5.2 Stoffliche Verwertung

Eine stoffliche Verwertung liegt dann vor, wenn eine Nutzung der stofflichen Eigenschaften der Abfälle angestrebt wird. Sie umfaßt die

- die werkstoffliche Verwertung,
- die rohstoffliche Verwertung,
- die biologische Verwertung (Kompostierung, Vergärung) und
- die Verfüllung von Hohlräumen in Bergwerken (bergbaulicher Versatz).

Eine Rangfolge innerhalb der stofflichen Verwertung ist nicht festgelegt. Sie läßt sich allenfalls aus der Forderung nach einer möglichst hochwertigen Verwertung ableiten, die in bestimmten Fällen auch eine Festlegung einer Verwertungsart über entsprechende Rechtsverordnungen (z.B. Verpackungsverordnung [16]) möglich macht [17].

- **Werkstoffliche Verwertung**

Die werkstoffliche Verwertung verändert die verwendeten Stoffe chemisch nicht. In den Bereichen Papier/Pappe, Glas und Metalle wird schon seit langem eine werkstoffliche Verwertung erfolgreich durchgeführt. Entsprechende Entsorgungsmärkte sind vorhanden und Altpapier, Altpappe und Altglas haben sich zu wichtigen Rohstoffen für die Industrie entwickelt. Für Weißblech und Aluminium wurden bestehende Verwertungskapazitäten erweitert, allerdings werden nicht immer kostendeckende Erlöse bei der Verwertung erzielt. Die rückgeführten Stoffe können in den etablierten Produktionsprozessen eingesetzt werden.

Ein Problem stellt die werkstoffliche Verwertung von Kunststoffen dar, sie hängt von der erreichbaren Sortenreinheit bei Sammlung und Sortierung ab.
Die bei Produktion und Verarbeitung anfallenden Kunststoffabfälle (1995 ca. 51 % der eingesammelten Kunststoffe), können weitgehend sortenrein erfaßt und in den Produktionsprozeß zurückgeführt werden. Eine Studie des Umweltbundesamtes zum Aufkommen und zur Verwertung von Kunststoffabfällen ermittelte in den untersuchten Industriebranchen sogar noch höhere Verwertungsquoten (Kunststofferzeugung 61 %, und -verarbeitung 79 %) [18]. Gleichzeitig offenbarte sie aber auch ungenutzte (werkstoffliche) Verwertungspotentiale insbesondere im gewerblichen Bereich von über 400.000 t gegenüber ca. 250.000 t beim privaten Endverbraucher (s. Tabelle 5.2–1).

Tabelle 5.2–1: Aufkommen, Verwertungsmenge und ungenutztes Verwertungspotential bei Kunststoffabfällen im Jahr 1994 nach [18]

Bereich [1)]	Abfallaufkommen	Verwertungsmenge	Verwertungsquote	Ungenutztes Verwertungspotential
Kunststofferzeugung in t	54.500	33.428	61 %	0
Kunststoffverarbeitung in t	281.030	222.110	79 %	41.400
Gewerblicher Endverbrauch in t	818.459	177.970	22 %	384.300
Privater Endverbrauch in t	572.397	164.715 [2)]	29 %	244.600

1) ohne innerbetriebliche Verwertung und ohne Kunststoffverpackungsabfälle aus Privathaushalten
2) fast ausschließlich Nichtverpackungskunststoffe, die durch Fehlwürfe in die DSD-Sammlung gelangen und mit den Verpackungskunststoffen zusammen werkstofflich oder rohstofflich verwertet werden

Die vom DSD erfaßten Kunststoffabfälle (Kunststoffverpackungen) aus Haushalten (1995 ca. 37 % der insgesamt eingesammelten Kunststoffabfälle), stellen ein Werkstoffgemisch dar, aus dem die werkstofflich verwertbaren Anteile abgetrennt werden müssen. Die erheblichen Aufwendungen für Trennung, Sortierung und Aufbereitung, die hohe Kosten verursachen, verhindern bislang eine Kostendeckung. Im Jahr 1996 wurden ca. 52 % der vom DSD eingesammelten Verpackungskunststoffe werkstofflich verwertet [19].

