstellung auf aerobe Milieubedingungen ein deutlich beschleunigter Kohlenstoffaustrag initiiert werden, so dass die langfristig zu erwartenden Restgasemissionen auf einem sehr niedrigen Niveau verlaufen werden.

Weitere Aspekte sind die unmittelbaren Auswirkungen der gesteigerten biologischen Aktivität, welche an signifikanten Temperaturerhöhungen des Deponiekörpers über lange Zeiträume sowie der Realisierung der zu erwartenden Restsetzungen innerhalb stark verkürzter Zeiträume deutlich werden. Obwohl der Ablagerungsbetrieb auf der Deponie Kuhstedt bereits im Jahre 1987 beendet wurde und somit die Abfälle im Mittel bereits weit über 14 Jahre (vor Beginn der Belüftungsmaßnahme) unter anaeroben Bedingungen biologisch abgebaut wurden, traten bereits in den ersten 30 Monaten des Belüftungsbetriebes durchschnittliche Setzungen von über 5% der Deponiehöhe auf. Diese Ergebnisse liefern wichtige Hinweise in Hinblick auf den erforderlichen Zeitpunkt zur Aufbringung einer endgültigen Oberflächenabdichtung bei nicht beschleunigt stabilisierten Altdeponien. Der Beitrag greift die wesentlichen Ergebnisse des 4½-jährigen Forschungsvorhabens und schwerpunktmäßig die großtechnische Anwendung auf, wobei Ergebnisse begleitend durchgeführter Laboruntersuchungen sowie ein Ausblick auf mögliche Kriterien zur Definition des Stabilisierungserfolges ebenfalls thematisiert werden.

2 Material und Methoden

2.1 Die Altdeponie Kuhstedt

Die Altdeponie Kuhstedt wurde Mitte der sechziger Jahre in einer ehemaligen Kiesgrube angelegt und ab 1973 als Kreismülldeponie des Landkreises Rotenburg (Wümme) verfüllt. Bei Betriebsende 1987 betrug das Gesamtvolumen der abgelagerten Abfälle (vorwiegend Hausmüll, Sperrmüll und Bauschutt) ca. 220.000 m³, die auf einer Fläche

von 3,2 ha abgelagert wurden. Die Höhe der Deponie beträgt zwischen 8 und 10 m, wobei die Deponiebasis ca. 2 – 3 m unter der Geländeoberkante liegt. Die Deponie ist nicht basis- und oberflächengedichtet und verfügt über kein Gaserfassungs- bzw. Gasnutzungssystem. Die als Haldendeponie aufgebaute Ablagerung weist z.T. sehr steile, in einen Plateaubereich einmündende Böschungen auf, wobei das Deponieplanum ein nur sehr geringes Nord-Süd-Gefälle besitzt.

Mehrere Grundwassermessstellen sind in dem ersten und zweiten Grundwasserleiter sowohl im An- als auch im Abstrom der Altdeponie verfiltert. Zur Erhöhung der Signifikanz der Grundwasseruntersuchungen im Rahmen der Überwachung der Belüftungsmaßnahmen wurden im Herbst 2000 drei weitere Grundwasserüberwachungspegel in den oberen Grundwasserleiter im direkten Randbereich der Altdeponie (Abstromrichtung) niedergebracht.

2.2 Technische Einrichtungen zur Niederdruckbelüftung

Im Rahmen des Projektes wurden 25 Gasbrunnen zur Belüftung- und Ablufferfassung installiert, welche über Einzelleitungen an drei Gasverteilerstationen angeschlossen sind. Diese sind über zwei Hauptleitungen mit den Zu- und Abluftverdichtern in der Gasverdichterstation verbunden. Weitere bauliche Einrichtungen bestehen mit drei Versuchsfeldern zur Untersuchung unterschiedlicher alternativer Oberflächenabdeckungen (HUPE ET AL., 2004), einer Anlage zur Abluftreinigung (VosciBox[®]) sowie Aufenthalts- und Werkstattcontainern (Abbildung 1). Zur Überwachung der Belüftungsmaßnahme wurden zusätzlich 33 Gaspegel in unterschiedlichen Bereichen und Tiefen installiert, welche zusammen mit 9 Überwachungspegeln aus den Vorversuchen im Jahr 1998 ein umfassendes Monitoring erlauben (RITZKOWSKI ET AL., 2001).

Im Rahmen der Überwachung der Gaszusammensetzung im Deponiekörper wurden während der ersten 20 Monate des Belüftungsbetriebes fünf Bereiche identifiziert, in welche über das bestehende Gasbrunnensystem nur ungenügend Luftsauerstoff eingebracht werden konnte. Im ersten Quartal 2003 wurden daher fünf zusätzliche Kleinbelüftungsbrunnen in die Deponie eingebaut und an das System zur Belüftung angeschlossen.

Aufgrund der deutlich reduzierten Methankonzentrationen in der erfassten Abluft konnte im vierten Quartal 2003 das Abluftreinigungssystem von der nichtkatalytischen thermischen Oxidation auf Biofilter umgestellt werden. Zum Einsatz kommt ein Containerbiofilter sowie ein im Parallelbetrieb gefahrener Versuchsbiofilter, welcher die Untersuchung verschiedener Filtermaterialien sowie weiterer Kenngrößen im Zusammenhang mit dem Geruchs- und Methanabbau erlaubt.

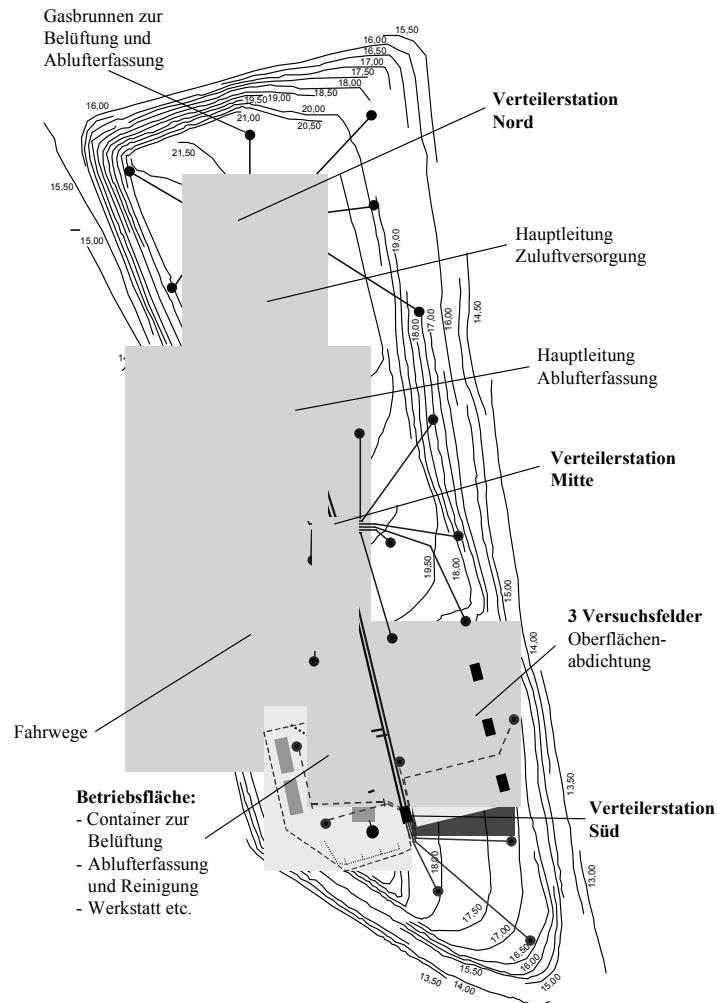


Abbildung 1 Übersicht der baulichen Maßnahmen und Installationen zur Durchführung der Belüftungsmaßnahme auf der Altdeponie Kuhstedt

2.3 Das Verfahrensprinzip der Niederdruckbelüftung

Durch die gezielte Luft- bzw. Sauerstoffzuführung in den Deponiekörper wird der biologisch abbaubare Anteil der organischen Substanz (z.B. Kohlenwasserstoffe) infolge mikrobiellen Stoffwechsels in seine oxidierten Formen Kohlendioxid und Wasser überführt. Zusätzlich kommt es zur Oxidation reduzierter Schwefel- und Stickstoffverbindungen. Parallel hierzu verlaufen aufbauende Reaktionen, welche zur Bildung huminstoffähnlicher, komplexer und relativ stabiler Verbindungen mit hohem Adsorptionspotenzial führen (LEIKAM ET AL., 1998). Generell können die Auswirkungen der Maßnahme zwischen den drei Phasen Gas, Feststoff und Flüssigkeit unterschieden werden.

