

Stand der Technik bei Hausmülldeponien

Klaus Stief, Berlin

1 Einleitung

Heute werden in Deutschland ca. 400 Deponien betrieben, die als Altdeponien oder neue Deponien der Deponieklasse II gemäß TA Siedlungsabfall zuzuordnen sind. Auf nahezu allen diesen Deponien werden Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle ohne Vorbehandlung abgelagert. Deshalb werden diese Deponien im folgenden als Hausmülldeponien angesprochen.

Die technischen Maßnahmen zum Schutz der Umwelt sind bei Hausmülldeponien, die noch in Betrieb sind, sehr unterschiedlich. Teilweise gibt es keine Basisabdichtung und folglich auch keine Sickerwasserfassung- und -behandlung. Teilweise gibt es Basisabdichtungen, aber die Sickerwasserbehandlung ist erst geplant oder wird zur Zeit gebaut. Auch Maßnahmen zur Deponieentgasung und erst recht zur Deponiegasverwertung sind nicht auf allen Hausmülldeponien vorhanden bzw. erst in Planung oder im Bau.

Es bietet sich deshalb an, zwischen "guten" und "schlechten" Hausmülldeponien zu unterscheiden, und zwar in Abhängigkeit vom Stand der Technik der erforderlichen technischen Maßnahmen für den Schutz der Umwelt und Nachbarschaft.

Voraussetzung für eine solche Klassifizierung ist aber die Feststellung, was der Stand der Technik bei Hausmülldeponien ist. Im folgenden wird versucht, den Stand der Technik bei Hausmülldeponien zu beschreiben.

2 Sickerwasserfassung

Notwendigerweise gehört zur Basisabdichtung ein Sickerwasserfassungssystem (Abdichtung + Sickerwasserfassung = Deponiebasisabdichtungssystem). Deponien ohne Basisabdichtung sollten umgehend stillgelegt und zum Abschluß gebracht werden.

Die Basisabdichtung bei neuen Bauabschnitten entsprechend dem Stand der Technik ist eine Kombinationsabdichtung (Kunststoffdichtungsbahn auf mineralischer Abdichtungsschicht im Preßverbund). Gleichwohl müssen Hausmülldeponien mit einfachen mineralischen Abdichtungen keine so "schlechte" Deponien sein, daß sie umgehend stillgelegt werden müßten. Verdächtig wird es erst, wenn der Sickerwasseranfall drastisch - gegen Null - abnimmt, ohne daß "oben" Maßnahmen zur Sickerwasserverminderung getroffen wurden.

Sickerwassersammelrohre (Drainrohre) müssen spülbar und mit Spezialkameras befahrbar sein, sonst kann man die Wirksamkeit nicht kontrollieren und auch keine Reparaturarbeiten gezielt veranlassen. Sickerwasserdrainrohre, die nicht mit Kameras befahrbar sind, entsprechen nicht dem Stand der Technik.

3 Sickerwasserverminderung

Großer Sickerwasseranfall an der Basis abgedichteter Deponien verursacht hohe Sickerwasserbehandlungskosten.

Ungehemmte Infiltration von Niederschlagswasser in den Deponiekörper gewährleistet nicht, daß der Deponiekörper gleichmäßig durchfeuchtet wird, und damit die biologischen Abbauprozesse im gesamten Deponiekörper homogen ablaufen. Deshalb kann eine Verminderung des Sickerwasseranfalls eine sinnvolle Maßnahme sein. Die Sickerwasserverminderung kann insbesondere auch dann sinnvoll sein, wenn die Sickerwasserbehandlungsanlage überlastet ist, also erweitert werden müßte, oder, wegen unzureichender Reinigungsleistung, ersetzt werden muß.

Praktische Erfahrungen mit der betrieblichen Abdeckung bei Hausmülldeponien liegen vor (Dehm und Übelhör, 1999). Im Landkreis Ravensburg sind seit 1993 etwas 7 ha Deponiefläche auf den Deponien Obermooweiler II (1998 zu 100%) und Gutenfurt II (1998 zu 95%) zeitweise mit Folien abgedeckt. Sickerwassermengen und Sickerwasserqualität haben sich erheblich verändert:

Tabelle 1 Einfluß der betrieblichen Abdeckung auf die Sickerwassermengen

	<i>Deponie Gutenfurt I und II</i>	<i>Deponie Obermooweiler</i>
1992	73524 m ³ /a	59898 m ³ /a
1998	25969 m ³ /a	19064 m ³ /a
Verminderung auf	35,32%	31,83%

Der Einfluß auf die Sickerwasserzusammensetzung sei nicht einfach zusammenzufassen gewesen. Für die Deponie Obermooweiler wird aufgrund des Rückganges des Schadstoffaustrags aber sogar die Möglichkeit gesehen, die Vorgaben der Rahmen AbwasserVwV Anhang 51 ohne Behandlung einzuhalten. Bemerkenswert ist die Verminderung der AOX-Tagesfrachten (Tabelle 2).