Wenn sortenreine Fraktionen in hoher Qualität vorliegen, dann lassen sich mit dem Primärprodukt vergleichbare Recyclingprodukte herzustellen und dann kann die werkstoffliche Verwertung auch einen ökologischen Vorteil gegenüber den anderen Verwertungsarten aufweisen [20]. Werkstoffliche Verfahren schneiden dann besonders günstig ab, wenn Neukunststoff nahezu vollständig durch Recyclingware substituiert werden kann [21]. Werden andere Werkstoffe bei der Herstellung von Recyclingprodukten ersetzt (z.B. Holz, Beton bei der Herstellung von Palisaden) schneiden Recyclingprodukte prinzipiell dann günstiger ab, wenn sich die Lebensdauer des Produktes dadurch erhöht.

Die aufwendige und teure Erfassung und Sortierung für die Gesamtheit der Verkaufsverpackungen wird von der Verpackungsverordnung mit den vorgeschriebenen Quoten für das werkstoffliche Recycling erzwungen. Würde man die werkstofflich besser verwertbaren großen Hohlkörper und Folien aus Kunststoff getrennt erfassen und die restlichen Kunststoffabfälle im Restabfall belassen und mit diesem verbrennen – wie auch von einigen Länderumweltministern [22] und vom Sachverständigenrat für Umweltfragen [15] gefordert –, wäre ein hochwertiges werkstoffliches Recycling mit einem vertretbaren Kosten-Nutzen-Verhältnis möglich. Der Sachverständigenrat weist in seinem Umweltgutachten 2000 außerdem darauf hin, daß durch die im Stoffkreislauf gehaltenen wiederverwertbaren Stoffe und den daraus entstehenden Produkten mögliche Langzeit-

wirkungen für Umwelt und Gesundheit resultieren könnten und empfiehlt, entsprechende Vorsorgemaßnahmen zu treffen.

- **Rohstoffliche Verwertung**

Bei der rohstofflichen Verwertung werden die zu verwertenden Stoffe einer chemischen Veränderung unterzogen (z.B. Altkunststoffe zu Syntheseöl umgewandelt). Sie gewann erst in Verbindung mit der Umsetzung der Bestimmungen des KrW-/AbfG und besonders der Anforderungen der Verpackungsverordnung an Bedeutung. Für die rohstoffliche Verwertung von Kunststoffen wurden völlig neue Verfahren entwickelt, um z.B. aus Kunststoffen wieder die Ausgangsstoffe (z.B. Öl, Gas) zurückzugewinnen, oder um neue Verwertungswege zu erschließen. Ein Teil der über das DSD erfaßten Kunststoffe (insbesondere Mischkunststoffe) werden auf diesem Wege in den Wertstoffkreislauf zurückgeführt, wobei der hohe industrielle Aufwand im Vergleich zu den Primärrohstoffpreisen zu deutlich höheren Recyclatpreisen führt.

Zur rohstofflichen Verwertung von Kunststoffen werden heute im wesentlichen drei Verfahren angewandt bzw. erprobt, bei denen die Gewinnung von Primärstoffen oder der Ersatz von Erdölprodukten im Vordergrund stehen [23]: der Einsatz als *Reduktionsmittel im Hochofen*, die *Festbettvergasung* zu Synthesegas bzw. Methanol und die *Herstellung von Paraffin* aus Kunststoff (s. Anhang B).[2]