In der Gasphase kommt es unter dem Einfluss der Belüftung (Wechsel des Milieus im Deponiekörper von anaeroben zu aeroben Verhältnissen) zunächst zu einer Verdün-

nung, und infolge der einsetzenden mikrobiologischen Methanoxidation erfolgt eine weitere deutliche Abnahme der CH_4 -Gehalte, begleitet von einem Anstieg der Stickstoffkonzentrationen. Die CO_2 -Konzentrationen nehmen aufgrund der aeroben Atmung der Mikroorganismen (CO_2 -Produktion) deutlich geringer ab, während Sauerstoff bei einer entsprechenden mikrobiellen Umsetzung nur noch in geringen Konzentrationen in der Abluft vorliegt. Die O_2 -Konzentration in der Gasphase ist folglich ein wesentlicher Parameter für die Einstellung möglichst optimaler Betriebszustände des Belüftungssystems. Die zuzuführenden Luftvolumina sind hierbei so zu wählen, dass der enthaltene Sauerstoff nicht zum limitierenden Faktor für die Aktivität der Mikroorganismen wird und gleichzeitig möglichst hohe Kohlenstofffrachten über die Abluft realisiert werden können. Hierbei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass der mikrobielle Stoffumsatz entscheidend von der O_2 -Verfügbarkeit in dem Mikroporensystem des Deponiekörpers abhängt. Da messtechnisch jedoch nur Sauerstoffkonzentrationen im Makroporensystem bestimmt werden können (im wesentlichen durch Konvektionsvorgänge beeinflusst), kommt der diffusiven O_2 -Verteilung (in die Mikroporen) in der Konsequenz eine wichtige Bedeutung zu. Eine ausreichende, kontinuierliche Sauerstoffversorgung der Gasfließwege im Deponiekörper stellt in diesem Zusammenhang die Grundvoraussetzung für entsprechend hohe mikrobielle Abbauleistungen dar.

Spezielle Laboruntersuchungen zur biologischen Aktivität (Atmungsaktivität) der jeweiligen Abfallstoffe können wichtige Hinweise zur Ermittlung der benötigten Netto-Belüftungsvolumina geben. Unerlässlich zum Betrieb der Anlage ist jedoch immer auch die Beachtung der auftretenden Druckverluste sowie der physikalischen Eigenschaften des Deponiekörpers (Gaswegigkeiten, Fließwege etc.), welche die benötigten Luftmengen i.d.R. deutlich erhöhen. Sichere Betriebszustände können folglich nur über eine kontinuierliche Erfassung und Analyse der Abluftzusammensetzung und die entsprechende Regelung der Belüftungseinrichtung eingestellt und aufrechterhalten werden.

Aus dem Deponiekörper entnommene Feststoffproben liefern ebenfalls wichtige Aussagen über die Stabilisierbarkeit einer Deponie mittels der in situ Belüftung. So kann beispielsweise das verbleibende Deponiegas-Bildungspotenzial sowie die korrespondierende Atmungsaktivität bestimmt und etwaigen Anforderungswerten gegenüber gestellt werden. Neben Analysen zum Abbaugrad der abgelagerten Abfälle (indirekt erfasst über die Bestimmung des Glühverlustes (GV) und des Gehaltes an organischen Kohlenstoff (TOC)) lassen insbesondere die Bestimmung des Feuchtegehaltes und die Abschätzung der Lagerungsdichte erste Hinweise auf die zu erwartende Intensität der biologischen Abbauprozesse sowie den potenziellen Sauerstoffverbrauch erkennen. Feststoffuntersuchungen sind darüber hinaus ein wichtiger Bestandteil bei der Erfolgskontrolle der Belüftungsmaßnahme.

Aus dem Deponiekörper austretende Flüssigkeiten (Deponiesickerwasser) liefern hinsichtlich der Wirkung einer Belüftungsmaßnahme wesentliche Anhaltspunkte. Über die Bestimmung organischer und anorganischer Sickerwasserinhaltsstoffe kann der unter den eingestellten aeroben Bedingungen ablaufende beschleunigte mikrobielle Stoffumsatz / -abbau gut nachvollzogen werden. Mittelfristig auftretende signifikante Abnahmen der Summenparameter BSB₅ und TOC sind Indikatoren für den Abbau organischer Abfallbestandteile, während der Rückgang der reduzierten Stickstoffverbindung Ammonium und ggf. die kurzzeitige Anwesenheit der oxidierten Verbindungen Nitrit und Nitrat auf Nitrifikations- / Denitrifikationsprozesse im Deponiekörper hinweisen. Die zeitliche Ausdehnung dieser Phase sowie die mobilisierten Frachten hängen hierbei wesentlich von klimatischen Einflüssen (insbesondere Niederschlagsintensität), Art und Qualität der Oberflächenabdichtung, dem Temperaturprofil sowie der Intensität der Durchlüftung des Deponiekörpers ab.

Die Durchführung einer Belüftungsmaßnahme verfolgt folglich das Ziel, biologisch abbaubare organische Verbindungen sowie Stickstoffverbindungen innerhalb des Deponiekörpers möglichst schnell im Sinne einer deutlichen und nachhaltigen Senkung des Emissionspotenzials abzubauen bzw. in stabile Verbindungen zu überführen. Als übergeordnetes Ziel kann hierbei die Minimierung der Umweltgefährdungen infolge austretenden Sickerwassers und Deponiegases beschrieben werden.

Realisiert werden können die zuvor beschriebenen Reaktionen und Zusammenhänge im großtechnischen Maßstab über ein parallel betriebenes Belüftungs- und Gaserfassungssystem. Hierbei wird unbelastete Umgebungsluft über Belüftungsbrunnen in den Deponiekörper eingeblasen und mit Zeitverzug an anderer Stelle wieder abgesaugt. Die Verteilung der Luft erfolgt über Konvektions- und Diffusionsvorgänge innerhalb der abgelagerten Abfälle, wodurch es in Abhängigkeit von den gewählten Belüftungsvolumina zu einer allmählichen Aerobisierung des gesamten Deponiekörpers kommt.

2.4 Laboruntersuchungen in Deponiesimulationsreaktoren

Seit dem Beginn der Voruntersuchungen auf der Altdeponie Kuhstedt im Herbst 1998 wurde eine Vielzahl von Abfallproben am Arbeitsbereich Abfallwirtschaft der TUHH untersucht. Die Proben wurden im Zuge der Bohrungen für die Belüftungsbrunnen aus verschiedenen Tiefen des Deponiekörpers entnommen. Insgesamt wurden 16 Deponiesimulationsreaktoren (DSR) befüllt, von denen 11 belüftet und 5 als anaerobe Kontrollen parallel betrieben wurden. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die spezifischen Randbedingungen derjenigen DSR-Untersuchungen, auf welche im folgenden näher eingegangen wird. Weiterführende Informationen zum Set-up und zum Betrieb der DSR können auch RITZKOWSKI et al. (2001) entnommen werden.

Tabelle 1 Wesentliche Betriebsparameter einiger DSR zur Untersuchung der in situ-Belüftungsmaßnahme auf der Altdeponie Kuhstedt

DSR	Probenahmedatum	Laufzeit [d]	Betriebsweise	Sickerwasserzirkulation [l/d]	Sickerwasseraustausch [l/Woche]	Feuchtdichte [Mg/m ³]	Trocken substanz [kg]
Kuh-1	Aug 00	640	belüftet	4	1	0,79	33
Kuh-2	Aug 00	640	belüftet	4	1	1,14	41
Kuh-3	Aug 00	640	belüftet	4	1	0,91	37
Kuh-4	Aug 00	640	anaerob	4	1	0,91	37
Kuh-5	Aug 00	640	aerob	4	1	0,88	33
Kuh-6	Aug 00	640	belüftet	4	1	1,19	48
Kuh-7	Aug 00	640	anaerob	4	1	1,18	46
Kuh-8	Aug 00	640	aerob	4	1	0,96	46
Kuh-9	Aug 00	1200	belüftet	0,3	0,06	1,08	37
Kuh-10	Aug 00	1200	anaerob	0,3	0,06	0,97	37
Kuh-14	Jul 03	190	belüftet	-	2,5	0,94	49

Stand: 01/2004

2.4.1 Betrieb der Deponiesimulationsreaktoren

Die Einstellung aerober Milieubedingungen erfolgte mittels kontinuierlicher Belüftung, wobei die Belüftungsraten manuell an den tatsächlichen Sauerstoffbedarf der Proben angepasst wurden. Hierbei diente die O₂-Konzentration in der Abluft als Regelparameter. Das Material in den aerob betriebenen DSR wurde etwa drei Wochen nach Beginn der Sickerwasserzirkulation mit anfänglich bis zu 37 l Luft / Mg TS*h (DSR Kuh-3) sowie 2 l Luft / Mg TS*h (DSR Kuh-6) zum Ende des Versuchs belüftet. Die DSR Kuh-4, Kuh-7 und Kuh-10 wurden als Kontrolle unter anaeroben Bedingungen betrieben. DSR Kuh-4 und Kuh-7 enthielten hierbei das gleiche Probenmaterial wie die belüfteten DSR Kuh-3 bzw. Kuh-6. In den Reaktoren Kuh-9 (belüftet) und Kuh-10 (anaerob) wurde ebenfalls das Probenmaterial der DSR Kuh-3 und -4 eingebaut, jedoch wurde hier lediglich 3,5 % der Sickerwassermenge, die in den DSR Kuh-3 und -4 zirkuliert wurde, im Kreislauf geführt. DSR Kuh-14 enthält Abfallmaterial, welches im Rahmen einer Zwischenbeprobung im Juni 2003 aus dem Deponiekörper entnommen wurde. Dieser Reaktor wird ohne Sickerwasserkreislaufführung betrieben. Es wird frisches Wasser wochentäglich auf die Abfälle aufgegeben (0,5 l/d) und nach dem Durchsickern wieder aus dem System entnommen.

Die DSR wurden in einem klimatisierten Raum bei konstanter Lufttemperatur von 35°C betrieben. Mögliche Selbsterhitzungseffekte im Laufe der Versuche wurden aufgrund der fehlenden Isolation der Reaktoren direkt an die Umgebung abgeleitet. Messungen der Proben temperatur im DSR Kuh-14 ergaben einen Temperaturgradienten von lediglich ca. 2-3 °C im Vergleich zur Raumtemperatur. Die Abbildung 2 stellt den schematischen Aufbau der Deponiesimulationsreaktoren dar.