Tabelle 2 Verminderung der AOX-Tagesfrachten infolge der betrieblichen Abdeckung

	<i>Deponie Gutenfurt</i>	<i>Deponie Obermooweiler</i>
1994	300 g/d	200 g/d
1999	47 g/d	41 g/d
Verminderung auf	15,67%	20,50%

Maßnahmen zur Sickerwasserverminderung durch temporäre (zeitweise) Abdeckung offener Betriebsflächen sind Stand der Technik.

4 Sickerwasserbehandlung

Bei der Sickerwasserbehandlung für Sickerwasser aus Hausmülldeponien hat sich kein Verfahren eindeutig durch gesetzt. Um den Anforderungen des Anhangs 51 der Rahmen AbwasserVwV zu genügen, ist die Anwendung von Verfahrenskombinationen erforderlich. Zwölf Verfahrenskombinationen haben sich nach Meul, Merten, Biegler, 1998 in den letzten Jahren herauskristallisiert (Tabelle 3).

Tabelle 3: Wichtigste Verfahrenskombinationen zur Deponiesickerwasserbehandlung nach Meul, Merten, Biegler, 1998

1		FIL	ADS			
2		FIL	ADS	ION		
3	BIO	ULT	CHO			
4	BIO	ULT	ADS			
5	BIO	ULT	UO		VER	TRO
6	BIO		CHO			
7			UO		VER	TRO N2
8			UO		UO*	TRO N2
9			UO	NAN	UO*	TRO N2
10			UO			ExK
11			UO		UO*	EXK
			UO	NAN	UO*	EXK

Erläuterungen

ADS	Adsorption	NAN	Nanofiltration
BIO	Biologie	TRO	Trocknung
CHO	Chemische Oxidation	ULT	Ultrafiltration
EXK	Externe Konzentratentsorgung	UO	Umkehrosmose
FIL	Filtration	UO*	Hochdruckumkehrosmose
ION	Ionenaustauscher	VER	Verdampfung
N2	Stickstoffausschleusung		

Mit Mitteln des BMU wurden innovative Sickerwasserbehandlungsverfahren gefördert.

Deponie	Verfahren	Quelle
Deponie Lampertheimer Wald, Kreis Bergstraße	biologische Vorreinigung, Umkehrosmose, Strippung	UBA, 1996
Deponie Berg, Kreis Germersheim	Nanofiltration, chemische Oxidation, Druckbiologie	UBA, 1996
Deponie Fernthal, Kreis Neuwied	biologische Behandlung, Adsorption, Oxidation, biologische Nachreinigung, Ionenaustauscher	UBA, 1995
Deponie Mechernich, Kreis Euskirchen	biologische Vorbehandlung, Festbettreaktor, Umkehrosmose, Eindampfung, Trocknung	UBA, 1995

5 Deponieentgasung und Deponiegasverwertung

Bei Hausmülldeponien ist eine Deponieentgasung einschließlich Deponiegasbehandlung zwingend erforderlich, um eine Gefährdung bzw. Belästigung der Nachbarschaft zu vermeiden, aber auch um den Einfluß von Methan auf den Treibhauseffekt zu vermindern. Die aktive Deponieentgasung sowie die Deponiegasverwertung sind Stand der Technik.

Bei Deponien, die Jahre, wenn nicht Jahrzehnte nach Beginn des Deponiebetriebes, kurz vor der Stilllegung eine Deponiegasfassung erhalten, wird sich eine Deponiegasverwertungsanlage vielleicht nicht mehr amortisieren. Ob eine Deponiegasverwertungsanlage sinnvoll betrieben werden kann, hängt nicht zuletzt von den Prognosen über die Deponiegasproduktion ab. Maßnahmen zur Vermeidung von Methangasemissionen bei abnehmender Deponiegasproduktion sind Stand der Technik und müssen in jedem Fall angewendet werden.