Insgesamt weist das rohstoffliche Recycling von Kunststoffabfällen keinen wesentlichen ökologischen Vorteil gegenüber der energetischen Verwertung auf, sondern ist mit dieser weitgehend gleichwertig, wenn die beim Verbrennen freigesetzte Energie mit hohem Wirkungsgrad umgewandelt, die Wärme auch konsequent genutzt und dabei vorwiegend Kohle als Primärenergieträger ersetzt werden kann, wie dies z.B. bei (Müll-)Heizkraftwerken oder Zementwerken der Fall sein kann. [20][26].
Dies wird im Grunde auch durch die Studie der Arbeitsgemeinschaft Verpackung und Umwelt (AGVU) bestätigt [27], die aber zugleich einschränkt, daß bislang der Gesamtnutzungsgrad aller deutschen MVA nur bei 39 % liegt und nur wenige Anlagen (z.B. Hamburg Borsigstraße) die hohen Anforderungen erfüllen können.
Darüber hinaus ist die rohstoffliche Verwertung ohnehin in der Regel immer mit einer teilweisen energetischen Nutzung verbunden (z.B. Hochofen).
Die energetische Nutzung von Kunststoffabfällen außerhalb des DSD ist jedoch wesentlich kostengünstiger – auch dann, wenn die Abfälle erst zu einem geeigneten standardisierten Ersatzbrennstoff aufbereitet werden müssen [20][27]. Hinzu kommt, daß

[2] Die Duales System Deutschland AG hat den Vertrag mit der Kohleöl-Anlage in Bottrop aus Wirtschaftlichkeitsgründen zum 31. Dezember 1999 vorzeitig gekündigt [25].

Kunststoffe aus Erdöl gewonnen werden und nur einen sehr kleinen Teil des Erdölverbrauchs[3] darstellen. Erdöl und Erdölprodukte werden überwiegend energetisch genutzt[4] – d.h. verbrannt –, so daß die rohstoffliche Verwertung von Kunststoffen keinen nennenswerten Beitrag zur Ressourcenschonung liefert und ökologisch wenig sinnvoll ist.

- **Biologische Verwertung**

Bei der biologischen Verwertung wird durch den Ab- und Umbau organischer Substanz (z.B. getrennt gesammelter Bioabfall und Grünabfall) durch Mikroorganismen ein Kompost (und evtl. Biogas) erzeugt, der bei Einhaltung der Schadstoffgrenzwerte der Bioabfallverordnung (BioAbfV) [29] wieder direkt in den organischen Stoffkreislauf eingebracht werden kann. Erfahrungen mit der Kompostierung sind in vielfältiger Weise vorhanden und ein Markt zum Absatz des Kompostes ist im Prinzip vorhanden. Die Kosten hängen stark vom benötigtem Aufwand ab – Grünabfall ist verfahrenstechnisch einfacher als Bioabfall zu kompostieren – und gehen signifikant in die Gebührenkalkulation ein.
Um die Verwertbarkeit des Kompostes zu garantieren, muß aber darauf geachtet werden, daß nur geringe Schadstoffmengen in die Kompostierungsanlage eingetragen werden. Es kann daher erforderlich sein, bestimmte belastete Gebiete von der Bio- und Grünabfallsammlung auszuschließen, um die Schadstoffmengen gering zu halten.

Prinzipiell sind aerobe (Kompostierung) und anaerobe (Vergärung) Verfahren zu unterscheiden (Anhang B), die unterschiedliche Voraussetzungen für einen weitgehenden Organikabbau erfüllen müssen und die beide im jeweils verfügbaren Zeitrahmen des Verfahrensablauf nur solche Stoffe umsetzen können, die von Mikroorganismen leicht bis mittelschwer abgebaut werden; so sind z.B. Kohlenwasserstoffe, Lignin oder Keratine im zur Verfügung stehenden Zeitraum von biologischen Verfahren nur schwer bis praktisch nicht abbaubar [30].

Für die Kompostierung wird die offene oder geschlossene Mietenkompostierung mit Umsetzung (Quasidynamische Verfahren) am häufigsten eingesetzt, wobei allerdings offene Kompostierungsanlagen aufgrund von Geruchs- und anderen Emissionen nur noch bedingt genehmigungsfähig sind [31]. Der gewonnene Kompost kann vermarktet und in der Landwirtschaft oder im Gartenbau eingesetzt werden.

