Verbrennungsmöglichkeiten, in: B. Bilitewski et al. (Hrsg.): Thermische Abfallbehandlung und Co-Verbrennung; Beiträge zur Abfallwirtschaft der Technischen Universität Dresden, Bd. 9, S. 71-88
Urban, A.; Friedel, M., 1997: Kapazitäten thermischer Verfahren und Behandlungsanlagen, in: A. Urban, B. Bilitewski, Faulstich (Hrsg.): Thermische Abfallbehandlung, Abfalltechnik an der Universität Gh Kassel, S. 107-156
Wagner, St.; Heilmann, A.; Bilitewski, B.; Rotter, S., 1999: Herstellung und Verwertung eines Ersatzbrennstoffes aus Restabfall, BEW-Tagung Duisburg 25./26. November 1999, Novellierung der TA-Siedlungsabfall

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Bernd Bilitewski
Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten
Technische Universität Dresden
Pratzschwitzer Straße 15, D-01796 Pirna
Tel.: + 49 (0) 3501-530 030
Fax: + 49 (0) 3501-530 022
E-Mail: abfall@rcs.urz.tu-dresden.de

»

Stand und Perspektiven der biologischen Abfallverwertung und -behandlung in Deutschland

von Klaus Fricke und Thomas Turk, TU-Braunschweig / IGW Witzenhausen

Der vorliegende Beitrag beschreibt den Status der biologischen Abfallverwertung und -behandlung in Deutschland. Zunächst wird das Mengenpotenzial für biologische Verwertungs- und Behandlungsverfahren dargestellt. Auf Grundlage von aktuellen Erhebungen können Aussagen zum Status quo getroffen werden. Unter Berücksichtigung des derzeitigen Planungsstandes und unter Würdigung der relevanten politischen und genehmigungsrechtlichen Rahmendaten wird versucht, Perspektiven im Bereich der biologischen Verwertungs- und Behandlungsverfahren aufzuzeigen.

1 Einleitung

Biologische Verfahren können auf verschiedenen Ebenen Teilaufgaben in der Abfallwirtschaft erfüllen:

- Abfallvermeidung/Verwertung durch Eigenkompostierung,
- Abfallverwertung durch Kompostierung und Vergärung verschiedener qualitativ hochwertiger Abfallprodukte,
- Abfallvorbehandlung durch Verrottung und Vergärung des Restmülls.

Als Technologien kommen Aerobverfahren (Kompostierung/Verrottung) und Anaerobverfahren (Vergärung/Fermentation) zum Einsatz, wobei sowohl im Bereich der Verwertung als auch im Bereich der Restabfallbehandlung anaerobe Technologien allein in der Regel nicht zu den gewünschten Zielen führen, sondern einer aeroben Nachbehandlung bedürfen.

Im Folgenden wird der Status der biologischen Verwertungs- und Behandlungsverfahren dargestellt und es wird versucht, auf dieser Grundlage, unter Berücksichtigung aktueller Rahmenbedingungen, die mittelfristigen Entwicklungen vorzuzeichnen.

2 Abfallstoffe

Die verschiedenen Abfallarten und -komponenten zur Verwertung und zur Restabfallbehandlung müssen hinsichtlich ihrer Eignung bezüglich der zwei unterschiedlichen biologischen Behandlungsverfahren – Aerobstufe und Kombinationsverfahren aus Aerob- und Anaerobstufe – differenziert betrachtet werden. Zur Charakterisierung der organischen Abfallstoffe müssen prozesstechnische Parameter (u.a. Wassergehalt, pH-Wert, C/N-Verhältnis, oTS-Gehalt, Strukturgehalt) und biochemische Kenngrößen der organischen Substanz herangezogen werden. Im aeroben Behandlungsprozess werden organische Komponenten in größerem Umfang ab- bzw. umgebaut als im anaeroben Prozess. So werden z.B. holzige Bestandteile ausschließlich aerob abgebaut.

2.1 Abfallstoffe zur Verwertung

Als organische Rohstoffe werden ausschließlich Abfallarten verwendet, aus denen die Herstellung qualitativ hochwertiger Kompostprodukte sichergestellt werden kann. Über die Biotonne werden getrennt gesammelte Küchen- und Gartenabfälle erfasst. Küchenabfälle fallen mit ca. 30 bis 70 kg/E*a an, die teilweise allerdings aus Gründen der Hygiene nicht oder nur eingeschränkt bei der Eigenkompostierung Verwendung finden können. Das Potenzial an Gartenabfällen liegt je nach Gebietsstruktur zwischen ca. 20 und 300 kg/E*a. Zusätzlich werden sogenannte Grünabfälle der Verwertung zugeführt wie z.B. Gartenabfälle aus privaten Gärten und öffentlichen Anlagen, forst- und landwirtschaftliche Abfälle sowie geeignete produktionsspezifische organische Abfallstoffe.

2.2 Abfallstoffe zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung

Auch bei der weitest gehenden Ausschöpfung der abfallreduzierenden Maßnahmen mit den zur Zeit zur Verfügung stehenden Mitteln der Vermeidung und Verwertung verbleibt eine erhebliche Menge an sogenanntem Restmüll. Für die mechanisch-biologische Restmüllbehandlung kommen Abfallarten in Frage, die relevante Mengen an biologisch abbaubarer organischer Substanz aufweisen. Hierzu gehören aus dem Hausmüll vor allem Windeln, Holz, Teilmengen der Textilien, Bioabfall- und Papierreste und Kartonverbundverpackungen. Ebenso zählen hierzu organische produktions-

spezifische Abfälle, die aufgrund ihrer minderen Qualität nicht für die Erzeugung qualitativ hochwertiger Komposte verwendbar sind. Nicht zuletzt müssen auch Abfälle aus der Abwasser- aufbereitung Berücksichtigung finden, wie z.B. Klärschlamm und Sandfang. Tabelle 1 zeigt planungsrelevante Kenngrößen verschiedener Abfallarten.

Haus- und Geschäftsmüll eignen sich sowohl für die aerobe als auch für die anaerob/aerobe Behandlung. Bisher durchgeführte biologisch-chemische Untersuchungen von Haus- und Geschäftsmüll zeigen, dass ca. 80 - 90% der biologisch abbaubaren Komponenten auch einem anaeroben Abbau zugänglich sind. Sperrmüll, hausmüllähnlicher Gewerbeabfall und Baustellenabfälle sind aufgrund ihrer stofflichen Zusammensetzung nur begrenzt für eine biologische Behandlung geeignet. Der Schwerpunkt der Behandlung liegt in der mechanischen Aufbereitung wie z.B. Zerkleinerung, Siebung und Sichtung. Einer biologischen Behandlungsstufe sind nur die holzigen Bestandteile und Papier/Pappe, in begrenztem Umfang auch Textilfaserabfälle, zuzuführen. Als biologisches Behandlungsverfahren kommt hier lediglich die Aerobtechnologie in Frage. Nicht verwertbare Klärschlämme haben bei der gemeinsamen Behandlung mit Restmüll die Funktion der Feuchtigkeitsversorgung sowie die Gewährleistung eines ausreichenden Stickstoffgehaltes im gesamten Reststoffgemisch. Ausgefaulte Klärschlämme sind ausschließlich in einem aeroben Prozess weiterzubehandeln.