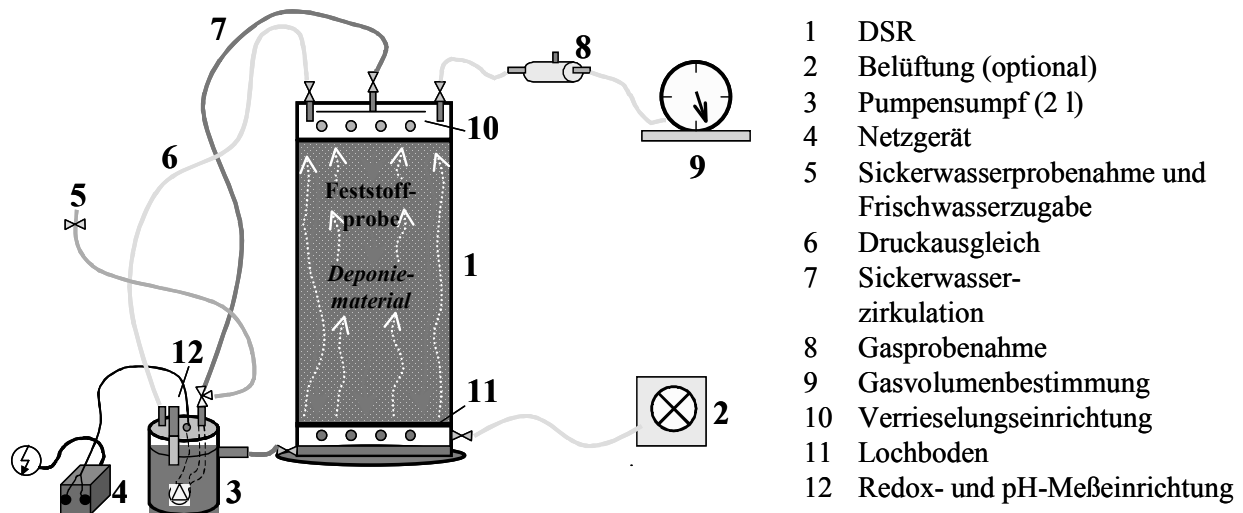


Abbildung 2 Schematischer Aufbau der Deponiesimulationsreaktoren zur Untersuchung der Auswirkungen der in situ Belüftung von Deponiematerial

3 Untersuchungsergebnisse

3.1 Laboruntersuchungen

3.1.1 Kohlenstoffaustrag über die DSR-Gasphase

Der biologisch verfügbare Anteil des organischen Kohlenstoffs wird infolge einer Belüftungsmaßnahme zum weitaus größten Teil über den Gaspfad in Form von CO_2 ausgetragen. Eigene DSR-Untersuchungen zeigen einen Anteil von lediglich 1 bis 2 % am gesamten Kohlenstoffaustrag, welcher über das Sickerwasser in Form von gelöstem oder partikulär gebundenen C erfolgt (Abbildung 3). Die bilanzierenden Untersuchungen in den DSR ermöglichen in diesem Zusammenhang eine gezielte Überprüfung der unterschiedlichen Einflussfaktoren mit dem Ziel, großtechnische Anwendungen möglichst effizient umsetzen zu können.

Anhand der Abbildung 3 (Vergleich der Reaktorenpaare Kuh-3/4 und Kuh-9/10, alle gleiches Probenmaterial) wird der Einfluss der Belüftungsintensität sowie der Sickerwasserkreislaufumführung auf den maximal zu realisierenden Kohlenstoffaustrag deutlich. Während der intensiv zirkulierte, intensiv belüftete DSR Kuh-3 im Vergleich zu der anaeroben Kontrolle (Kuh-4) eine signifikante Steigerung des C-Austrages aufweist, ist der Unterschied zwischen den minimal-zirkulierten DSR Kuh-9 (geringe Belüftung) und Kuh-10 marginal.

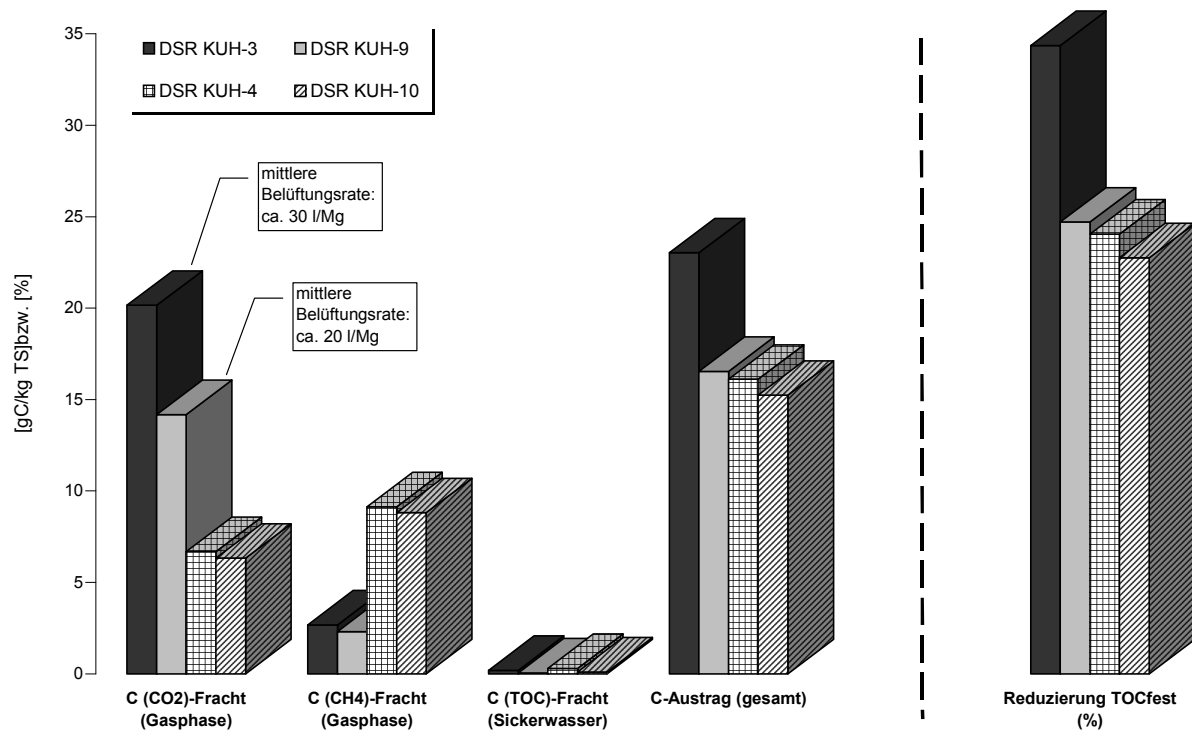


Abbildung 3 Kohlenstoffaustrag unter belüfteten (Kuh-3/9) sowie anaeroben (Kuh-4/10) Milieubedingungen (Versuchsdauer: ca. 550 Tage) und rechnerische Reduzierung des TOC_{fest} infolge der C-Austräge über SiWa und Gas

Neben dem biologischen C-Abbau durch fakultativ aerobe Bakterien scheint das Ausstrippen von CO_2 wesentlich zu einer Steigerung des Kohlenstoffaustrages beizutragen. Die unterschiedliche Sickerwasserbeaufschlagung hat demgegenüber in diesem Fall keinen signifikanten Einfluss auf die biologische Aktivität, welches durch den Vergleich der anaerob betriebenen Reaktoren Kuh-4 und Kuh-10 deutlich wird (nahezu gleiches Niveau des C-Austrages).

Der Vergleich sämtlicher belüfteter DSR ergibt für die untersuchten Abfallproben (geschätztes mittleres Abfallalter: 25 Jahre) der Altdeponie Kuhstedt in guter Korrelation einen mittleren Anteil des mobilisierbaren (d.h. biologisch verfügbaren) organischen Kohlenstoffgehaltes von ca. 27 % (bezogen auf den TOC_{fest} , größere Kunststoffteile wurden zuvor aussortiert). Begleitend zu den DSR-Versuchen wurden die entnommenen Abfallproben auch im Respirometer (Sapromat) untersucht und der spezifische Sauerstoffverbrauch über Zeiträume von jeweils 4 (AT_4), 21 (AT_{500}) und 42 Tagen (AT_{1000}) bestimmt. Unter Verwendung der Lineweaver-Burk-Linearisierung konnte hieraus der maximale Sauerstoffbedarf der Feststoffproben ermittelt werden. Aus den Ergebnissen dieser Versuche wurde über stöchiometrische Berechnungen der mittlere Kohlenstoffaustrag berechnet, welcher bezogen auf den TOC_{fest} in den DSR mit ca. 17 % angegeben werden kann.

3.1.2 Veränderungen der Sickerwasserqualität

Die Ergebnisse der durchgeführten DSR-Versuche zeigen übereinstimmend das große Potenzial für eine schnelle und nachhaltige Reduzierung **der organischen Sickerwasserinhaltsstoffe** (gemessen über die Parameter BSB₅, TOC bzw. CSB) unter dem Einfluß der Belüftung auf. Innerhalb weniger Tage nehmen die jeweiligen Konzentrationen gegenüber den anaeroben Vergleichsansätzen deutlich ab (für den Parameter BSB₅ i.d.R. auf Werte im Bereich der Analysengenauigkeit); wobei im mittel- und langfristigen Untersuchungsverlauf dann die chemisch-physikalischen Auswaschungsprozesse dominieren und die Konzentrationsverläufe für beide Ansätze nahezu parallel, jedoch auf deutlich unterschiedlichem Niveau verlaufen. Abbildung 4 zeigt die Konzentrationsverläufe für organische Sickerwasserinhaltsstoffe für belüftete und anaerobe DSR-Ansätze.