---

[3] Für Verpackungskunststoffe werden ca. 1,5 % des Jahresbedarfs in Deutschland eingesetzt [26]

[4] 1995 wurden ca. 85 % des Mineralölverbrauchs in Deutschland energetisch genutzt [28]

1998 wurden in Deutschland 539 Kompostierungsanlagen (Kapazität > 1000 t/a) mit einer Gesamtkapazität von über 6,5 Mio. t/a und 44 Vergärungsanlagen mit einer Gesamtkapazität von ca. 1 Mio. t/a betrieben [32]. Die Mehrzahl der Kompostierungsanlagen hat dabei eine Behandlungskapazität von weniger als 7.500 t/a (61 %) und wird in der Regel als offene Mietenkompostierung betrieben. Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, daß die Kompostierung in kleinen Anlagen beherrscht wird, während insbesondere bei der Bioabfallkompostierung in größeren Anlagen noch Probleme auftreten können.

Bei der Vergärung erfolgt die Umsetzung organischer Substanzen unter Sauerstoffabschluß zu Kohlendioxid und Methan (und geringen Mengen anderer Gase), wobei die Gaserzeugung eine indirekte Nutzung des Energieinhaltes der organischen Abfälle bedeutet. Auf die Vergärung wirken z.B. Antibiotika, Desinfektionsmittel, Schwermetalle und Salze hemmend bzw. toxisch, d.h. die zu behandelnden Abfälle dürfen nur wenige dieser Hemmstoffe enthalten [30]. Da bei der Vergärung keine Wärme freigesetzt wird, muß die Reaktionstemperatur durch geeignete Heizungsverfahren von außen vorgegeben werden. Dafür kann das erzeugte Gas genutzt werden, so daß sich Vergärungsanlagen nicht nur energieautark betreiben lassen, sondern auch einen Überschuß in Form von Wärme, Strom oder Gas abgeben können. Die Gärreststoffe können entweder direkt als Dünger ausgebracht werden oder in einer belüfteten Nachrotte zu Kompost verarbeitet werden. Durch die geringeren Geruchs- und Schadgasemissionen der Vergärungsverfahren können im Gegensatz zu Kompostierungsanlagen auch Standorte mit angrenzender Bebauung genutzt werden.

In vielen Fällen lassen sich aerobe und anaerobe Verfahren kombinieren [33]. Da sowohl aerobe wie auch anaerobe Prozesse je nach Substrat Vorteile aufweisen, kann in einer Kombinationsanlage der eine oder der andere Abbauweg oder eine Kombination von beiden gewählt werden [34].

Bei der biologischen Verwertung wird die Produktion eines marktfähigen, hochwertigen Kompostes angestrebt. Wichtige, durch den biologischen Schritt zu erreichende Qualitätsmerkmale sind dabei die seuchenhygienische Unbedenklichkeit und der Rottegrad des Kompostes [35]. Den Schutz des Bodens vor Schadstoffeinträgen und -anreicherung soll die am 1. Oktober 1998 in Kraft getretene Bioabfallverordnung [29] gewährleisten, die nur bestimmte Materialien mit sehr niedrigen Schadstoffgehalten sowie hygienischer Unbedenklichkeit für die Verwertung zuläßt. Ende 1998 waren zwei Drittel aller Komposthersteller Inhaber des RAL-Gütezeichens der Bundesgütegemeinschaft Kompost [36].
Hauptabnehmer des Kompostes ist die Landwirtschaft (39 %), gefolgt vom Garten und Landschaftsbau (17 %), wobei der Landwirtschaft in der Regel sehr günstige Abnahmekonditionen eingeräumt werden. Die Herstellungskosten für Kompost (einschl. Betriebs-

aber ohne Vermarktungskosten bzw. -erlöse) betragen durchschnittlich 182-197 DM pro Tonne [36].