Tab. 1: Abfallspezifische Kenngrößen zu den Verfahren der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (Datengrundlage: 206 Einzelanalysen von 21 verschiedenen Gebietskörperschaften)

Relevante Parameter	Einheit	Standardrestmüll		Sperrmüll	hmä. Gewerbeabfall	Baustellenmischabfall
		ländlich	städtisch			
TS	%	67%	69%	81%	79%	90%
oTS	%	61%	59%	80%	53%	24%
oTS _{bio} ¹⁾	%	41%	40%	37%	24%	9%
Inertstoffe ²⁾	%	14%	13%	0%	18%	60%
Heizwert Hu	MJ/Mg FS	9.900	9.800	15.500	12.500	5.700

¹⁾ biologisch abbaubarer Anteil der organischen Trockensubstanz

²⁾ mit Glas ohne Metalle

hmä = hausmüllähnlich

3 Status quo der biologischen Abfallverwertung und -behandlung

3.1 Bio- und Grünabfallverwertung

Die Verwertung organischer Haushaltsabfälle als integrierter Bestandteil der Abfallwirtschaft hat erst mit Beginn der 90er Jahre an Bedeutung gewonnen. In der Vergangenheit wurden lediglich 3% des Hausmülls über den Weg der Gesamtmüllkompostierung mehr oder weniger der Verwertung zugeführt. Der Grund für diese untergeordnete Bedeutung der Kompostierung als Instrument der Abfallentsorgung war in erster Linie die minderwertige Kompostqualität, die durch hohe Störstoffanteile, wie Glas, Plastik etc., vor allem aber durch zu hohe Schwermetallgehalte hervorgerufen wurde. Absatzprobleme waren die Folge. Alle damals vorliegenden Ergebnisse zeigten, dass eine nennenswerte Schadstoffminimierung im Kompost nur durch die separate Erfassung und Kompostierung der nativ-organischen Fraktion des Hausmülls erreicht werden kann. Seit Mitte der 80er Jahre wurde in mehreren Gebietskörperschaften die Getrenntsammlung der Küchenabfälle über ein zusätzliches Sammelgefäß, die Biotonne oder auch Komposttonne, erprobt. Die erzielten Ergebnisse führten zu den erhofften besseren Kompostqualitäten und schafften somit die

Voraussetzung für eine Wiederbelebung der Kompostierung als bedeutende Komponente bzw. als Baustein von Abfallwirtschaftskonzepten.

3.1.1 Status quo

Die in Witzenhausen 1983 entwickelte Idee der Getrenntsammlung und Kompostierung von Bioabfällen hat sich mittlerweile als fester Bestandteil integrierter Abfallentsorgungskonzepte etabliert. Nach einer von der Ingenieurgesellschaft Witzenhausen (IGW) im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) durchgeführten bundesweiten Erhebung war Ende 1998 in ca. 77% der Gebietskörperschaften das Getrenntsammlungssystem Biotonne installiert, wobei der einwohnerspezifische Anschlussgrad bei durchschnittlich 54% lag. Von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern, die zum Zeitpunkt der Befragung noch nicht über das System Biotonne verfügten, planen 42% die Biotonne einzuführen. Insgesamt konnten ca. 4 Mio. Mg Bioabfälle erfasst und der Verwertung zugeführt werden (Tab. 2). Die beabsichtigte Ausweitung der Bioabfallsammlung würde eine Mengensteigerung von ca. 300.000 bis 400.000 Mg/a nach sich ziehen.

Tab. 2: Status quo der Getrenntsammlung und Kompostierung/Vergärung von Bio- und Grünabfällen in Deutschland (Stand Dez. 1998; Klammerwerte: min. und max.)

Anschlussgrad der abfallwirtschaftlichen Verwaltungseinheiten in Deutschland an das System Biotonne (n = 419)	77%
Mittlerer Anschlussgrad der Einwohner in den Verwaltungseinheiten mit installierter Biotonne (n = 323)	54%
Erfassungsquote	54% (43 bis 81%)
Spezifische Bioabfallmenge pro Einwohner und Jahr	60 kg/a (23 bis 182)
Spezifische Grünabfallmenge pro Einwohner und Jahr	20 kg/a
Menge der erfassten Bioabfälle (n = 419)	4.058.900 Mg/a
Menge der erfassten Grünabfälle (n = 419)	2.674.800 Mg/a
Gesamtmenge	6.733.700 Mg/a
Kompostanlagen in Betrieb ¹⁾	558
Vergärungsanlagen in Betrieb ¹⁾	46

¹⁾ Aktualisiert nach Kern 1999; nur Anlagen > 1.000 Mg/a

Entsprechend der Menge, Art und Zusammensetzung der organischen Abfallstoffe können geeignete Systeme definiert und miteinander kombiniert werden. Ebenso nehmen standort-spezifische Kriterien, infrastrukturelle Rahmenbedingungen des Entsorgungsgebietes und genehmigungsrechtliche Voraussetzungen Einfluss auf die Wahl des Behandlungsverfahrens.

Die überwiegende Menge der Bio- und Grünabfälle wird in Kompostanlagen (558 Anlagen) zu Kompost verarbeitet.

Die Vergärung organischer Abfälle wird im Bereich der Abwasserreinigung (Klärschlamm) und der Landwirtschaft (Gülle) seit längerem praktiziert. Die Anaerobtechnik zur Verarbeitung von Bioabfällen konnte sich erst in den letzten sechs Jahren etablieren. Neben dem Anlagenneubau gewinnt die Vergärungstechnologie auch im Rahmen von Ausbaumaßnahmen und Ersatzbeschaffungen zunehmend an Bedeutung. Ende 1998 waren 46 Vergärungsanlagen in Betrieb. Einige Kenndaten zum Biogas aus der Vergärung von Bioabfällen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tab. 3: Kenngrößen zum Biogas einstufiger und zweistufiger Vergärungsverfahren bei der Verwertung von Bioabfällen

Behandlungsverfahren	einstufig	zweistufig
Behandlungszeit (Tage)	12 - 20	4 - 10
Biogasertrag (Nm ³ /Mg Input)	80 - 110	80 - 120
CH ₄ -Gehalt (%)	60 - 70	60 - 70
Heizwert (kWh/ Nm ³)	6,0 - 6,5	6,0 - 6,5

3.1.2 Kompostqualität

Die Qualität von Bioabfallkompost wird maßgeblich von der Art und Zusammensetzung der verwerteten Kompostrohstoffe bestimmt. Als wesentliche Einflussfaktoren gelten neben der Art der Kompostrohstoffe vor allem deren Reinheitsgrad, aber auch Bodenqualität und Immissionen im jeweiligen Sammelgebiet. Zusätzlich wirkt sich die zum Einsatz kommende Verfahrenstechnik und die Art der Rotteführung nachhaltig auf die Kompostqualität aus. Qualitätsuntersuchungen dienen der Erfolgskontrolle und liefern grundlegende Daten für die Opti-

mierung sowohl der Getrenntsammlung als auch der Rottesteuerung, ebenso dienen sie als Grundlage für die sachgerechte Kompostanwendung; sie sind damit auch ein wesentlicher Bestandteil von Marketingstrategien.