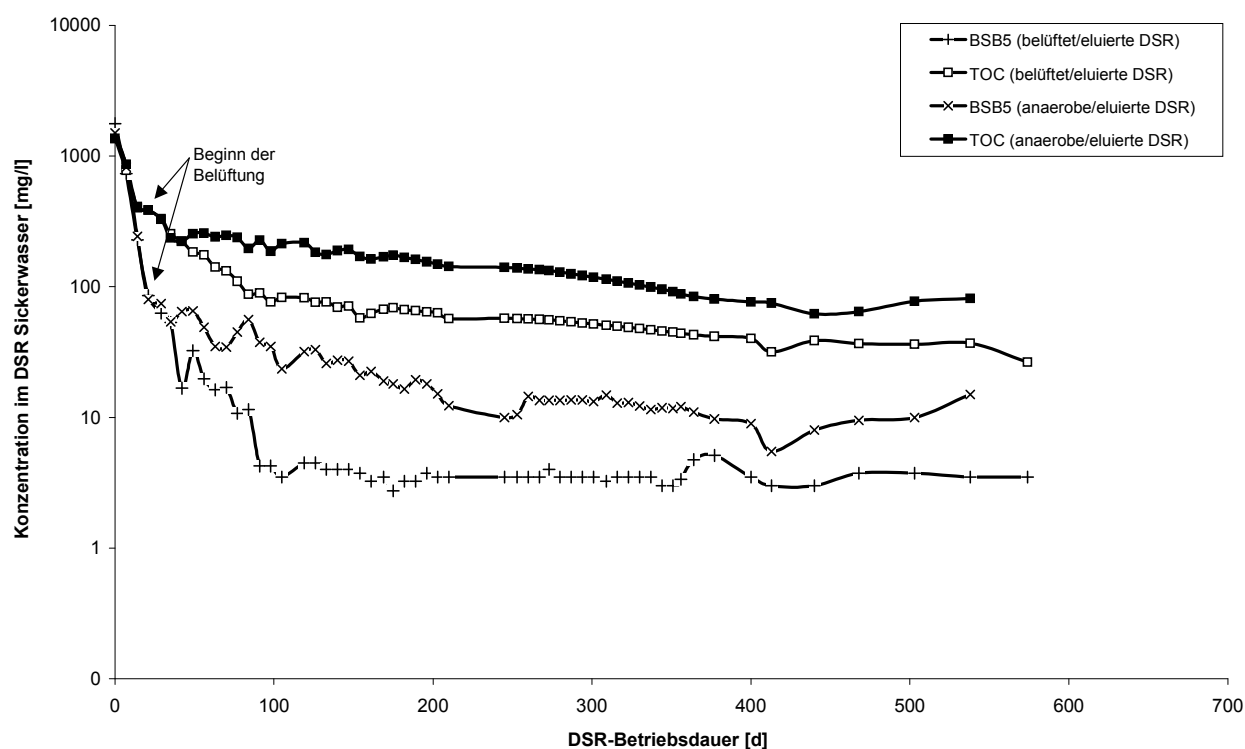


Abbildung 4 Konzentrationsverläufe org. Sickerwasserinhaltsstoffe (BSB₅ und TOC) für belüftete und anaerobe DSR-Ansätze mit Abfallproben der Altdeponie Kuhstedt

Der Parameter **Ammonium-Stickstoff** wird in vielen Veröffentlichungen (u.a. HEYER et al., 1997 und KRÜMPELBECK, 2001) als maßgeblich für die prognostizierte Dauer einer in der Deponienachsorge notwendigen Sickerwasserbehandlung beschrieben. Unter den deponietypischen anaeroben Milieubedingungen kommt es für diesen Parameter auch langfristig nur zu sehr geringen Konzentrationsabnahmen, wobei die (sowohl im DSR-Versuch als auch für Betriebsdeponien) ermittelten Restkonzentrationen meist deutlich

über den zulässigen Grenzwerten für eine Direkteinleitung des Sickerwassers in Oberflächengewässer (Abwasserverordnung, 51. Anhang, NN 2002) liegen.

Unter dem Einfluss der Belüftung konnte in den DSR-Versuchen eine signifikante Reduzierung der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen im Sickerwasser beobachtet werden, wobei es auch nach Beendigung der Belüftung zu keinem erneuten Anstieg der Konzentrationen kam. Das zwischenzeitliche Auftreten erhöhter Nitrit- und Nitratkonzentrationen im Sickerwasser läßt auf das Ablaufen von Nitrifikations- sowie möglichen Denitrifikationsvorgängen schließen, die ggf. in Kombination mit einer möglichen Strippung von Ammoniak (NH_3) über den Gaspfad für die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Reduzierung verantwortlich sind. Hierbei sind jedoch die verfahrenstechnischen Besonderheiten des gewählten DSR-set-up zu berücksichtigen, welche u.U. die Reduzierung der Stickstoffkonzentrationen in einer signifikant verkürzten Zeitspanne ermöglichen (u.a. Sickerwasserkreislaufführung, siehe Kapitel 2.4.1).

Zur Überprüfung der weiteren verfahrenstechnischen Einflüsse auf die Reduzierung der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen im DSR-Sickerwasser wurden Versuche mit modifizierten Randbedingungen durchgeführt (siehe auch Kapitel 2.4.1 und Tabelle 1). Bei den Reaktoren Kuh-9 (belüftet) und -10 (anaerob) wurde eine deutlich reduzierte Kreislaufführung des Sickerwassers gewählt, welche im wesentlichen nur die Feuchtegehalte der eingebauten Abfälle konstant halten sollte (ca. 2 l/Woche). Der Sickerwasseraustausch wurde ebenfalls signifikant reduziert, wobei die gewählten 120 ml/14 Tage dem für die gewählten Analysenparameter notwendigen Volumen entsprachen. Die Belüftung (Kuh-9) wurde, wie bei den „klassischen“ DSR-Ansätzen, über den Boden der DSR realisiert. Der DSR Kuh-14 wurde ohne Sickerwasserkreislaufführung betrieben, wobei frisches Wasser 5x pro Woche (Mo. – Fr.) über den eingebauten Abfällen verrieselt wurde und ein gleichgroßes Volumen aus dem Sickerwasserbehälter am Fuße des DSR abgezogen wurde. Die Belüftung erfolge bei diesem DSR über eine in vertikaler Richtung zentral in die Abfallprobe eingebaute Belüftungslanze.

Die Ergebnisse der beiden modifizierten Versuchsansätze zeigen deutliche Unterschiede zu denen des „klassischen“ set-up auf. So kommt es bei dem DSR Kuh-9 nach dem Beginn der Belüftung zunächst zu einer Anreicherung bzw. Aufkonzentrierung von Ammonium im Sickerwasser bevor anschließend eine - im Vergleich zu den intensiv zirkulierten Ansätzen - langsame Reduzierung zu beobachten ist (Abbildung 5). Es ist zu vermuten, dass aufgrund der minimierten Kreislaufführung der notwendige Transport der mikrobiellen Abbauprodukte (also auch des Ammoniums aus dem Abbau der Proteine) innerhalb der Abfallprobe zu einem limitierenden Faktor wird, wodurch eine weitere Nitrifikation gehemmt wird. Es wird vermutet, dass es in Verbindung mit den sehr geringen Austauschraten zu einer Akkumulierung von $\text{NH}_4\text{-N}$ im Sickerwasser kommt, welche erst im längerfristigen Verlauf der Untersuchungen nachhaltig reduziert wird.

Eine $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anreicherung konnte demgegenüber für den Versuch DSR Kuh-14 nicht beobachtet werden. Es zeigte sich jedoch, dass ohne den Einfluss der Sickerwasserkreislaufführung die Abnahme der Ammoniumkonzentration im Vergleich zu den zirkulierten Versuchsansätzen signifikant langsamer abläuft. Langfristig werden jedoch auch unter diesen Versuchsbedingungen sehr niedrige Stickstoffkonzentrationen im DSR-Sickerwasser erreicht (Abbildung 6). Ein möglicher Erklärungsansatz wäre, dass die biologische Stickstoffoxidation (Nitrifikation des Ammoniums) infolge des Verzichts auf Sickerwasserzirkulation und der damit verbundenen Minimierung der Kontaktzeiten zwischen nitrifizierenden Mikroorganismen und Substrat im Zuge der Sickerwasserpassage durch den Abfallkörper limitiert wird. Im Sickerwasserspeichertank kann es anschließend zur Denitrifikation kommen, da hier durchgängig strikt anaerobe Milieubedingungen (Redoxpotenzial um -160 mV/cm) ermittelt wurden.