Die Deponiegasfassung wird durch die Abdichtung der Deponieoberfläche, aber auch durch betriebliche Abdichtungsmaßnahmen zur Verminderung der Sickerwassermenge beeinflusst. Rettenberger, 1999, hält eine Abdichtung der Deponieoberfläche mit

Kunststoffdichtungsbahnen für sehr wirkungsvoll, um Deponiegasemissionen in die Atmosphäre zu verhindern und die Gasfassung im Deponiekörper zu verbessern.

Dehm und Übelhör, 1999, berichten, daß die gefaßten Deponiegasmengen auf den Deponien Gutenfurt und Obermooweiler, auf denen die betriebliche Abdichtung zur Verminderung des Sickerwasseranfalls realisiert wurde, zurückgegangen sind.

Allerdings ist der Einfluß der Abdichtung gegenüber dem Einfluß von abnehmenden abgelagerten biologisch abbaubaren Abfällen nicht klar abzugrenzen.

Die Verminderung von Methangasemissionen in die Atmosphäre ist unter dem Aspekt Klimaschutz zwingend geboten (Rettenberger, 1998). Die dafür geeigneten Maßnahmen (z.B. Abdichtung, Methanoxidation) sind Stand der Technik.

6 Deponieoberflächenabdichtung

Gemäß TA Siedlungsabfall müssen verfüllte Deponieabschnitte an der Oberfläche abgedichtet werden, um die Emission von Deponiegas sowie die Infiltration von Niederschlagswasser zu verhindern. Für Hausmülldeponien wird ein Oberflächenabdichtungssystem mit einer Kombinationsabdichtung oder ein gleichwertiges System gefordert. Kontrovers wird diskutiert, wann die Oberflächenabdichtung aufgebracht werden soll und ob die Abdichtung unbedingt eine Kombinationsabdichtung sein muß.

Hier interessieren zwei Fragen:

1. Wird durch die Oberflächenabdichtung die Nachsorgephase auf unbestimmte Zeit verlängert, weil der biologische Abbau der abbaubaren organischen Abfallanteile verhindert wird und ist das hinzunehmen?
2. Welche Rolle spielt die Rekultivierungsschicht als Komponente des Deponieoberflächenabdichtungssystems hinsichtlich der Verminderung der Infiltration von Niederschlagswasser in den Deponiekörper?

Zu Frage 1:

Es ist unbestritten, daß durch die wirksame Abdichtung der Deponieoberfläche der biologische Abbau im Deponiekörper mit der Zeit zum Erliegen kommt, ohne daß das Potential für Emissionen auf dem Luft- und Wasserpfad im Deponiekörper beseitigt worden wäre. Um diesem Übel abzuhelpen, werden technische Maßnahmen

angewendet, durch die der biologische Abbau im Deponiekörper nach Abdichtung der Oberfläche gefördert und zu einem (technisch sinnvollen) Ende gebracht werden soll:

- mit der Infiltration von Sickerwasser in den Deponiekörper unterhalb der Abdichtungsschicht liegen Erfahrungen vor (u.a. Bauer und Meisinger, 1999),
- die insitu Belüftung zur Stabilisierung von abgelagerten Abfällen ist im Versuchsstadium (Heyer, et. al. 1999).

Lt. Bauer und Meisinger, 1999, sind in Bayern bereits auf 19 Deponien in unterschiedlichen Größenordnungen Infiltrationsanlagen in Betrieb bzw. in Planung oder im Bau. Damit ist nachgewiesen, daß die Infiltration von Sickerwasser unterhalb von Oberflächenabdichtungen technisch möglich ist. Aber man wohl noch nicht davon sprechen, daß sie Stand der Technik ist, weil es noch an einer systematischen Erfassung und Auswertung der Ergebnisse der verschiedenen Anwendungen fehlt. Vor allem fehlt es auch an einer weitgehend übereinstimmenden Meinung über den Erfolg der Maßnahme - das ist die wirklich gleichmäßige Durchfeuchtung des Deponiekörpers.

Deponiebetreiber, die keine mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfälle oder gar Abfälle entsprechend den Zuordnungskriterien des Anhangs B der TA Siedlungsabfall ablagern, sollten sich darauf einstellen, daß von ihnen die Nachbehandlung der bereits abgelagerten Abfälle gefordert wird.