Komposte sollten folgende Qualitätsmerkmale aufweisen:

- hoher Gehalt an wertgebenden Inhaltsstoffen (Pflanzennährstoffe, organische Substanz),
- geringer Anteil an Fremdstoffen (Glas, Metalle, Kunststoffe und Steine),
- gute Pflanzenverträglichkeit,
- unbedenkliche Gehalte an Schwermetallen und organischen Schadstoffen,
- unbedenkliche Gehalte an Krankheitserregern und Unkrautsamen,
- in Abhängigkeit der Anwendung: rieselfähig und staubfrei (Landwirtschaft) oder stabilisiert und salzarm (Substratherstellung).

Komposte eignen sich aufgrund ihres Gehaltes an organischer Substanz, Pflanzennährstoffen und den basisch wirkenden Bestandteilen Kalzium (Ca) und Magnesium (Mg) sowohl als Dünge- als auch als Bodenverbesserungsmittel. Durch Kompostausbringung und der damit verbundenen Zufuhr von organischer Substanz werden die Struktureigenschaften des Bodens verbessert und dessen mikrobielle Aktivität erhöht. Gleichzeitig wirkt die basische Reaktion des Kompostes der fortschreitenden Bodenversauerung entgegen. Im Hinblick auf die Pflanzenernährung ist eine praxisübliche Kompostgabe von 5 bis 10 Mg (TS) pro ha geeignet, den Mikronährstoffbedarf von Kulturpflanzen zu decken und bei mittleren Gehalten von 0,6% Phosphor (P₂O₅) und 1,1% Kalium (K₂O) können die durchschnittlichen Entzüge landwirtschaftlicher Kulturen ausgeglichen werden. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit des organisch gebundenen Stickstoffes (N) und dessen langsamer Freisetzung ist eine bedarfsgerechte Stickstoffversorgung hingegen nur begrenzt möglich (Tab. 4).

Tab. 4: Wertgebende Bestandteile im Kompost (Berechnungsgrundlage: 1571 Analysen der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. im Jahre 1996)

	Median
N _{ges} (% TS)	1,3%
P ₂ O _{5ges} (% TS)	0,6%
K ₂ O _{ges} (% TS)	1,1%
MgO _{ges} (% TS)	0,7%
CaO _{ges} (% TS)	4,0%
N _{lös} (mg/l FS)	208,5
P ₂ O _{5lös} (mg/l FS)	906,0
K ₂ O _{lös} (mg/l FS)	3329,0
MgO _{lös} (mg/l FS)	222,8

Die Kompostverwertung im Substratbereich setzt im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Verwertung einen geringen Nährstoff- und Salzgehalt sowie eine besonders gute Pflanzenverträglichkeit voraus. Diese Bedingungen können insbesondere Komposte mit hohem

Grüngutanteil erfüllen. Auch mit Hilfe der nassen Vergärungstechnologie können gezielt Salze aus dem Kompostprodukt über das Prozesswasser ausgeschleust werden.

Als vorbeugende Bodenschutzmaßnahme dürfen gemäß BioAbfV nur Komposte mit nachweislich niedrigen Schwermetallgehalten (Tab. 5) ausgebracht werden. Die maximale Aufwandmenge pro ha innerhalb von drei Jahren beträgt in Abhängigkeit vom Schwermetallgehalt 20 Mg oder 30 Mg Komposttrockenmasse. Die höhere Aufwandmenge von 30 Mg setzt eine besonders geringe Belastung voraus. Der überwiegende Anteil der produzierten Komposte kann mit hohen Aufwandmengen ausgebracht werden.

Letztendlich ist auch die seuchen- und phytohygienische Unbedenklichkeit der Rotteendprodukte sicherzustellen, damit durch deren Ausbringung keine Beeinträchtigung der Gesundheit von Mensch und Tier durch Freisetzung oder Übertragung von Krankheitserregern verursacht wird. Da im Rahmen der Bioabfallsammlung regelmäßig Krankheitserreger und Unkrautsamen erfasst werden, haben die einzelnen Rotteverfahren die Hygienisierung zu gewährleisten und unter Beweis zu stellen. Bei sachgerechter Kompostierung können die Hygieneanforderungen sicher eingehalten werden.

Tab. 5: Schwermetallgehalte im Kompost (in mg/kg TS)

Parameter	Mittelwert ¹ Hausgartenkomposte	Mittelwert ² Bioabfallkomposte	Grenzwert A ³ der BioAbfV	Grenzwert B ⁴ der BioAbfV
Blei (Pb)	85	52,0	150	100
Cadmium (Cd)	0,7	0,5	1,5	1,0
Chrom (Cr)	39	22,5	100	70
Kupfer (Cu)	33	43,7	100	70
Nickel (Ni)	28	14,3	50	35
Quecksilber (Hg)	k.A.	0,2	1,0	0,7
Zink (Zn)	307	184,6	400	300

¹ In: Bundesgütegemeinschaft Kompost 1995

² siehe Tabelle 4

³ Ausbringungsmenge < 20 t TS/ha an Kompost innerhalb von 3 Jahren (BioAbfV)

⁴ Ausbringungsmenge < 30 t TS/ha an Kompost innerhalb von 3 Jahren (BioAbfV)

3.2 Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung (MBA)

Durch ein abfallwirtschaftliches Stoffstrommanagement sollen die Siedlungsabfälle so aufbereitet und gelenkt werden, dass der größte Teil dieser Abfälle einer Wiederverwertung zugeführt werden kann. Ist eine Wiederverwertung aus ökologischen, ökonomischen oder technischen Gründen nicht möglich, sind die verbleibenden Teilströme (Restabfälle) entsprechend ihren stofflichen Eigenschaften so zu behandeln, dass eine umweltverträgliche und nachsorgefreie Ablagerung möglich ist.

Neben den rein thermischen Verfahren haben sich drei unterschiedliche Behandlungsformen mit integrierter biologischer Behandlungsstufe herauskristallisiert, die sich insbesondere in ihren Zielrichtungen unterscheiden:

- *Mechanisch-biologische Vorbehandlung mit Einbindung der Deponie* (stoffspezifische Behandlung). Die in der mechanischen Stufe abgetrennte heizwertreiche Fraktion wird thermisch behandelt oder energetisch verwertet. Die verbleibende Fraktion, gekennzeichnet durch einen hohen Gehalt an Wasser und biologisch abbaubaren Stoffen, wird biologisch stabilisiert und anschließend deponiert.
- *Mechanisch-biologische Vorbehandlung vor der thermischen Behandlung* zur Reduzierung der thermisch zu behandelnden Abfallmengen und zur Verbesserung der Verbrennungseigenschaften.
- *Mechanisch-biologische Trockenstabilisierung* zur Erzeugung eines heizwertreichen Restabfalls für die energetische Verwertung. Das hergestellte Trockenstabilat wird bei Bedarf mittel- bis langfristig zwischengelagert, bis ausreichend Kapazitäten für die energetische Verwertung verfügbar sind.