- **Verfüllung von Hohlräumen im Bergbau**

Einen Sonderfall der stofflichen Verwertung stellt die Verfüllung von Hohlräumen im Bergbau mit Abfällen (u.a. Rückstände aus der thermischen Abfallbehandlung) dar. Da die Abfälle dabei praktisch den gleichen Bedingungen ausgesetzt sind wie in einer Untertagedeponie, entspricht diese Verwertung weitgehend einer Deponierung. Allerdings gelten für Untertagedeponien die strengen Maßstäbe der Abfallgesetzgebung (Deponierung nach TA Abfall), während die Verwertung von Abfällen in Bergwerken dem Bergrecht unterliegt und dafür keine einheitliche und verbindliche, länderübergreifende Regelung existiert. Kritisch ist vor allem das Einbringen von Abfällen in Bergwerke, die nach der Verfüllung geflutet werden, so daß langfristig ein Kontakt der eingebrachten Abfälle mit dem Grundwasser nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Seit Oktober 1996 liegen Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen als Versatz unter Tage vom Länderausschuß Bergbau [37] vor, die zu einer bundesweiten Vereinheitlichung der untertägigen Verwertungspraxis führen sollen.

5.3 Energetische Verwertung

Nach Anhang II B (Punkt R1) des KrW-/AbfG umfaßt die energetische Verwertung die Verwendung des Abfalls als Brennstoff (außer Direktverbrennung) oder als Mittel der Energieerzeugung. Damit ist die Nutzung von Kraftwerken oder sonstigen Industriefeuerungen als Verwertungsanlage möglich. Für eine energetische Verwertung sind nach § 6 Abs. 2 KrW-/AbfG folgende Anforderungen zu erfüllen:

1. Der Abfall muß ohne Vermischung mit anderen Stoffen einen Heizwert von mind. 11.000 kJ/kg haben.
2. Bei der Verbrennung muß ein Feuerungswirkungsgrad von mindestens 75 % erreicht werden.
3. Die entstehende Wärme muß selbst genutzt oder an Dritte abgegeben werden.
4. Die bei der Verwertung anfallenden weiteren Abfälle müssen möglichst ohne weitere Behandlung abgelagert werden können.

Einen Sonderfall stellen Abfälle aus nachwachsenden Rohstoffen (Biomasse) dar, die nach § 6 Abs. 2 KrW-/AbfG energetisch verwertet werden können, ohne die Heizwertgrenze von 11.000 kJ/kg zu erreichen.

Die generelle Problematik der Abgrenzung zwischen Abfällen zur Verwertung und Abfällen zur Beseitigung wurde in Kapitel 5.1 diskutiert. Bei der energetischen Verwertung tritt noch eine anlagenbezogene Besonderheit hinzu. Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung (Müllverbrennungsanlagen) sind – nach offizieller Lesart des KrW-/AbfG – auch dann nicht als Anlagen zur energetischen Verwertung von Abfall zugelassen, wenn sie Energie abgeben. Obwohl Abfälle sowohl bei der energetischen Verwertung als auch bei der thermischen Behandlung verbrannt werden, werden diese Verbrennungsprozesse vom Gesetzgeber nach ihrem Ziel – Energiegewinnung bzw. langfristige und mit geringen Umweltauswirkungen verbundene Beseitigung – unterschieden. Die thermische Abfallbehandlung zur Beseitigung soll zu Reststoffen führen, die mit geringen Umweltauswirkungen auf Deponien verbracht werden können und dort nur wenig oder überhaupt nicht mit anderen Stoffen reagieren, also weitgehend inert sind.

Gemessen an den Zielen des KrW-/AbfG ist diese Abgrenzung (nach § 4 Abs. 4) fragwürdig und sie wird mit dem Rückgang der Abfallmengen, die bei öffentlich-rechtlichen Abfallbehandlungsanlagen angeliefert werden, und der damit verbundenen verringerten Auslastung von Müllverbrennungsanlagen auch zunehmend in Frage gestellt bzw. aufgeweicht. So erhalten bayerische Müllverbrennungsanlagen die Zulassung als Verwertungsanlagen, während Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen dies offiziell verwehren, indirekt über Sondertarifregelungen der Anlagenbetreiber aber doch tolerieren. Außerdem haben Gerichte inzwischen ausgeführt, daß eine energetische Verwertung von Abfällen auch in Müllverbrennungsanlagen erfolgen kann, deren Hauptzweck in der Verbrennung von Abfällen zur Beseitigung besteht [10]. Der für den Verwertungscharakter erforderliche Ersatz von Primärenergie ist z.B. dann erfüllt, wenn die Anlage über eine Kraft-Wärme-Kopplung verfügt.