Zu Frage 2:

Beim "Ringeln" um die kostengünstigste bzw. billigste Oberflächenabdichtung wird vielfach argumentiert, daß die Rekultivierungsschicht (auch als Wasserhaushaltsschicht bezeichnet) das Eindringen von Niederschlagswasser in den Deponiekörper erheblich vermindern, wenn nicht gar verhindern könne. An überzeugenden Nachweisen fehlt es bisher. Grundsätzlich ist aber unbestritten, daß eine richtig dimensionierte Rekultivierungsschicht (einschließlich der Vegetation) einen wichtigen Beitrag zum Wasserhaushalt eines Deponieoberflächenabdichtungssystems leisten kann.

Zur "richtigen" Dimensionierung ist u.a. das Wasserhaushaltsmodell HELP-D geeignet, wenn es von Sachkundigen angewendet wird (Berger, K., 1999, Melchior, S., 1998).

Wo und wie das Programm HELP-D einschl. Handbuch zu beziehen ist, kann man im Internet unter <http://www.geowiss.uni-hamburg.de/i-boden/fsimhelp.htm> erfahren.

Die Berücksichtigung des Wasserhaushalts des Deponieoberflächenabdichtungssystems gehört zur Stand der Technik bei der Planung und als Grundlage für die Ausführung.

7 Abfalleinbau

Bei allen Hausmülldeponien werden heute mit Kompaktoren die Abfälle in dünnen Schichten verdichtet eingebaut. Die erreichbare Ablagerungsdichte hängt im wesentlichen vom Anteil der schlecht verdichtbaren Kunststoffe ab. Die in der Praxis erreichte Ablagerungsdichte ist aber offenbar in der Regel nicht ausreichend. Im Zusammenhang mit den Diskussionen über eine endgültige Oberflächenabdichtung sofort nach Verfüllung wird nämlich in der Regel für die temporäre Abdeckung/Abdichtung optiert, weil durch Setzungen das Deponieoberflächenabdichtungssystem mit der "zu teuren" Kombinationsabdichtung zerstört werden könnte. Das aber bedeutet nicht mehr und nicht weniger, als daß man nicht in der Lage ein tragfähiges Abdichtungsaufleger ohne Setzungssprünge herzustellen.

Methoden zur nachträglichen Verdichtung stünden zur Verfügung (z. B. Tiefenverdichtung, Rüttelstopfverfahren), werden aber aus Kostengründen kaum angewendet. Außerdem ist zu bedenken, daß zu den Kosten für die nachträgliche Verdichtung auch noch die Kosten für das "TASi gerechte" Oberflächenabdichtungssystem (Abdichtung plus Rekultivierungsschicht) kommen, die man sonst erst nach Jahren oder Jahrzehnten investieren müßte.

Möglicherweise reichen aber auch besondere Maßnahmen beim Einbau der obersten Abfallschichten aus, um zerstörerische Setzungen zu vermeiden. Maßnahmen zur Herstellung einer tragfähigen Oberflächen des Deponiekörpers ohne schädliche Setzungssprünge sind Stand der Technik.

8 Abfallvorbehandlung

Für die Abfallvorbehandlung vor der Ablagerung auf Hausmülldeponien stehen heute mechanisch-biologische Verfahren zur Verfügung. (Die thermische Behandlung wird hier nicht betrachtet.) Grundsätzlich sind aerobe und anaerobe Verfahren oder

Kombinationen daraus anwendbar. In der Deponiepraxis haben aber nur die aeroben Verfahren Bedeutung.

Die mechanisch-biologische Vorbehandlung von Abfällen vor der Ablagerung wird auch in Verbindung mit einer MVA diskutiert und betrachtet, und nicht als sinnvolle deponietechnische Maßnahme bei Hausmülldeponien. Ausnahmen bestätigen die Regel.

Die Ablagerung von aerob vorbehandeltem Hausmüll kann in folgenden Bereichen vorteilhaft sein:

- auf der Basisabdichtung, als Schicht zur positiven Beeinflussung der Sickerwasserzusammensetzung (Reduzierung der CSB- und BSB-Konzentrationen), insbesondere auch, um die Inkrustationsgefahr für die Sickerwassersammelsysteme zu vermindern.
- In den obersten Bereichen eines Deponieabschnittes, um die Deponiegasbildung zu reduzieren, aber auch um ein tragfähiges Auflager für das Deponieoberflächenabdichtungssystem zu schaffen, durch das ungleichmäßige Setzungen (Setzungssprünge) vermieden werden können.
- Zur Abdeckung von Betriebsflächen, um Geruchsemissionen zu verringern und um Methanemissionen (durch Methanoxidation in den "Rottemüllschichten") zu verringern, die trotz aktiver Entgasungsmaßnahmen nicht unbeträchtlich sein können.