3.2.1 Status quo

Bei den Verfahren der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung gibt es zur Zeit keinen bundesweit anerkannten Stand der Technik. Die bisher geplanten und realisierten Anlagen der MBA unterscheiden sich hinsichtlich der Zielsetzung sowie im verfahrens- und bautechni-

schen Standard – analog den biologischen Verwertungsverfahren – beachtlich voneinander. Bei den neueren Anlagen und den in Bau bzw. Planung befindlichen Anlagen gewinnen die technisch aufwendigen Aufbereitungs- und Behandlungsverfahren an Bedeutung. Mit Ausnahme des Kaminzug- und des Druckstoßbelüftungsverfahrens stammen sämtliche Anlagenkonzepte der MBA aus den Verfahren der Bio- und Grünabfallkompostierung/Vergärung und der früheren Haus- und Klärschlammkompostierung/Vergärung und wurden für die spezifischen Anforderungen modifiziert. Wie auch bei der Bio- und Grünabfallverwertung gewinnen Vergärungstechnologien zunehmend an Bedeutung. Unterstützung finden Vergärungstechnologien durch die sich abzeichnenden hohen Anforderungen an die Abluftbegrenzung.

3.2.1.1 Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung mit Einbindung der Deponie

Das Hauptziel der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) besteht darin, dass von deponierten Abfällen möglichst geringe Umweltgefährdungen ausgehen. Um dieses Ziel zu erreichen, sind im Anhang B der TASi Zuordnungskriterien aufgelistet, die von abzulagernden Abfällen eingehalten werden müssen. Ein einzelner dieser Parameter, der Glühverlust mit seinem Grenzwert von 5%, ist der Grund dafür, dass nur thermisch behandelte Abfälle deponiert werden dürfen. In der Fachwelt besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass der Glühverlust zwar zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit von Müllverbrennungsanlagen (MVA) geeignet ist, nicht aber für die Beschreibung des Deponieverhaltens von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. Auch die Einhaltung des Parameters $\text{TOC}_{\text{Eluat}}$ ("Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff im Eluat") von 100 mg C/l gestaltet sich problematisch. Nach derzeitigem Wissensstand ist die Einhaltung dieses Wertes durch MBA zwar prinzipiell möglich, jedoch sind dafür Rottezeiten von 5 bis 12 Monaten und länger erforderlich.

Die im Rahmen von Ausnahmegenehmigungen für die Deponierung von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen über das Jahr 2005 hinaus (TASi Ziffer 2.4) und in diversen Merkblättern und Erlassen aufgestellten Anfor-

derungen sind je nach Bundesland teilweise sehr unterschiedlich. Nach jetzigem Diskussionsstand, unter Einbindung der Ergebnisse des mittlerweile weitgehend abgeschlossenen BMBF-Verbundvorhabens zur MBA vor der Deponierung sowie des Positionspapiers des UBA zur MBA (UBA 1999) kann eine TASI-Öffnung im Grundsatz für stoffspezifische MBA-Verfahren (mit integrierter Ausschleusung der heizwertreichen Abfallbestandteile) empfohlen werden. Hinsichtlich des Stabilisierungsgrades und besonders beim Emissionsschutz (siehe Kapitel 4) werden vom UBA sehr hohe Anforderungen aufgestellt. Sie weichen deutlich von den im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens ausgesprochenen Empfehlungen ab.

So wird im UBA-Bericht ein $\text{TOC}_{\text{Eluat}}$ -Wert von 200 mg C/l gefordert, ohne dass hierfür eine sachliche Begründung geliefert wird. Der Wert steht zudem im Widerspruch zu dem im UBA-Bericht empfohlenen Grenzwert für die Atmungsaktivität (AT_4) von 5 mg O_2 /g TS sowie den im UBA-Bericht abgeleiteten zulässigen Sickerwasserfrachten. Daher sollten die aus wissenschaftlich-technischer Sicht abgeleiteten 300 mg C/l, die auch in die Vorgaben einiger Bundesländer Eingang gefunden haben, beibehalten werden. Der Wert von 200 mg C/l ist nicht sicher einhaltbar und ist damit als K.O.-Kriterium anzusehen. Gleiches gilt für den Glühverlust. Der Glühverlustwert von 30% in der TS ist nicht sicher erreichbar und ist damit ebenfalls als Ausschlusskriterium für MBA-Verfahren anzusehen.

Oberstes Ziel der biologischen Behandlung ist ein größtmöglicher Abbau der organischen Komponenten, um die gewünschten Stabilisierungsziele zu erreichen. Zum jetzigen Zeitpunkt kommen überwiegend Aerobverfahren zum Einsatz. Erfahrungen mit Anaerobtechnologien liegen erst seit kurzem vor, gewinnen aber vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden hohen Anforderungen an den Emissionsschutz im Bereich Abluft zunehmend an Bedeutung. Angepasst an die jeweiligen Behandlungsverfahren und -ziele werden unterschiedliche mechanische Aufbereitungsmethoden eingesetzt. Ziel der Vorbehandlung ist die Stoffstromauftrennung und die Konfektionierung für die nachfolgende stoffspezifische Behandlung.

Die Massereduktion während der biologischen Behandlung wird bestimmt durch die Abnahme des Wassergehaltes und der Trockensubstanz. Bei einem Abbau der organischen Substanz von ca. 65% (in % TS), bei einem Wassergehalt von ca. 30 bis 35% im Endprodukt, findet eine Massereduktion von ca. 20 bis 35% statt. Bei einer durchschnittlichen Abtrennung von 20 bis 30% des Anlagen-Inputs als heizwertreiche Fraktion und 3% Fe-Metallen errechnet sich eine Gesamtmassereduktion von ca. 50 bis 65% (Tab. 6).

Neben den Masseverlusten spielt für die Volumenreduktion die Strukturveränderung des Rotteproduktes durch rotteprozessbedingte Mineralisation sowie durch Zerkleinerungswirkung der Aufbereitungs-, Umsetz- und Nachbehandlungsprozesse eine entscheidende Rolle. Durch die mechanisch-biologische Restmüllbehandlung werden Einbaudichten von 1,3 bis 1,6 Mg/m^3 erreicht. Unbehandelter Müll weist dagegen Einbaudichten von lediglich 0,9 Mg/m^3 auf. Bei Zugrundelegen der Input- und Output-Massen sowie der jeweiligen Einbaudichten kann durch die mechanisch-biologische Restmüllbehandlung der Deponievolumenbedarf um ca. 60 bis 80% reduziert werden.