Der Einsatz von Abfällen zur Mitverbrennung oder energetischen Verwertung in Industriefeuerungen muß prinzipiell von der zuständigen Immissionsschutzbehörde genehmigt werden und die in Baden-Württemberg zur energetischen Verwertung in Industriefeuerungen bereits genehmigten bzw. in Genehmigung befindlichen oder geplanten Abfallarten und -mengen sind in Tabelle 5.3-1 zusammengestellt. Wie die Tabelle zeigt, handelt es sich bei den für eine energetische Verwertung in Frage kommenden Abfallarten, bis auf Klärschlämme, ausnahmslos um hochkalorische Produktions- und Gewerbeabfälle (z.T. auch Sonderabfälle), die den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern nicht angedient werden müssen und von den Abfallerzeugern als handelbares Gut selbst entsorgt werden können. Diese Abfallarten fallen in der Regel direkt an und werden ohne weitere Vorbehandlung einer energetischen Verwertung zugeführt.

Tabelle 5.3-1: Übersicht über die zur energetischen Verwertung genehmigten Mengen in Baden-Württemberg nach [38] (Stand 1997)

Regierungsbezirk	Industrie und Abfälle	genehmigte Einsatzmenge
Freiburg	**Ziegeleien**	
	Papierschlamm	15 Vol.-% der eingesetzten Tonmenge
	Altstyropor, Papierschlamm	15 Vol.-% der eingesetzten Tonmenge
	Eisen-/Stahlindustrie	
	Walzöl	1.688 t/a
	Altöl	max. 4.000 t/a (geplant)
	Sonstige Anlagen	
	Holzschnitzel (Q1-Q3) [1)]	max. 50 %ige Substitution des Gaseinsatzes
	Altöl	200 m³/a
	mineralölverunreinigte Böden	60 t/h
	Lösemittelgemische und Lösemittel/Wasser-Gemische	25 % der Feuerungswärmeleistung (max. 5 % Gehalt an halogenierten org. Verbindungen)
Karlsruhe	**Zementindustrie**	
	Altreifen	29.045 t/a
	Altöl	26.000 t/a
	Kunststoffabfälle	21.000 t/a
	Ziegeleien	
	chlorfreie Papierfangstoffe, Sägemehl	12 Vol.-% der eingesetzten Tonmenge
	Kraftwerke	
	Klärschlamm	noch in der Planung
	Altholz	noch in der Planung
	Sonstige Anlagen	
	Altholz	noch in der Planung
	flüssige organische Abfälle	1.400 t/a
	edelmetallhaltiges Gekrätz	ca. 600 t/a
	Ölfilter, Schrott und Metallabfälle mit Restanhaftungen	keine Begrenzung
Stuttgart	**Zementindustrie**	
	Altholz	8 t/h
	Kraftwerke	
	getrockneter Klärschlamm	40.000 t/a (beantragt)
Tübingen	**Zementindustrie**	
	Altreifen	25 % der Gesamtfeuerungswärmeleistung
	Altreifen, BPG [2)]	60 % der Gesamtfeuerungswärmeleistung
	Altreifen, Kohlengrobstäube, Wachse und Paraffine, Ölschlämme, Elektrodenkokse	25 % der Gesamtfeuerungswärmeleistung
	Gießereialtsande	8.670 kg/h
	Altsande	11.000 kg/h
	Ziegeleien	
	mineralölverunreinigte Böden, Altsande, Papierfangstoffe	keine pauschale Begrenzung, abhängig von den Eigenschaften der Abfälle
	Kraftwerke	
	Rinde, Schlämme aus der Zellstoff- und Kartonproduktion	max. 50.000 t/a