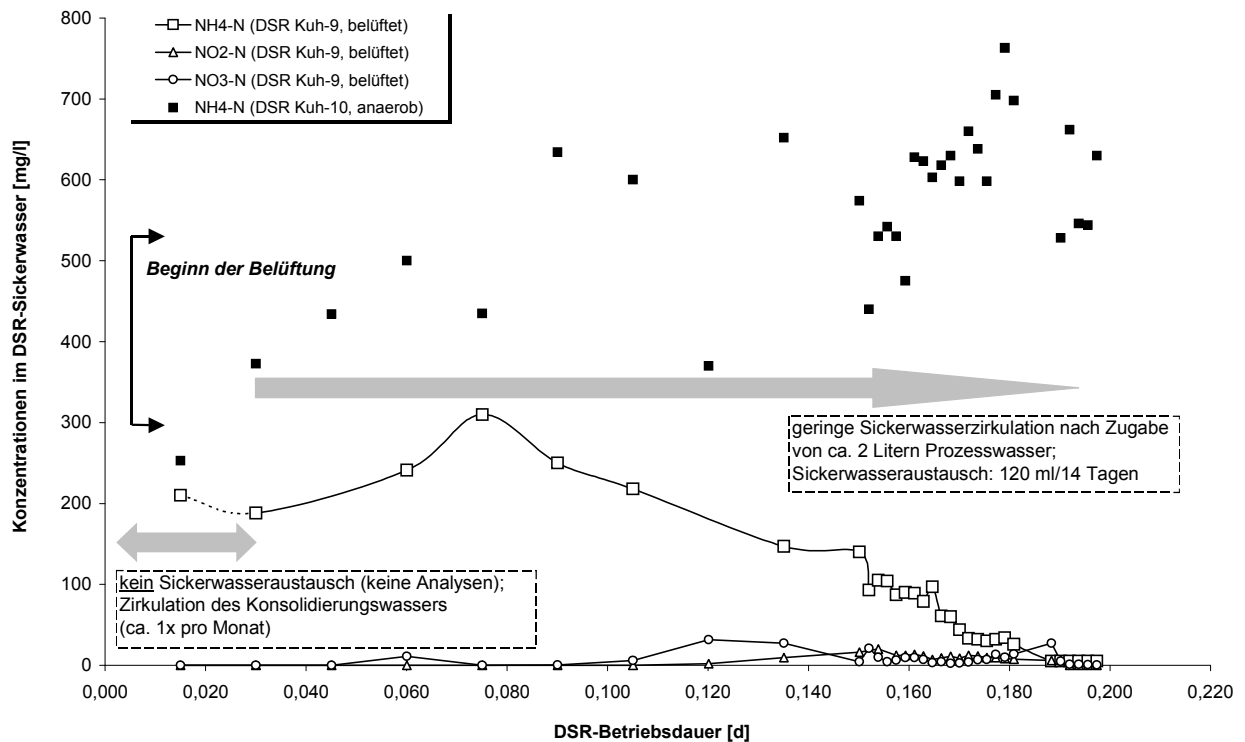


Abbildung 5 Veränderungen der Stickstoffparameter im Sickerwasser der DSR Kuh-9 und -10 unter dem Einfluß der Belüftung sowie unter anaeroben Bedingungen

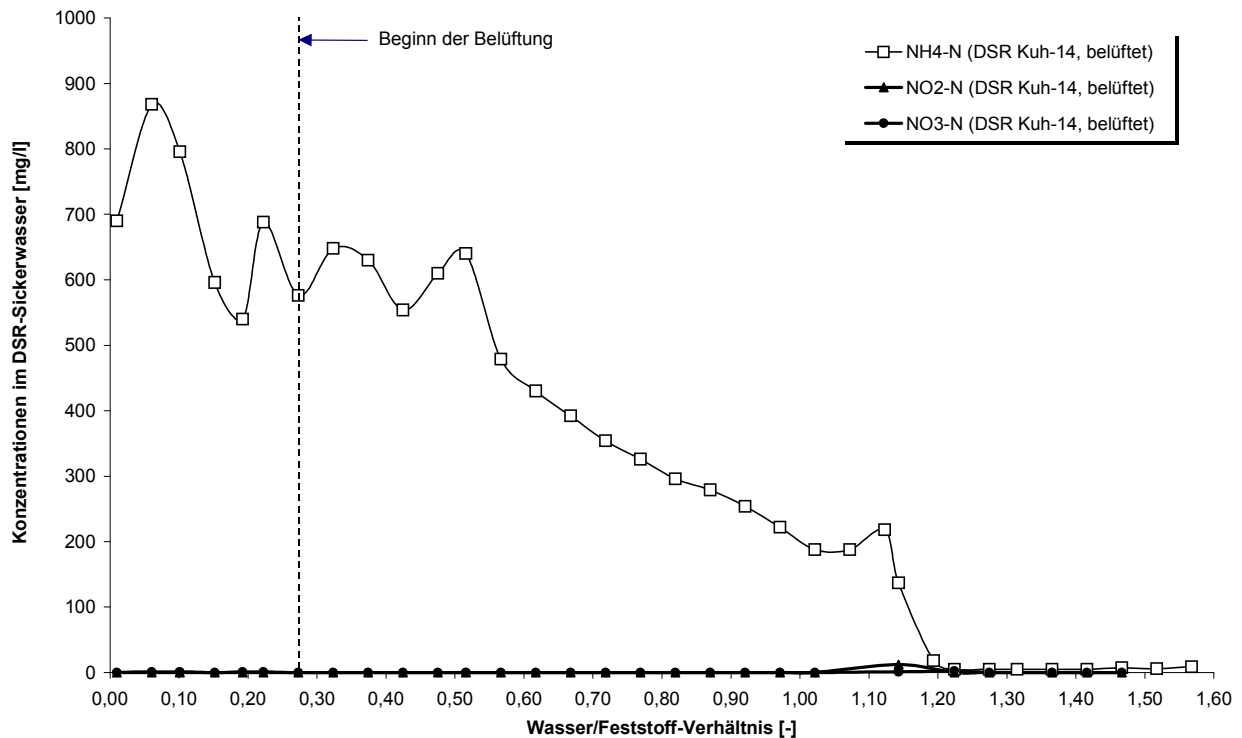


Abbildung 6 Verlauf der Stickstoffparameter im Sickerwasser des belüfteten DSR Kuh-14 (ohne Sickerwasserzirkulation; Wasserdurchsatz: 2,5l/Woche)

3.1.3 Abfall-Feststoffproben

Die Erfolgskontrolle einer in situ-Belüftungsmaßnahme kann, sowohl im Labor- als auch im großtechnischen Maßstab, u.a. anhand der Charakterisierung von Abfallfeststoffproben erfolgen. Für den Bereich der DSR-Untersuchungen wurden Analysen zur Bestimmung des Gehaltes an organischem Kohlenstoff (TOC), Gesamtstickstoff (TKN) sowie Untersuchungen zur Ermittlung der Atmungsaktivität und des Gasbildungspotenzials vor und nach der Belüftung durchgeführt.

Die Darstellung einiger Ergebnisse dieser Untersuchungen (Tabelle 2) verdeutlicht, mit welchen Schwierigkeiten die Angabe von Feststoffparametern bereits in einem Maßstab von nur ca. 80 Litern verbunden ist. Die Fehler sind hierbei ganz überwiegend auf die Probenahme zurückzuführen, während die Analysungenauigkeiten von signifikant untergeordneter Rolle ist. Als deutlich aussagekräftiger erweisen sich demgegenüber Untersuchungen zum biologischen Sauerstoffverbrauch sowie zur spezifischen Gasbildung. Es wird deutlich, dass im Zuge der Belüftung der Abfallproben in den DSR die biologisch verfügbare organische Substanz weitgehend reduziert werden konnte, so dass nach dem Ende der Maßnahme lediglich mit sehr geringen Restemissionen zu rechnen ist.

Tabelle 2 Vergleich diverser Feststoffparameter vor und nach der Belüftung von Abfallproben in DSR

Probe	TOC _{fest} [% TS]	TKN [mg/g TS]	AT ₄ [mg O ₂ /g TS]	GB ₂₁ [norm l/kg TS]
DSR Kuh-1 (vor)	5,8	2,65	2,9	19,9
DSR Kuh-1 (nach)	10,4	3,11	0,4	0,9
DSR Kuh-2 (vor)	9,3	3,02	8,8	39,3
DSR Kuh-2 (nach)	6,7	1,84	0,7	1,5

3.2 Großtechnische Untersuchungen

3.2.1 Kohlenstoffaustrag über die erfaßte Deponieabluft

In qualitativer Übereinstimmung mit den Ergebnissen der umfassenden Laboruntersuchungen in den DSR konnte während einer Betriebsdauer der in situ-Belüftungsanlage auf der Altdeponie Kuhstedt von 36 Monaten (April 2001 bis März 2004, einschließlich anlagen- und verfahrensbedingter Stillstandszeiten) insgesamt ein Kohlenstoffaustrag von etwa 1.500 Mg realisiert werden. Zur Einordnung und Beurteilung wurde, aufbauend auf einer Abschätzung der Deponiegasproduktion zu Beginn der Belüftungsmaßnahme, der potenzielle C-Austrag unter anaeroben Milieubedingungen für den gleichen Zeitraum berechnet. Hieraus ergibt sich eine Steigerung von ca. 375%, welche auf den signifikant beschleunigten Stoffwechsel aerober Mikroorganismen im Vergleich zu anaeroben Spezies zurückzuführen ist (Abbildung 7).

Die Betrachtung der Hauptkomponenten in der erfaßten Abluft verdeutlicht darüber hinaus, dass infolge der geänderten Milieubedingungen nunmehr größere Anteile an CO₂ im Vergleich zu Methan (CH₄) vorliegen. Unter Berücksichtigung des ca. 28mal höheren Beitrages zum Treibhauseffekt stellt bereits die reine Milieumstellung des Deponiekörpers einen signifikanten Beitrag zum Klimaschutz dar. In Verbindung mit der installierten Abluftreinigung mittels nichtkatalytischer thermischer Oxidation (VosciBox[®]) wird dieser positive Effekt noch weiter verstärkt, da letztendlich nur noch CO₂ und Wasserdampf in die Umgebung abgegeben werden.