Die geforderten Stabilisierungsgrade Atmungsaktivität ($\text{AT}_4 \leq 5 \text{ mg O}_2/\text{g TS}$), Gasbildung ($\text{GB}_{21} \leq 20 \text{ NI/kg TS}$) und Eluierbarkeit ($\text{TOC}_{\text{Eluat}} \leq 300 \text{ mg C/l}$) werden je nach Intensität des aeroben biologischen Behandlungsprozesses nach ca. 8 bis 12 Wochen erreicht. Zur Einhaltung des im UBA-Papier geforderten Stabilisierungsgrades von $\text{TOC}_{\text{Eluat}} \leq 200 \text{ mg C/l}$ wären weitere 4 bis 8 Wochen erforderlich.

Zur Einhaltung der Stabilitätswerte beim Einsatz von Anaerobtechnologien ist eine aerobe Nachrotte von ca. 4 bis 8 Wochen erforderlich. Mehrstufige Anaerobverfahren, die eine räumliche Abgrenzung der mikrobiellen Hydrolyse von der Methanisierung bieten, schaffen eine Intensivierung der Stoffwechselvorgänge und somit eine Reduzierung der Aufenthaltsdauer, allerdings mit erhöhtem verfahrenstechnischen Aufwand. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass Anaerobverfahren im Vergleich zu Aerobverfahren höhere $\text{TOC}_{\text{Eluat}}$ -Reduktionsraten aufweisen.

Bei Anaerobverfahren liegen die erzielten Biogaserträge, bezogen auf den Anlageninput, unabhängig vom Vergärungsverfahren (Nass-/Trockenvergärung, ein- oder mehrstufig), der Betriebsweise und der Raumbelastung in einem Bereich zwischen 113 und 160 m³/Mg TS Anlagen-Input bzw. zwischen 190 bis 254 m³/Mg TS Fermenter-Input. Mit einstufigen Vergärungsverfahren ist bei stabiler Prozessführung ein Abbau der organischen Substanz von über 50%, mit Aufenthaltszeiten unter drei Wochen, im Fermenter erzielbar. Mehrstufige Vergärungsverfahren erreichen diese hohen Abbaugrade in kürzeren Aufenthaltszeiten.

Die Ergebnisse der anaeroben Restabfallbehandlung zeigen, dass durch Vergärung der Restabfälle ein deutlicher Energieüberschuss durch Nutzung des Biogases erzielt werden kann. Die bei der Biogasverstromung anfallende Wärme kann bei Bedarf zur Einstellung ei-

nes definierten Wassergehaltes am Rotteende eingesetzt werden. Weiterhin eröffnet sich hierdurch die Möglichkeit, durch Trocknung bestimmter Stoffströme eine weitere Stoffstromauftrennung zu erreichen.

Die Vorgaben der TA-Siedlungsabfall bezüglich der bodenmechanischen Eigenschaften der zu deponierenden Abfälle werden eingehalten (Müller et al. 1998; Bidlingmeier und Streff 1993; Maile et al. 1999). Die geforderten hohen Einbaudichten (ca. 1,4 Mg/m³) in Deponien und geringen Durchlässigkeits-/Infiltrationswerte (ca. 10⁻⁸ m/sec) sind bei den zuvor beschriebenen Stabilisierungsgraden, bei entsprechender Korngrößenbegrenzung (≤80mm) und gezielter Deponierungstechnik zu erreichen.

Tab. 6: Ausgewählte Leistungsdaten von MBA für Resthausmüll und Geschäftsabfall

	Anfangs- gehalte	End- gehalte	Leistung
Masse (%)	100	20 - 35	20 - 35%
Einbaudichte (Mg/m³)	0,9	1,3 - 1,6	
Volumen (%)	100%	bis 20%	bis 80%
Glühverlust (% TS)	56 - 66%	28 - 44%	
Heizwert (H_u; MJ/kg FS)	8,7 - 10,9	5,2 - 7,0	
oTS_{bio} : Aerobabbau (% TS)	33 - 46	24%	37 - 72%
oTS_{bio} : Anaerobabbau (% TS)	33 - 46		47 - 54%
AT₄ (mg O₂/g TS)	38 - 60	5	84 - 94%
GB₂₁ (Nl/kg TS)	140 - 190	20	85 - 95%
TOC_{Eluat} (mg C/l)	3.000 - 4.500	300	82 - 92%
Biogasertrag (m³/Mg TS Rohmüll)			113 - 160

3.2.1.2 Trockenstabilatverfahren

Im Trockenstabilatverfahren erfolgt eine biologische Trocknung der Abfallstoffe. Entwickelt wurde das Verfahren von der Fa. HerHof. Mittlerweile bieten auch andere Anlagenbauer dieses Verfahren an. Ziel dieses Verfahrens ist es, qualitativ hochwertige Stoffe für die energetische Verwertung zu erzeugen. Während bei

der biologischen Behandlung vor der Deponie der Rotteverlust zum überwiegenden Teil auf den Abbau an organischen Materialien zurückzuführen ist, wird beim Trockenstabilatverfahren eine Mengenreduktion durch Trocknung des Materials erzielt. Der Wassergehalt nach der Trocknung liegt unterhalb 15%, ein Abbau der oTS_{bio} (biologisch abbaubare OTS) erfolgt lediglich zu 5%. Wertstoffe, wie Eisen und

Nichteisenmetalle, werden in der Aufbereitung bzw. Konfektionierung abgetrennt. Der Heizwert der getrockneten Abfälle liegt oberhalb 11,0 MJ/kg FS. Das klassische Trockenstabilisierungsverfahren wurde mittlerweile weiterentwickelt und um den Baustein Inertstofffraktionsausschleusung erweitert. Nach der biologischen Behandlung wird die Feinfraktion durch Siebschnitte abgetrennt und in einer Nasswäsche für die Verwertung konfektioniert. Rotteverlust und Ausschleusung der Inertstofffraktion und der Ne/Fe-Metalle führen zu einem Masseverlust von ca. 50%.

4 Emissionen

Als wesentlich sind Abluft- und Sickerwasseremissionen zu nennen. Im vorliegenden Beitrag werden lediglich die Abluftemissionen – hier insbesondere die Schadstoffemission der Restabfallbehandlungsverfahren – betrachtet. Abwasseremissionen können durch gezielte Prozesssteuerung weitgehend unterbunden werden. Luftseitige Schadstoffemissionen in relevanten Mengen treten nur bei der Restabfallbehandlung auf. Dieser Themenblock wird ausführlicher abgehandelt, da die in Kürze zu erwartenden Anforderungen an die Begrenzung der Abluftemissionen maßgeblich die zukünftige Entwicklung der mechanisch-biologischen Verfahren bestimmen werden.

4.1 Abluftemissionen von MBA

Bei Untersuchungen in Intensivrotte-Systemen wurden im Durchschnitt wöchentliche spezifische Abluftmengen von 1.000 bis 2.000 m³/Mg zu behandelnden Restmülls ermittelt (Müller und Wallmann 1996; Fricke et al. 1997). Bei Ausschöpfung der bestehenden Optimierungspotentiale ist für eine vierwöchige Intensivrotte eine Reduzierung der Abluft auf ca. 4.500 m³ bzw. für eine 10-wöchige Intensivrotte auf ca. 8.000 m³/Mg MBA-Input möglich. Aus den bisherigen Schadgasemissions-Untersuchungen kristallisieren sich die folgenden Verbindungen als Leitkomponenten heraus (Doedens et al. 1999): Methan und Ammoniak, Ethanol und

weitere Alkohole, Hexan bis Tridekan (n-Alkane), BTEX (aromatische Kohlenwasserstoffe), Trichlorethen, Tetrachlorethen (leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe), Trichlorfluormethan (R11, FCKW), α -Pinen, β -Pinen, Limonen (Terpene), Acetaldehyd (Aldehyd), Aceton, 2-Butanon (Ketone).