Von diesen Möglichkeiten wird offenbar nur wenig Gebrauch gemacht, obwohl die Verfahren zur mechanisch-biologischen Vorbehandlung vor der Ablagerung auf Hausmülldeponien Stand der Technik sind. Die Tatsache, daß die Produkte aus der mechanisch-biologischen Behandlung die Zuordnungskriterien zu Deponien der Klasse II in Anhang B der TA Siedlungsabfall nicht erfüllen, spielt hier, bei der Ablagerung auf Hausmülldeponien, keine Rolle, solange die Übergangsfrist gemäß TAsi Nr. 12 ausgenutzt werden kann.

Ein Verfahren zur einfachen aeroben Vorbehandlung wird seit Jahren auf der Deponie Hasenbühl, LK Schwäbisch Hall angewendet (Haschemi, 1998). Trotz positiver Berichte des Deponiebetreibers, der dieses Verfahren als Stand der Technik bezeichnet, hat es in Deutschland keine Verbreitung gefunden.

Technisch höherwertige Anlagen zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (als Demonstrationsanlagen gefördert vom Land Niedersachsen) werden von der Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH Bassum, LK Diepholz, vom Zweckverband Abfalldeponie Friesland/Wittmund auf der Deponie Wiefels, und von der Gesellschaft für Abfallwirtschaft Lüneburg mbH auf der Deponie Bardowick betrieben. Hier steht allerdings nicht die Verbesserung des Deponieverhaltens der bestehenden Hausmülldeponien durch Ablagerung mechanisch-biologisch behandelter Abfälle im Vordergrund, sondern der Nachweis der Gleichwertigkeit zur Abfallverbrennung. Gleichwohl kann man heute von einem Stand der Technik bei der mechanisch-biologischen Behandlung von Restabfällen vor der Ablagerung sprechen, wenn auch die Gleichwertigkeit der Ergebnisse mit den Anforderungen der TASI in Anhang B weiterhin umstritten ist. Der Betrieb von "Monodeponien" für MBA-Abfälle ist allerdings noch nicht Stand der Technik.

9 Eigenkontrollen / Selbstüberwachung

In der TA Siedlungsabfall werden auch für Hausmülldeponien jährliche Erklärungen zum Deponieverhalten gefordert, damit u. a. der Verlauf des Deponieverhaltens für die Festlegung der Nachsorgemaßnahmen im Zusammenhang mit dem Abschluß der Deponie nach Stilllegung, aber auch für die Feststellung des Endes der Nachsorgephase durch die zuständige Behörde berücksichtigt werden kann.

Die Länder Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg geben den Deponiebetreibern in unterschiedlicher Weise Hilfestellung, bei der Selbstüberwachung der Deponien, die ja Voraussetzung für die Erklärung zum Deponieverhalten ist.

Vom Ministerium für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg ist in der Schriftenreihe Abfall, Heft 56 der "Leitfaden zur Überwachung des Betriebes von Siedlungsabfalldeponien" im Februar 1999 herausgegeben worden. Der Leitfaden soll Deponiebetreibern als kompakte und handhabbare Anleitung zur Erstellung des Deponiejahresberichts dienen. Der Leitfaden umfaßt die Hauptgebiete a) Deponiekörper, b) Wasser, c) Gas, d) Deponieumgebung, Meteorologie.

Einen anderen Weg geht das Land Nordrhein-Westfalen. Dort ist am 29.05.1998 die "Ordnungsbehördliche Verordnung über die Selbstüberwachung von oberirdischen Deponien (Deponieselbstüberwachungsverordnung - DepSüVO) in Kraft getreten. Die

Verordnung erstreckt sich sowohl auf den unmittelbaren Deponiebetrieb als auch auf Maßnahmen zur Anpassung an den Stand der Technik und zur ordnungsgemäßen Stilllegung sowie auf nicht mehr genutzte Teilbereiche einer Deponie (Nienhaus, 1999). Die Deponieselbstüberwachungsverordnung richtet sich als Verordnung direkt an den Deponiebetreiber. In drei Technischen Anhängen wird geregelt:

Anhang I Art und Häufigkeit der während des Betriebes einer Deponie zu überwachenden und zu untersuchenden Vorgänge

Anhang II: Datenblätter für die Vorlage der anlagen- und meßstellenbezogenen Betriebskenndaten

Anhang III: Inhalt und Form des Jahresberichtes.