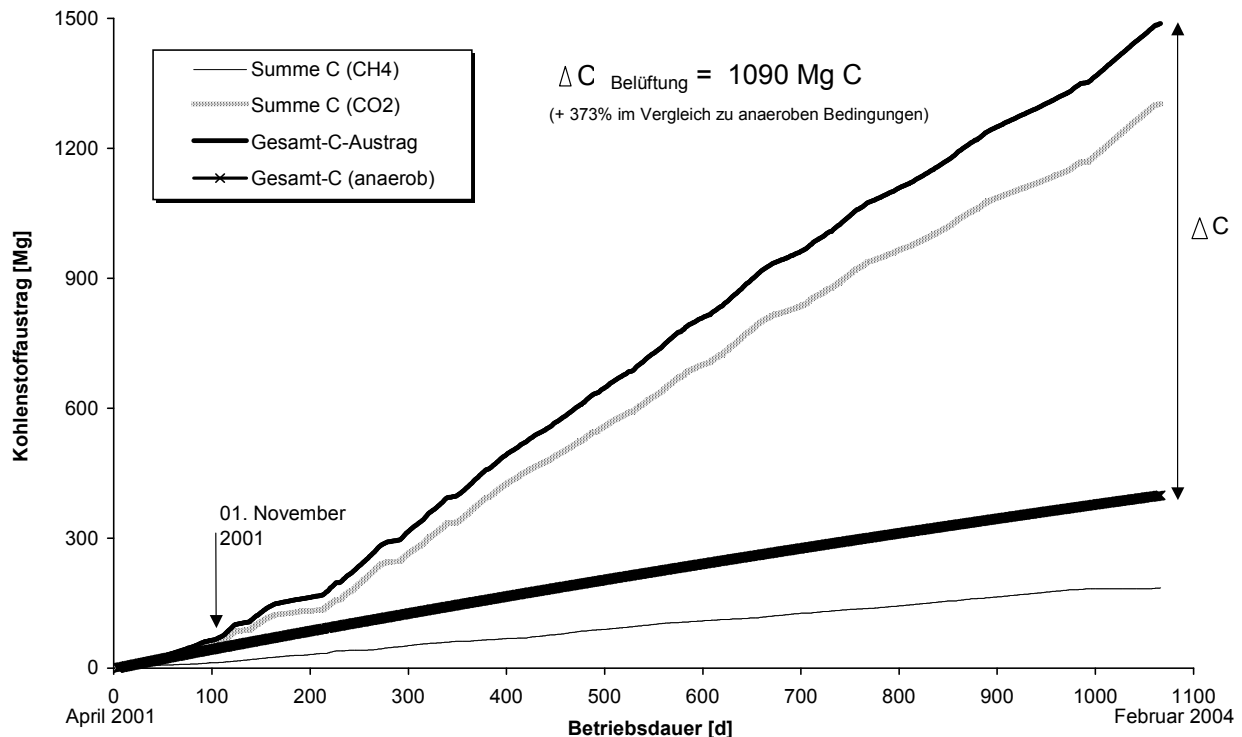


Abbildung 7 Kohlenstoffaustrag der Altdeponie Kuhstedt unter dem Einfluß der Belüftung so wie unter anaeroben Bedingungen (berechnet) für den Zeitraum 04/01 bis 02/04

Zur Abschätzung des bisher realisierten biologischen Stabilisierungsfortschritts für die Gesamtdeponie wird, aufbauend auf den Ergebnissen der DSR-Untersuchungen, der biologisch verfügbare organische Kohlenstoffanteil im Deponiematerial mit 27% des TOC_{fest} -Gehaltes angesetzt. Unter Berücksichtigung des gemittelten Trockensubstanzanteils von 71% sowie eines abgeschätzten Inertstoffanteils von 15 bis 20% errechnet sich der Stabilisierungsgrad zum März 2004 zu etwa 60 bis 65%.

3.2.2 Veränderungen der Sicker- und Grundwasserqualität

3.2.2.1 pH-Wert und Redox-Potenzial

Die Deponiebelüftung führt zu einer Veränderung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes infolge des Ausstripens von CO_2 über den Gaspfad. In Abhängigkeit von der Intensität dieser Reaktion verändert sich auch der pH-Wert des Sickerwassers in Richtung des alkalischen Bereiches. Die Umstellung der Milieubedingungen im Deponiekörper von anaeroben auf aerobe, oxidierende Verhältnisse, lässt sich ebenfalls im Sickerwasser über die Bestimmung des Redoxpotenzials nachvollziehen. Es zeigt sich, dass in den ersten Monaten der Belüftungsmaßnahme teilweise oxidierende Bedingungen im Deponiesickerwasser erreicht werden können. Korrespondierend mit dem

Beginn des intensivierten Abbaus organischer Abfallbestandteile im Frühjahr 2002 kommt es infolge der gestiegenen Sauerstoffzehrung zu einer Verringerung des Redoxpotenzials in den Bereich reduzierender Bedingungen, welche tendenziell bis ins Frühjahr 2004 bestehen bleiben.

3.2.2.2 Ammonium-, Nitrit- und Nitratstickstoff

Während es in den Laboruntersuchungen im Sickerwasser der DSR quasi unmittelbar nach dem Beginn der Belüftung zu einer deutlichen Reduzierung der Ammoniumkonzentrationen kommt, konnte im Sickerwasser der Altdeponie Kuhstedt dieser Effekt zunächst nicht beobachtet werden. So gelang es erst infolge einer signifikanten Steigerung der Belüftungsvolumina Anfang November 2001 die Ammoniumkonzentration im Deponiesickerwasser vorübergehend signifikant zu reduzieren. Darüber hinaus konnte für das Sickerwasser der Messstelle SW-2 erstmalig eine Nitrifikation von Ammoniumstickstoff nachgewiesen werden, wobei diese nur teilweise bis zum Nitrat erfolgte. Ausschlaggebend hierfür dürfte die nach wie vor hohe $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration sein, welche zu einer Hemmung der Nitrit-Oxidation führen kann (MUDRACK UND KUNST, 1985).

Im zweiten Betriebsjahr der in situ Belüftung wurden durchgehend hohe Ammoniumkonzentrationen im Sickerwasser bestimmt. Es wird vermutet, dass diese im wesentlichen auf die Hemmung von Nitrifikationsprozessen infolge der deutlich gestiegenen Temperaturen im Deponiekörper zurückzuführen sind, während Ammonifikationsprozesse unter den gegebenen Milieubedingungen gut ablaufen konnten (Abbildung 8).

Mit Beginn des Jahres 2003 kam es in Verbindung mit entsprechend hohen pH-Werten zu einem verstärkten Ausstrippen von Ammoniak über die Gasphase kommen konnte. In der Folge wurde ein deutlicher Rückgang der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen im Sickerwasser beobachtet, welcher bis zum Jahresende 2003 anhielt. Zu diesem Zeitpunkt wurden die vor der Belüftungsmaßnahme ermittelten Konzentrationen bereits deutlich unterschritten.

Der zwischenzeitliche erneute Anstieg zu Beginn des Jahres 2004 könnte im Zusammenhang mit der Umstellung der Abluftreinigungstechnik von der thermischen Oxidation auf ein Biofiltersystem stehen, in dessen Zuge die Belüftung zeitweilig unterbrochen werden musste. Der sinkende pH-Wert führte zu einer Verschiebung des Ammonium-Ammoniak-Gleichgewichtes in Richtung des wasserlöslichen Ammoniums, wodurch ein weiteres Ausstrippen zwischenzeitlich nicht möglich war.

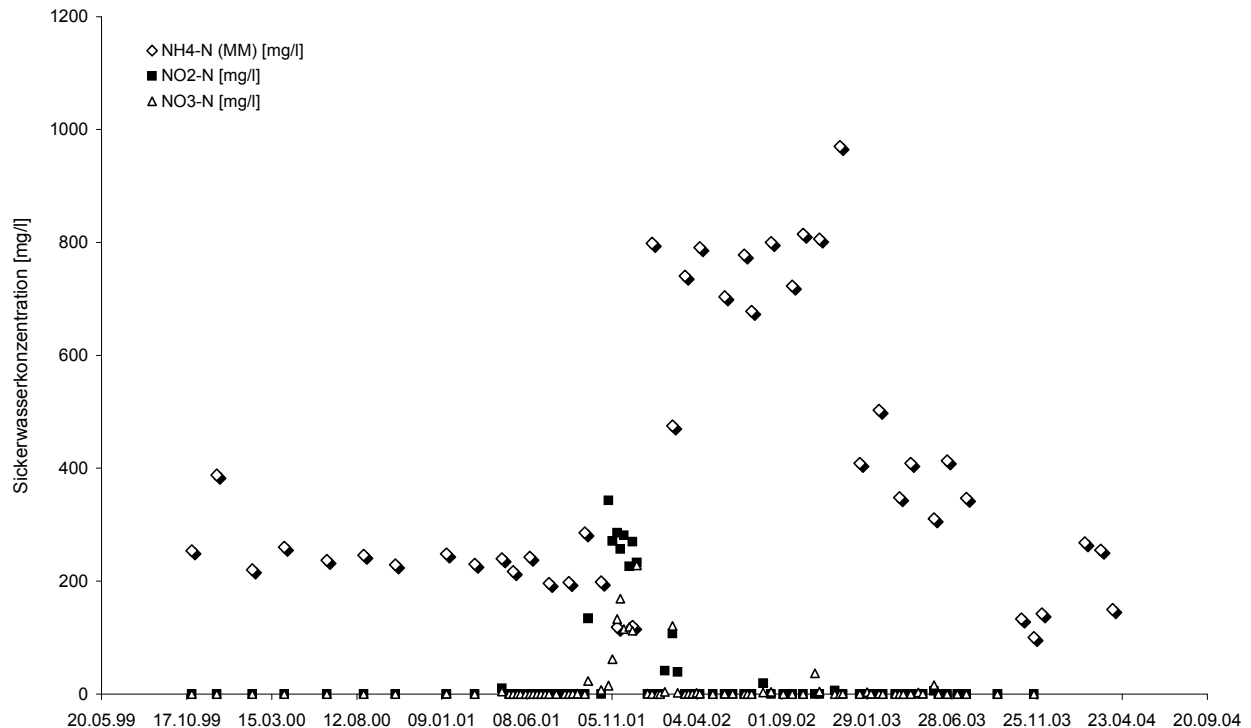


Abbildung 8 Veränderungen der NH₄-N, NO₃-N und NO₂-N-Konzentrationen im Sickerwasser der Altdeponie Kuhstedt im Zuge der in situ Belüftungsmaßnahme