Die Gehalte toxikologisch besonders relevanter Parameter, wie z.B. Dioxine, Schwermetalle, NO_x und Staub liegen schon im Rohgas von der MBA-Abluft deutlichst unterhalb der Reinsluft von Verbrennungsanlagen. Die Größenordnung der ermittelten TOC-Fracht im Rohgas liegen im Bereich von ca. 350 bis 610 g C/Mg Abfall (Doedens et al. 1999; Fricke und Müller 1999; Wallmann 1999).

Im UBA-Papier (UBA 1999) wird gefordert, dass die Grenzwerte der 17. BImSchV auch bei MBA-Anlagen eingehalten werden müssen. Als TOC-Wert wird vom UBA eine Frachtbegrenzung von 55 g C/Mg behandelten Abfalls – rechnerisch abgeleitet aus den Vorgaben der 17. BImSchV – empfohlen (5.500 m³ x 10 mg TOC = 55 g C/Mg Abfall). Aus den vorliegenden Emissionsmessungen in MBA-Anlagen wird deutlich, dass der sich hieraus ergebende TOC-Konzentrationsgrenzwert in der Abluft von 4 bis 12 mg C/m³ (errechnet aus den Abluftmengen einer MBA 4.500 bis 11.000 m³/Mg Abfall) mit Biowäscher/Biofilter auch unter Ausschöpfung sämtlichen Optimierungspotentials nicht eingehalten werden kann.

Aufgrund der unterschiedlichen Prozessbedingungen ist jedoch eine direkte Übertragung der Grenzwerte der für Verbrennungsprozesse entwickelten 17. BImSchV auf MBA-Anlagen nicht sachgerecht. Es müssen vielmehr verfahrensspezifische Parameter und Grenzwerte gefunden werden. Hilfestellung bei der Grenzwertfindung können sogenannte ökologische Systemvergleiche bieten. Im Rahmen des BMBF-Teilvorhabens wurden vergleichende ökobilanzielle Untersuchungen durchgeführt (Wallmann 1999; IBA/BZL/CUTEC 1998; Koller et al. 1999). Über diesen "Umweg" der toxikologischen Wirksamkeit können MBA-Abluftemissionen in Relation zu den Vorgaben der 17. BImSchV bewertet werden (Abb. 1).

Abb. 1: Human- und Ökotoxizität von MBA- und MVA-Abluftemissionen sowie stoffspezifischer Kombinationen in Relation zur Mindest-MVA mit vollständiger Ausschöpfung der Grenzwerte der 17. BImSchV (2% Chrom-6-Anteil am Chrom)

¹⁾ 30% Leichtstoffbehandlung in MVA (S = Standard-MVA; O = Optimal-MVA)

Mindest-MVA: vollständige Ausschöpfung Grenzwerte 17. BImSchV, 13% elektr. Wirkungsgrad

Standard-MVA: Ausschöpfung 17. BImSchV von 25%, 10% elektr. und 25% thermischer Wirkungsgrad
Durchschnitt deutscher MVA

Optimal-MVA: Ausschöpfung 17. BImSchV von 5%, 10% elektr. und 50% thermischer Wirkungsgrad - nur unter optimalen Standortbedingungen erreichbar

Eine undifferenzierte Begrenzung der Gesamt-TOC-Fracht auf 55 g C/Mg Abfall, wie sie der UBA-Bericht (UBA 1999) enthält, wird wegen der differenzierten Kenntnis der stofflichen Zusammensetzung des C-Inventars im MBA-Reingas für nicht gerechtfertigt erachtet. Das toxikologische Potential der MBA-Abluft liegt nach den ermittelten Ergebnissen bei 0,3 bis 1,5% der Abluft einer Müllverbrennungsanlage (MVA) mit vollständiger Ausschöpfung der 17. BImSchV, d.h. das Schutzniveau der 17. BImSchV wird bei der MBA deutlich unterschritten, auch wenn der TOC-Grenzwert deutlich überschritten wird (vgl. Abb. 1). Die Forderung nach Einhaltung der Parameter und Grenzwerte der 17. BImSchV sind demnach sachlich nicht haltbar. Diese Ausführungen zeigen, dass der diskutierte TOC-Grenzwert in keiner Relation zur toxikologischen und ökologischen Relevanz der MBA-Abluft steht. Für MBA sind daher angepasste Parameter und Grenzwerte anzusetzen, die sich am Schutzniveau der 17. BImSchV orientieren.

Vor dem Hintergrund, dass es sich beim TOC im wesentlichen um toxikologisch nicht relevante Verbindungen handelt, wird der Vorschlag von Doedens et al. (1999), einen Grenzwert für Gesamt-C (analog der Wirkungsklasse 2 der TA Luft ohne CH₄) von $\leq 80 \text{ mg C/m}^3$ Abluft in Verbindung mit einer Frachtbegrenzung für NMVOC von 300 g C/Mg Restabfall im Reingas als ausreichend angesehen (Tab. 7).

Die Einhaltung der Gesamt-TOC-Fracht von 55 g C/Mg, wie vom UBA (UBA 1999) gefordert, kann nach jetzigem Kenntnisstand – wenn überhaupt – nur von thermischen Filterverfahren gewährleistet werden. Diese Verfahren arbeiten aber erst ab TOC-Konzentrationen von 4 bis 6 g C/m³ in wirtschaftlich vertretbaren Größenordnungen, das heißt ohne Zugabe größerer Brennstoffmengen. Bei TOC-Konzentrationen von ca. 80 bis 100 mg C/m³, wie sie im Mittel bei MBA-Anlagen auftreten, muss mit einem um den Faktor 10 höheren Betriebskostenaufwand bei der Abluftreinigung gerechnet werden. Die entsprechenden Investitionskosten liegen um den Faktor 3 bis 4 höher.

Tab. 7: Anforderungen zur Begrenzung der Abluftemissionen einer MBA-Anlage (Auszug aus den Empfehlungen des BMBF-Verbundvorhabens und des UBA-Berichtes)

BMBF-Verbundvorhaben, 1999	UBA, 1999
NMVOC (TOC ohne Methan): ≤ 80 mg ges. C_{FID}/m^3 Abluft im Tagesmittel	Begrenzung der Gesamt TOC-Fracht pro Mg behandelten Abfall auf ≤ 55 g C
NMVOC-Fracht: ≤ 300 g C_{FID}/Mg Abfall-Input	

5 Kosten

Die vorliegenden Kostenabschätzungen für MBA-Anlagen wurden auf Grundlage von Ausschreibungsergebnissen nach VOB-Ausschreibungen der öffentlichen Hand durchgeführt (Hake 1999). Hierbei ist zu beachten, dass jede Ausschreibung individuelle Vorgaben beinhaltet, die einen exakten Vergleich nicht erlauben, jedoch allgemeine Tendenzen in der Höhe der Kosten aufzeigen.