Andere Länder werden nicht umhin kommen, sich einer der beiden Regelungen anzupassen. Vorteil der NRW-Regelung dürfte darin liegen, daß mittelfristig vergleichbare Daten verfügbar sein werden, die, wenn der Datenschutz dem nicht entgegensteht, zur Durchsetzung umweltschonenderer Betriebsweisen auf Deponien ausgewertet und verwendet werden könnten.

Die Maßnahmen zur Selbstüberwachung/Kontrolle des Deponieverhaltens, die in der TA Siedlungsabfall Nr. 6 gefordert werden, sind, insbesondere in Verbindung mit der DepSüVO NRW und dem Leitfaden des Landes Baden-Württemberg Stand der Technik.

10 Literatur

Bauer, W. und Meisinger, S., 1999

Untersuchungen zur Auswirkung der Wasserinfiltration an der Deponie Erbenschwang. In: "Deponiegas '99". Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 12, S. 86-93. Hrsg. Rettenberger / Stegmann. Verlag Abfall aktuell

Berger, K., 1999

Validierung und Anpassung des Simulationsmodells HELP zur Berechnung des Wasserhaushalts von Deponien für deutsche Verhältnisse. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben FKZ 147 1038 des bmb+f. Veröffentlicht in der Grünen Reihe des bmb+f. Kostenlos zu beziehen beim Umweltbundesamt, Öffentlichkeitsreferat

(<http://www.umweltbundesamt.de>, genauer unter <http://212.96.1.218/cgi-bin/w3-msql/uba-info-medien/med-serg-bereich.html?Suchwort=Abfallwirtschaft>) .

Dehm, D. und Übelhör, J., 1999

Einfluß auf die Sickerwasserbildung und die Gasproduktion der betrieblichen Abdeckung von Siedlungsabfalldeponien. In: "Zeitgemäße Deponietechnik 1999", Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 70, S. 133-153. Erich Schmidt Verlag

Haschemi, H., 1998

Verbessertes Verfahren zur Verrottung von Haus- und Gewerbemüll (Schwäbisch-Haller Modell). Müll und Abfall 30.Jg. (1998), Heft 8 S. 502-511.

Heyer, K.-U., Heerenklage, J., Dalheimer, F. Stegmann, R.

In situ Belüftung zur Stabilisierung von Altablagerungen. In: "Deponiegas '99". Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 12, S. 181-206. Hrsg. Rettenberger / Stegmann. Verlag Abfall aktuell

Melchior, S. (1998)

Ansätze zur Gestaltung und Dimensionierung von Rekultivierungsschichten in Abdecksystemen für Altdeponien und Altlasten. In: Stief, K. und B. Engelmann (Hrsg.): Geforderte Maßnahmen bei der Stilllegung von Altdeponien - Kostentreibende Willkür oder Notwendigkeit? Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, E. Schmidt Verlag, Berlin, Band 107, S 161-180

Meul, Chr., Merten, M., Biegler, R., 1998

Sickerwasserreinigung und Gasnutzung auf Deponien vor dem Hintergrund der Nachsorge. WLB Wasser, Luft, Boden 1998, Heft 7-8, S. 60-63

Nienhaus, U., 1999

Anforderungen aus der Deponieselbstüberwachungsverordnung in NRW bezüglich Deponiegas. In: "Deponiegas '99". Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 12, S. 18-42. Hrsg. Rettenberger / Stegmann. Verlag Abfall aktuell

Rettenberger, G., 1999

Klimagefährdung durch Deponiegasemissionen. In: "Zeitgemäße Deponietechnik 1999". Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 70, S. 215-233. Erich Schmidt Verlag

Steinert, B., Melchior, S., Burger K., Berger, K., Türk, M., 1996

Dimensionierung von Kapillarsperren zur Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten.

Abschlußbericht von Teilvorhaben 39 des BMBF-Verbundvorhabens

"Weiterentwicklung von Deponieabdichtungssystemen". Förderkennzeichen 1440 569A-39. Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg, 355 S., 1996

UBA 1995

Jahresbericht 1995 des Umweltbundesamtes, S. 362-363

UBA, 1996

Jahresbericht 1996 des Umweltbundesamtes, S. 226-227