1) Q1 = (Qualitätsklasse 1) naturbelassenes Holz,
Q2 = unbehandeltes Holz, Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten, verleimtes Holz (auch gestrichen)
Q3 = lackiertes und beschichtetes Holz sowie Holzreste (ohne halogenorganische Beschichtung)

2) BPG = Brennstoff aus produktionsspezifischen Gewerbeabfällen

Um eine einheitliche Bewertung von Abfällen für den Einsatz als Ersatzbrennstoffe in Industriefeuerungen zu gewährleisten, wurden vom Landesumweltamt Nordrhein-West-

falen nach § 4 Abs. 4 KrW-/AbfG Abgrenzungskriterien in Form von Richtwerten auf der Basis von Regelbrennstoffen (Kohlen unterschiedlicher Herkunft) abgeleitet [39] (s. Tabelle A–9). Die Richtwerte wurden in Bezug auf den die Verwertung bestimmenden Energieinhalt in mg/MJ berechnet und ermöglichen eine einheitliche Beurteilung unterschiedlichster Abfallarten hinsichtlich ihrer Schadstoffgehalte. Bei Unterschreitung dieser aus Maximalwerten eines „fiktiven Ersatzbrennstoffes" gebildeten Richtwerte, ist – bei Erfüllung der Kriterien Heizwert, Feuerungswirkungsgrad und Abwärmenutzung – eine energetische Verwertung grundsätzlich möglich.

Über die Gesamtmengen der in Industriefeuerungen mitverbrannten Abfälle – vor allem Altholz, Altreifen, Altöle, Kunststoffe, Kohlenstäube, Kokse, Papier- und Ölschlämme – und die Bedeutung der konkurrierenden Entsorgungspfade liegen keine genauen Angaben vor. Man muß aber vermuten, daß in den letzten Jahren ein wachsender Anteil gerade dieser Abfälle nicht mehr über das öffentlich-rechtliche Entsorgungssystem erfaßt wird und zum Rückgang der an den öffentlichen Abfallentsorgungsanlagen angelieferten Mengen geführt hat.

Aufgrund der geltenden Regelungen ist Hausmüll bislang weitgehend von der energetischen Verwertung ausgeschlossen. Die Abgrenzung der energetisch verwertbaren Abfälle über ihren Heizwert legt es nahe, nach Wegen zu suchen, um Hausmüll so zu behandeln, daß er die Heizwertanforderung für eine energetische Verwertung erfüllt. Dies kann durch einfache Trocknung oder aufwendigere mechanisch-biologische Behandlung mit anschließender Sortierung erfolgen und steht im Einklang mit der Idee früherer BRAM-Konzepte zur Erzeugung von **Br**ennstoff **a**us **M**üll. Das Schadstoffspektrum des Hausmülls bleibt dabei mehr oder weniger erhalten, Schwermetallgehalte lassen sich aber zum Teil durch Aussortieren von Metallen und Inertstoffen reduzieren [30][40].

Ein Beispiel für einen derartigen Weg ist das sogenannte Trockenstabilatverfahren [41], das inzwischen durch das Hessische Umweltministerium [42] zur energetischen Verwertung zugelassen ist und zusätzlich zu den hochkalorischen Gewerbeabfällen auch Abfälle aus Haushalten energetisch zu verwerten erlaubt [43].
Dabei werden leichtabbaubare organische Bestandteile im Restabfall aus Haushalten biologisch zersetzt und die entstehende Wärme – in Verbindung mit einer ausreichenden Belüftung – zur Trocknung des Abfalls genutzt, so daß eine Restfeuchte von < 15 % erreicht wird. Der Wasserentzug führt zu einem biologisch stabilen, homogenen Endprodukt (Trockenstabilat), das jetzt einen Heizwert über 11.000 kJ/kg besitzt, unbegrenzt lagerfähig ist und zudem eine gute Sortierbarkeit aufweist [41].
Das letztlich rechtlich nur auf die in § 6 KrW-/AbfG festgelegte Heizwertgrenze begründete Trockenstabilatverfahren macht die Fragwürdigkeit der im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz festgelegten Abgrenzung von thermischer Behandlung und

energetischer Verwertung deutlich, da sich durch den Trocknungsprozeß am Schadstoffpotential des Restabfalls nichts verändert hat.