Im Mittel liegen die spezifischen Investitionsaufwendungen bei 35.000 Mg Jahresdurchsatz bei ca. 700 DM/Mg Input (550 bis 850 DM). Bei ca. 70.000 Mg/a reduziert sich der Wert auf 525 DM/Mg Input (400 bis 650 DM). Bei ca. 100.000 Mg/a ergibt sich ein Mittelwert von ca. 450 DM/Mg Input (350 bis 550 DM). In den Kosten nicht enthalten sind Grundstückskosten, Ver- und Entsorgungsanschlüsse (Strom, Wasser, Abwasser) bis zur Grundstücksgrenze, Straßenanbindung, Eingriffs- und Ausgleichsmaßnahmen und Sondergründungsmaßnahmen.

Von den Investitionsaufwendungen insgesamt, sind dem Bauteil, je nach Verfahren, zwischen ca. 40 und 70% zuzurechnen. Vergleicht man die erforderlichen Investitionskosten für aerobe biologische Behandlungsverfahren mit anaeroben/aeroben Kombinationslösungen, so ist festzuhalten, dass die Kombinationslösungen in der Regel höhere Investitionen erfordern. Diese höheren Investitionskosten können jedoch in Abhängigkeit von den Standortbedingungen (z.B. Nutzung von Synergieeffekten hinsichtlich der Gasspeicherung/-verwertung und Abwasserbehandlung am Deponiestandort) und der zukünftigen Entwicklung der Energiekosten zu ähnlichen Betriebskosten führen, wie sie für Aerobanlagen gelten.

Unter den Betriebskosten werden sämtliche jährlichen Aufwendungen zusammengefasst, die für den Betrieb der Anlage erforder-

lich sind, einschließlich Abschreibung und Kapitalverzinsung. Nach Abschätzungen von Hake (1999) liegen die spezifischen Betriebskosten je Mg Input für 30.000, 70.000 bzw. 100.000 Mg/a Anlagendurchsatz im Mittel bei ca. 125 DM/Mg, 100 bzw. 90 DM/Mg Input. Der Fixkostenanteil der Betriebskosten liegt in einer Größenordnung zwischen 40 und 60%.

Die Behandlungskosten in einer MBA stellen selbstverständlich nur einen Teil der Gesamtkosten für zukünftige Abfallentsorgungs-/Verwertungskonzeptionen dar. Es ist beispielsweise zu überprüfen, ob die Sammelkosten für den Restabfall unverändert bleiben. Bei der Ermittlung von Gesamtkosten müssen zusätzlich insbesondere Deponiekosten, Kosten für die Verwertung der heizwertreichen Fraktion aber auch Erlöse für in der MBA anfallende Teilströme (z.B. Fe-Schrott) in die Gesamtkalkulation einbezogen werden.

Detailbetrachtungen haben gezeigt, dass die zukünftigen Deponiekosten und die Kosten für die Verwertung der heizwertreichen Fraktion nahezu gleich hohe Anteile an den Gesamtkosten aufweisen können. Diese Aussage gilt für Deponien mit hohem technischem Standard (hoher Anteil an Fixkosten) und den derzeit diskutierten spezifischen Kosten für die Verwertung der heizwertreichen Fraktion von ca. 100 bis 150 DM/Mg. Insgesamt betrachtet liegen die Gesamtkosten in einer Größenordnung von 150 bis 200 DM/Mg Abfall.

Die Einhaltung der strengeren UBA-Anforderungen, insbesondere des TOC_{Eluat} -Wertes von 200 mg C/l, sowie die notwendigen höheren Aufwendungen bei der Abluftreinigung würden zu einer Steigerung der Betriebskosten um 25 bis 50 DM/Mg Abfall führen. Der Kostenvorteil von MBA-Verfahren gegenüber thermischen Verfahren, als maßgebliches Entscheidungskriterium, würde somit weitestgehend entfallen. Indirekt führen die UBA-Anforderungen damit – gewollt oder ungewollt

– vermutlich zum Ausschluss von MBA-Verfahren als Alternative zu thermischen Verfahren.

6 Perspektiven

Die Verwertung qualitativ hochwertiger organischer Abfälle hat in Deutschland mit ca. 6,7 Mio. Mg jährlich verarbeiteter Abfallmenge mittlerweile einen hohen Status erreicht. Die beabsichtigte Ausweitung der Bioabfallsammlung (bis 2003) von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern, die zur Zeit noch nicht über das System Biotonne verfügen, würde eine Mengensteigerung von ca. 300.000 bis 400.000 Mg/a bewirken.

Die im Vergleich zu anderen Getrennsammlungssystemen (z.B. Papier und Glas) geringen Erfassungsquoten bei der Bioabfallsammlung von weniger als 60%, auch dokumentiert durch die verbleibenden großen Mengen an organischen Küchen- und Gartenabfällen im Restabfall, zeigen das Entwicklungs- bzw. Optimierungspotential im System Bioabfallsammlung und -verwertung auf. Durch Ausweitung des Anschlussgrades, insbesondere aber durch Erhöhung der Erfassungsquoten mit Hilfe organisatorischer Maßnahmen und durch qualitativ hochwertige, zielgerichtete Öffentlichkeitsarbeit, könnte die erfasste Bioabfallmenge um weitere 600.000 bis 700.000 Mg/a gesteigert werden. Dies würde eine Erhöhung der Erfassungsquoten auf ca. 70% bedeuten. Zahlreiche öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger haben Erfassungsquoten in dieser Höhe bereits erzielt.

Inwieweit jedoch die hierzu notwendigen Anstrengungen unternommen werden, wird maßgeblich davon abhängen, wie sich zukünftig die Kosten für die Abfallverwertung im Vergleich zur Abfallbehandlung und -entsorgung entwickeln. Bei weiterer Annäherung beider Kostengruppen wird es schwierig werden, die Getrennsammlung von Bioabfällen weiter zu forcieren. In Einzelfällen haben Rechnungshöfe (z.B. Hamburg und Berlin) die Einführung der Getrennsammlung von Bioabfällen vor dem Hintergrund des damit verbundenen vergleichsweise hohen Kostenaufwandes kritisch beurteilt.

Im Anlagenbau wird der Neubau zukünftig in den Hintergrund treten. Der Schwerpunkt

wird im Bereich Ausbau, Ersatzbeschaffungen und Optimierungsmaßnahmen liegen. Vergärungstechnologien werden hierbei zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Welchen Stellenwert mechanisch-biologische Restabfallbehandlungsverfahren in der deutschen Abfallwirtschaft einnehmen werden, wird vornehmlich davon abhängen, ob und wie die TA Siedlungsabfall modifiziert und mit welcher Ernsthaftigkeit die Umsetzung betrieben wird. Gleiches gilt für die ergänzend hierzu im Referentenentwurf vorliegende 29. BImSchV für MBA-Anlagen.