3.2.3 Veränderungen der Temperaturen im Deponiekörper

Infolge der Aerobisierung des Deponiekörpers kommt es zu einem beschleunigten Abbau der biologisch verfügbaren organischen Substanz. Hierbei ist die aerobe in situ Stabilisierung einer Altdeponie qualitativ durchaus mit einer biologischen Stabilisierung von Restabfällen vor einer Ablagerung vergleichbar, wie sie im Rahmen der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBV) durchgeführt wird. Durch den bereits über viele Jahre andauernden anaeroben Abbau ist der Anteil biologisch verfügbarer organischer Substanz in der Altdeponie Kuhstedt bereits deutlich reduziert worden. Untersuchungen an Feststoffproben der abgelagerten Abfälle zeigen einen durchschnittlichen TOC-Gehalt von ca. 8 %TS (Spannbreite: 3,0 bis 20,3 %TS), wobei hierbei immer auch auf die Problematik einer repräsentativen Beprobung eines Gesamtdeponiekörpers hinzuweisen ist.

Im Zuge des Überwachungsprogramms für den Verlauf der aeroben in situ Stabilisierung wurden an unterschiedlichen Stellen und in unterschiedlichen Tiefen (zwischen 1 m uGOK und 5 m uGOK) insgesamt 12 Kontrollpegel in den Deponiekörper eingebaut. Diese Pegel ermöglichen die Aufnahme von Temperaturprofilen sowie die zugehörige Bestimmung der spezifischen Druckverhältnisse und der Deponiegaszusammensetzung. Kontinuierliche Temperaturmessungen werden an den Messstellen seit Anfang November 2001 durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen eine gute Korrelation der maxima-

len Temperaturen mit den Deponiebereichen, in denen hohe Organikgehalte und biologischer Aktivitäten vorherrschen. Auffallend sind ebenfalls die deutlichen Unterschiede über das Tiefenprofil der Deponie. In der Abbildung 9 sind die gemittelten Temperaturganglinien für drei Tiefenhorizonte dargestellt.

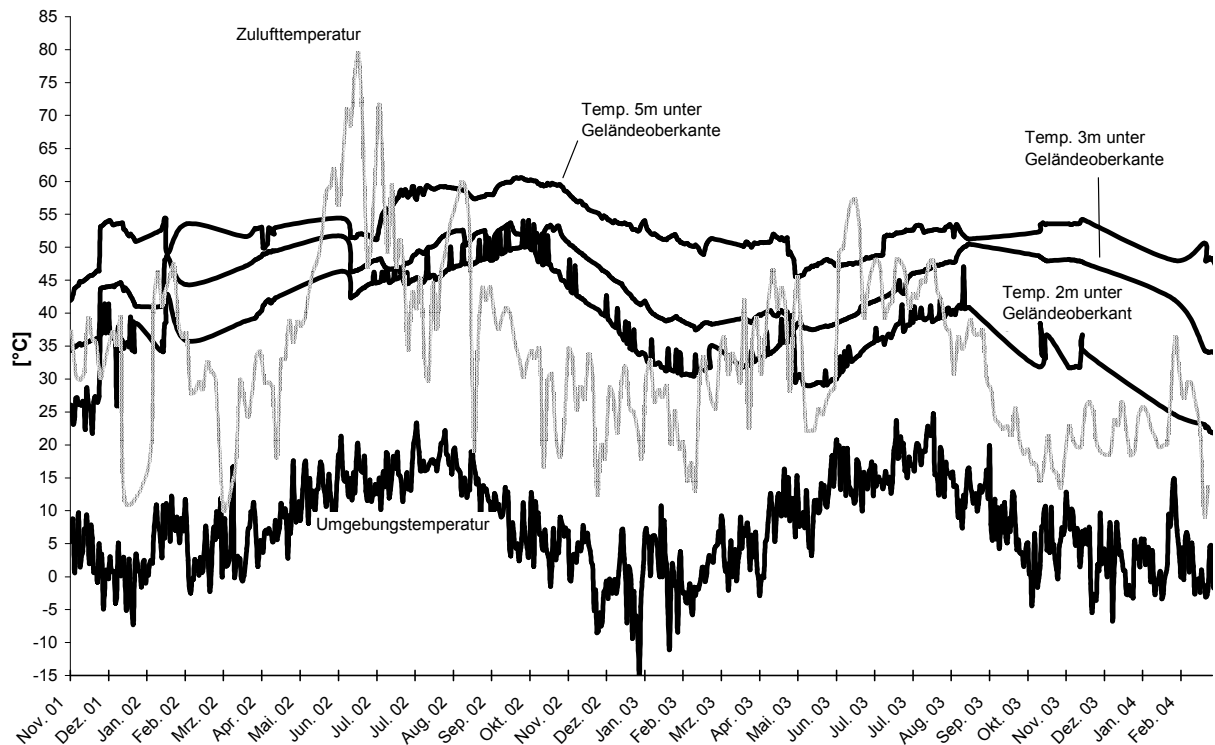


Abbildung 9 Temperaturganglinien (Mittelwerte aus jeweils 4 Messstellen) für drei Tiefenhorizonte sowie korrespondierende Umgebungs- und Zulufttemperatur der Altdeponie Kuhstedt

3.2.4 Setzungen und Sackungen

Infolge des beschleunigten Abbaus der verbliebenen biologisch verfügbaren organischen Substanz im Deponiekörper treten im Zuge von in situ Belüftungsmaßnahmen signifikante Setzungen und Sackungen auf. Im Rahmen des Monitoringprogramms wurden auf der Altdeponie Kuhstedt insgesamt 17 Setzungspegel installiert, welche 3 bis 4mal im Jahr vermessen werden.

Die Ergebnisse der bisherigen 9 Messkampagnen zeigen durchschnittliche Setzungen des gesamten Deponiekörpers von ca. 55 cm für einen Belüftungszeitraum von 33 Monaten auf. Bemerkenswert ist die sehr ungleichmäßige Verteilung der Setzungen: Im Bereich der Deponieauffahrt (sehr geringe Belüftung) sowie in der unmittelbaren Umgebung der Versuchsfelder im südöstlichen Deponiebereich treten die geringsten Setzungen auf (20 – 25 cm), während im südlichen Deponiebereich Setzungen von bis zu 83 cm beobachtet werden. Ausschlaggebend hierfür ist zum einen die stärkere Auflast in diesem Bereich, welche sowohl infolge der installierten Belüftungseinrichtungen (Con-

tainer) als auch im Zuge der Baumaßnahmen (insbesondere für die Versuchsfelder) auftritt; zum anderen weist die Altdeponie hier ihre maximale Mächtigkeit auf.

Bezogen auf die mittlere Mächtigkeit der Altdeponie vor Beginn der in situ-Maßnahme (ca. 9 m) können die Setzungen der ersten 33 Monate des Belüftungsbetriebes mit ca. 6% angegeben werden. Berücksichtigt man das Ende des Ablagerungsbetriebes (1987), so sind die Setzungen als signifikant einzustufen und zugleich ein weiterer Hinweis auf die beschleunigt ablaufenden biologischen Abbauprozesse im Deponiekörper.

Die Entwicklung der mittleren monatlichen Höhenänderungen (Tabelle 3) zeigen, dass seit Beginn des Jahres 2003 bereits ein Abklingen der Setzungen eingesetzt hat. Dennoch ist auch in den folgenden Monaten noch mit weiteren Veränderungen zu rechnen, welche im wesentlichen auch auf das fortschreitende Auftreten von Sackungen zurückzuführen sein werden.

Auch im Hinblick auf die Diskussion über einen „geeigneten“ Zeitpunkt zum Aufbringen der endgültigen Oberflächenabdichtung auf Deponien liefern die hier durchgeführten Untersuchungen wichtige Hinweise. So dürfte insbesondere die sehr ungleichmäßige Verteilung der Restsetzungen (welche ja auch unter anaeroben Bedingungen über längere Zeiträume auftreten würden) die Gefahr einer Beschädigung der Dichtungselemente deutlich erhöhen.