Falls die TASI für MBA-Verfahren mit Integration der Deponie über das Jahr 2005 hinaus geöffnet wird, werden nach jetziger Einschätzung des Marktes unter Berücksichtigung des vorhandenen Deponiestandards und -verfüllvolumens ca. 25 bis 40 Entscheidungsträger den Weiterbetrieb der Deponie über das Jahr 2005 hinaus für mechanisch-biologisch behandelte Abfälle prüfen. Als Voraussetzung gilt jedoch, dass die zukünftigen Anforderungen an die MBA-Technologie technisch machbar bzw. finanzierbar sind. Werden die Anforderungen des UBA jedoch aufrecht erhalten, kann dieser Technologie zukünftig, zumindest in Deutschland, allenfalls der "Probier-Anlagen-Status" zugesprochen werden.

Auch die Entwicklung der energetischen Verwertung wird als Konkurrenztechnologie Einfluss auf die zukünftige Bedeutung der MBA-Technologien nehmen. Die Entwicklungsmöglichkeiten, die sich in diesem Bereich eröffnen können, sowohl für MBA-Verfahren als auch für Vorbehandlungstechnologien, sind derart vielschichtig, dass seriöse Prognosen zu diesem Themenkomplex zur Zeit nicht möglich sind.

Literatur

Bidlingmaier, W., und Streff, L., 1993: Verhalten von biologisch vorbehandeltem Restmüll bei der Ablagerung. In: Fricke, Thomé-Kozmiensky, Neumüller (Hrsg.), Integrierte Abfallwirtschaft im ländlichen Raum, EF-Verlag, Berlin, 249-258
Bundesgütegemeinschaft Kompost (Hrsg.), 1995: Humuswirtschaft & Komposte, H. 1, S. 24
Doedens, H., Cuhls, C., Collins, H.-J., Fricke, K., 1999: Immissionsschutzrechtliche Anforderungen an die mechanisch-biologische Vorbehandlung (MBV) aufgrund der Emissionen von Stäuben, anorgani-

schen und organischen Stoffen. In: Müll und Abfall, Heft 10, S. 588-595

Fricke, K., Müller, W., 1999: Stabilisierung von Restmüll durch mechanisch-biologische Behandlung und Auswirkungen auf die Deponie; Teilvorhaben 2/1 des BMBF-Verbundvorhabens "Mechanisch-biologische Vorbehandlung von zu deponierenden Abfällen", Förderkennzeichen 1480945, Endbericht

Fricke, K., Wallmann, R., Doedens, H., Cuhls, C., 1997: Abluftemissionen bei der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung, Abfallwirtschaftsjournal 5, 25-34

Hake, J., 1999: Betriebswirtschaftliche Auswirkungen der Abfallvorbehandlung, in Deponierung von vorbehandelten Siedlungsabfällen, 14. ZAF-Seminar der TU-Braunschweig

IBA/BZL/CUTEC, 1998: Möglichkeiten der Kombination von mechanisch-biologischer und thermischer Behandlung von Restabfällen. Studie im Auftrag des BMBF, Förderkennzeichen 147 1114

Kern, M., 1999: Input und Output. Müllmagazin 1/1999, Rhombos-Verlag, Berlin, 24-27

Koller, M., Thrän, D., Hermann, T., Plickert, S., Soyez, K., 1999: Ökologische Bewertung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung. Beitrag zum Statusseminar des BMBF-Verbundvorhabens "Mechanisch-biologische Vorbehandlung von zu deponierenden Abfällen", 07. - 08.09.1999, Potsdam

Maile, A., Halfmann, A., Kraft, E., Scheelhaase, T., Bidlingmaier, W., 1999: Abschlußbericht Verbundvorhaben: Mechanisch-biologische Behandlung vor der Deponie – Bodenmechanische Kennwerte – Entwurf

Müller, W., Wallmann, R., 1996: Vorversuche zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung. In: Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung unter Einbindung thermischer Verfahren für Teilfraktionen; Schriftenreihe WAR 90, Darmstadt; 157-184

Müller, W., Fricke, K., Bidlingmaier, W., Rettenberger, G., Stegmann, R., 1998: Gleichwertigkeitsnachweis nach Ziffer 2.4 TASI für die Ablagerung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen auf der Deponie "Lübben-Ratsvorwerk". In: Friedrich, R., Fricke, K. (Hrsg.): Gleichwertigkeitsnachweis nach Ziffer 2.4 TASI für die Ablagerung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. Erich Schmidt Verlag, Berlin, Bielefeld, München

UBA, 1999: Bericht zur "Ökologischen Vertretbarkeit" der mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Restabfällen einschließlich deren Ablagerung (Juli 1999). Umweltbundesamt, Berlin, 63 S.

Wallmann, R., 1999: Ökologische Bewertung der Mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung und der Müllverbrennung auf Basis von Energie- und Schadgasbilanzen. Schriftenreihe des ANS 38

Kontakt

Prof. Dr. Klaus Fricke
TU-Braunschweig, Leichtweiß-Institut für
Wasserbau, Abt. Abfallwirtschaft
Beethovenstraße 51a, D-38106 Braunschweig
Tel: + 49 (0) 531-391-3970

Dipl.-Ing. Thomas Turk
IGW, Ingenieurgemeinschaft Witzenhausen,
Fricke & Turk GmbH
Bischhäuser Aue 12, D-37213 Witzenhausen
Tel: + 49 (0) 5542-93083

«

Logistik: Erfassung und Transport von Abfällen

von H. J. Dornbusch, B. Gallenkemper und
Martin Beck, Institut für Abfall- und Abwas-
serwirtschaft (INFA), Ahlen

Die derzeitige Situation in der Abfallwirtschaft ist gekennzeichnet durch stetig steigende Anforderungen in Hinblick auf die fortschreitende Getrennterfassung von Abfällen zur Verwertung (Entsorgungslogistik). Parallel hierzu nimmt die Diskussion über die Wirtschaftlichkeit öffentlicher Dienstleistungen zu, indem ein sparsamerer Umgang mit Haushaltsmitteln gefordert wird.

Der vorliegende Beitrag versucht, die Ansätze zur Optimierung der Abfallwirtschaft, die in jüngster Zeit konkrete Formen annehmen, näher zu beleuchten. Es werden Überlegungen geäußert zur Verursachergerechtigkeit von Abfallgebühren, die den Verursacher veranlassen, Abfall zu vermeiden oder zumindest der Verwertung zuzuführen. Ferner werden erkennbare Maßnahmen in der Entsorgungslogistik vorgestellt, die sich u.a. mit flexibleren Arbeitszeitmodellen, neuen Fahrzeugentwicklungen und der Streckung von Abfuhrintervallen beschäftigen.

1 Gebührensysteme / Gebührengerechtigkeit

1.1 Gebührenmodelle

Das Leistungsspektrum der kommunalen Abfallwirtschaft ist aufgrund gestiegener Umwelt-