Tabelle 3 Entwicklung der Setzungen im Rahmen der in situ Belüftungsmaßnahme auf der Altdeponie Kuhstedt

		26.04.2001*	20.09.2001	01.02.2002	16.05.2002	18.09.2002	12.12.2002	17.04.2003	19.08.2003	21.01.2004
mittlere Setzungen	[cm]	0	12,7	16,3	24,2	32,2	40,1	44,6	50,1	55,6
Spannweite	[cm]	0	1,5 - 28,5	5,0 - 37,5	6,5 - 46,5	7,5 - 54,0	11,5 - 61,5	14,0 - 68,5	16,0 - 75,5	20,5 - 83,5
Monatsmittel	[cm]	0	2,9	0,9	2,5	2,1	3,1	1,2	1,5	1,2

* Bezugsmessung, ca. 3 Wochen nach Beginn der Belüftungsmaßnahme

4 Diskussion möglicher Stabilisierungskriterien

Das übergeordnete Ziel aerober in situ Stabilisierungsmaßnahmen für Altdeponien ist deren beschleunigte Überführung in ein langfristig niedriges Emissionsniveau. Mögliche Kriterien zur Erfolgskontrolle der Emissionsreduzierung müssen daher sowohl die (sehr niedrige) Rest-Gasproduktion, niedrige Organik- und Stickstoffkonzentrationen im Sickerwasser sowie weitestgehend abgeklungene Setzungen und Temperaturen infolge der (weitgehend) abgeschlossenen biologischen Abbauvorgänge beinhalten.

Bezüglich der Rest-Gasemissionen bzw. des Kohlenstoffaustrages für in situ belüftete Deponien schlagen die Autoren CH_4 -Austragsraten über die Deponieoberfläche zwischen 0,5 und 1,0 l $\text{CH}_4/\text{m}^2\cdot\text{h}$ (für Deponien bis max. 2 ha Grundfläche) als ein Stabilisierungskriterium vor, wobei eine entsprechend qualifizierte Oberflächenabdeckung mit

ausreichendem Methanoxidationspotenzial in der Rekultivierungsschicht vorzusehen ist. Die Einhaltung der geringen Rest-Gasemissionen ist im Zuge eines Monitorings zu überprüfen. Zusätzlich zu der Bestimmung der Gasproduktion sollte die spezifische (auf den zu stabilisierenden Standort bezogen, d.h. unter Berücksichtigung des Alters und der Art der abgelagerten Abfälle sowie der Qualität der Oberflächenabdichtung /Abdeckung) Abbaurate für den organischen Kohlenstoff ermittelt und im Rahmen von C-Bilanzen am Standort überprüft werden. Die Bestimmung des biologisch maximal möglichen C-Abbaus kann hierbei z.B. im DSR-Versuch erfolgen.

Bezüglich der Setzungen schlagen die Autoren ein umfassendes Monitoring im Zuge der Belüftungsmaßnahme vor, wobei insbesondere in den ersten Monaten (erneut abhängig von den oben genannten Randbedingungen) neben den Setzungen verstärkt auch Sackungen auftreten können. Ein Kriterium könnte nach den vorliegenden Erfahrungen auf dem Standort Altdeponie Kuhstedt über die durchschnittlichen monatlichen Setzungen definiert werden. Für den Standort Kuhstedt erscheint ein Wert unter 1 cm/Monat (durchschnittliche Mächtigkeit der Deponie: 10 m) als hinreichend. Für variierende Mächtigkeiten und/oder differierende Abfallcharakteristika (Zusammensetzung, Alter etc.) ist dieser Wert entsprechend anzugleichen.

Die Sickerwasserqualität sollte gegenüber dem Ausgangszustand vor Beginn der in situ Maßnahme verbessert werden, wobei das Hauptaugenmerk auf den organischen Parametern sowie auf Ammonium-Stickstoff liegen sollte. Neben der Bestimmung von Sickerwasserkonzentrationen empfiehlt sich eine Abschätzung der Austragsfrachten über einen definierten Zeitraum im Vergleich zu dem Zustand vor der Maßnahme. Ziel sollte es sein, langfristig notwendige Sickerwasserreinigungsmaßnahmen zu vermeiden (durch Einhaltung von Indirekt- oder Direkteinleiterwerten) bzw. den Eintrag von Sickerwasserinhaltsstoffen in das Grundwasser zu minimieren.

5 Zusammenfassung

Umfangreiche Untersuchungen auf der Altdeponie Kuhstedt im Landkreis Rotenburg (Wümme) in Verbindung mit einem breit angelegten Untersuchungsprogramm im Labor des Arbeitsbereiches Abfallwirtschaft der TU Hamburg-Harburg zeigen, dass durch eine gezielte und kontrollierte Belüftungsmaßnahme eine deutliche Verbesserung des Emissionsverhaltens infolge der Stabilisierung der organischen Substanz und Reduzierung des Schadstoffpotenzials im Deponiekörper erreicht werden kann. Die abnehmenden anaeroben Abbauprozesse im Deponiekörper konnten vor Beginn der Belüftung, trotz der 14 Jahre zuvor beendeten Ablagerung sowie dem durchschnittlichem Müllalter von ca. 25 Jahren, keine hinreichende Stabilisierung der organischen Bestandteile bewirken.

Vergleichende Untersuchungen von Abfallproben unter anaeroben und belüfteten (aeroben) Bedingungen in Deponiesimulationsreaktoren lassen einen beschleunigten Kohlenstoffaustrag (Faktor 3,7 innerhalb eines Behandlungszeitraumes von 35 Monaten) über die Gasphase unter aeroben Bedingungen erkennen. Weiterhin zeigen die Simulationsversuche, dass in relativ kurzen Zeiträumen sowohl die organischen Sickerwasserbelastungen als auch die anorganischen Stickstoffverbindungen deutlich und nachhaltig reduziert werden können.

Die Ergebnisse beim Betrieb der großtechnischen Anlage zur energiearmen Niederdruckbelüftung zeigen die Möglichkeit und Auswirkungen der Umstellung der Milieubedingungen von anaerob auf aerob und bestätigen weitgehend die Ergebnisse der Laboruntersuchungen. So konnte nach einem Sanierungsbetrieb von ca. 8 Monaten im Sickerwasser der Altdeponie ein deutlicher Rückgang der Ammoniumkonzentration infolge von Nitrifikationsprozessen sowie vermuteter Denitrifikationsprozesse nachgewiesen werden. Im weiteren Stabilisierungsverlauf könnten zwischenzeitlich, aufgrund der spezifischen Milieubedingungen im Deponiekörper (hohe Temperaturen in Verbindung mit schwach alkalischen pH-Werten) auch Strippeffekte (Austrag von Ammoniak) auftreten.

Auf der Grundlage der vorliegenden Betriebsergebnisse lassen sich erste Ansätze zur Definition von Stabilisierungskriterien ableiten. Hierbei wird die Restgasproduktion in Verbindung mit einer hinreichenden Kohlenstoffreduzierung (Aufstellung von C-Bilanzen) als Hauptansatz herangezogen, wobei Seitenaspekte wie sehr geringe Restsetzungen und abnehmende Temperaturen Berücksichtigung finden könnten.

6 Literatur

- Heyer, K.-U., Stegmann, R. 1997 Langfristiges Gefährdungspotential und Deponieverhalten von Ablagerungen. Bericht zum Teilvorhaben TV 4 im BMBF-Verbundvorhaben „Deponiekörper“, Projektträger PTAWAS (Umweltbundesamt Berlin), unveröffentlicht.
- Hupe, K., Heyer, K.-U., Becker, J.F., Traore, O., Koop, A., Noetzle, S., Stegmann, R. 2004 Varianten der Oberflächenabdichtungen: Aufbau und Ergebnisse aus Versuchsfeldern. In: Deponietechnik 2004, 4. Hamburger Abfallwirtschaftstage 28.-29. Januar 2004, Hamburger Berichte, Bd 22, Hrsg.: Stegmann, R., Rettenberger, G., Ehrig, H.-J., Bidlingmaier, W., Fricke, K. Verlag Abfall aktuell, Stuttgart, 271 – 299, ISBN: 3-9808180-5-5

- Krümpelbeck, I., Ehrig, H.-J. 2001 Emissionsverhalten von Altdeponien. In: Deponietechnik 2000, 2. Hamburger Abfallwirtschaftstage 26.-27. Januar 2000, Hamburger Berichte, Bd. 16, Hrsg.: Stegmann, R., Rettenberger, G., Ehrig, H.-J., Bidlingmaier, W., Verlag Abfall aktuell, Stuttgart, 207 – 218, ISBN: 3-9806505-6-1
- Leikam, K., Heyer, K.-U., Stegmann, R. 1998 Einflussnahme auf das Deponieverhalten durch In-Situ Stabilisierung. In: Entwicklungstendenzen in der Deponietechnik, 1. Hamburger Abfallwirtschaftstage 28.-29. Januar 1998, Hamburger Berichte, Band 12, Hrsg.: Stegmann, R.; Rettenberger, G., Economica Verlag Bonn, 83-104, ISBN: 3-9806505-6-1
- Mudrack, K., Kunst, S. 1985 Biologie der Abwasserreinigung. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, ISBN: 3-437-30453-4
- NN 2002 Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer AbwV - Abwasserverordnung. In: BGBl. Nr. I vom 23.10.2002 S. 4047, ber. 2002 S. 4550
- 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, ISBN: 3-9806505-8-8
- 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

Anschrift des Verfassers

Dipl.-Ing. Marco Ritzkowski, Prof. Dr.-Ing. Rainer Stegmann
TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Abfallwirtschaft
Harburger Schloßstr. 36
D-21079 Hamburg

Telefon +49/40/42878-2053

Email: m.ritzkowski@tu-harburg.de

Website: www.tu-harburg.de/aws/