Erfahrungen (bzw. Versuche) liegen zur Zeit vor allem für die Mitverbrennung von Abfällen in *Kraftwerken* zur Strom- und Wärmeerzeugung, für den Einsatz in *Zementwerken* und *Hochöfen* sowie in einigen speziellen *Industrieanlagen* (Ziegeleien, Asphaltmischanlagen etc.) vor [44] (s. Anlage B).

Die Verfahren zur energetischen Verwertung unterliegen unterschiedlichen Emissionsanforderungen (s. Tabelle A–10):

- Kraftwerke mit einer Feuerungswärmeleistung von mehr als 50 MW unterliegen den Regelungen der 13. BImSchV [45], bei Leistungen unter 50 MW der TA Luft [46]. Für die Einhaltung der dort vorgegebenen Emissionsgrenzwerte ist neben einer Entstaubung in der Regel auch eine Rauchgasentschwefelungsanlage und ein Katalysator zur Entstickung notwendig. Vereinzelt finden sich auch adsorptive Rauchgasreinigungstufen [47].
- Zementwerke sind der Überwachung der TA Luft (Nr. 3.3.2.3.1 „Anlagen zur Herstellung von Zementen“) unterstellt, die spezielle Emissionsgrenzwerte für Zementwerke vorgibt (s. Tabelle A–10). Der Grenzwert für Stickoxide der TA Luft unterliegt dem fortschrittlichen Stand der Technik (Dynamisierungsklausel) und wurde zwischenzeitlich für Zementwerke durch den Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI) auch gesenkt (von max. 1.800 mg/m^3 NO_X auf 500 mg/m^3 für Neuanlagen und 800 mg/m^3 für Altanlagen).
- Hochöfen sind der allgemeinen Überwachung der TA Luft (Nr. 3.3.3.2.1 „Anlagen zur Gewinnung von Roheisen“) unterstellt (s. Tabelle A–10).
- Ziegeleien und Asphaltmischanlagen unterliegen ebenfalls der Überwachung der TA Luft (Nr. 3.3.2.10.1 bzw. Nr. 3.3.2.15.1), die insbesondere für Schwefeloxide eine Emissionsbegrenzung vorschreibt.

Bei der Mitverbrennung von Abfällen zur Verwertung in Anlagen bis zu einem Anteil von 25 % der Feuerungswärmeleistung ist die 17. BImSchV [48] nur auf den Teil des Abgasstromes anzuwenden (d.h. Bildung von Mischgrenzwerten aus TA Luft bzw. 13. BImSchV und 17. BImSchV), der bei der Verbrennung des höchstzulässigen Anteils der Abfälle und des evtl. für die Verbrennung der Abfälle zusätzlich benötigten Brennstoffes entsteht [49].

Bei Anteilen über 25 % an der Feuerungswärmeleistung ist bei Großfeuerungsanlagen (gemäß Nr. 1.1 bis 1.3 und 8.1 der 4. BImSchV)[5] für Dioxine und Furane, Schwermetalle und Kohlenmonoxid ein Mischwert (aus 13. BImSchV und 17. BImSchV) zu ermitteln. Für die restlichen Emissionswerte (Staub, Gesamtkohlenstoffgehalt, HCl, HF, SO_2 und NO_X) ist die 17. BImSchV anzuwenden.
Für Emissionen, die nach 13. BImSchV nicht reglementiert, aber nach 17. BImSchV begrenzt sind, werden Betriebswerte gemessen und mit dem Grenzwert der 17. BImSchV zu einem „praktikablen" Mischwert verarbeitet.

Insgesamt betrachtet kommt es, je nach Anwendung der gültigen Emissionsgrenzwerte, zu ganz unterschiedlichen Schadstofffrachten, die legal emittiert werden können.
Im Hinblick auf das Emissionsverhalten werden auch sog. Monoverbrennungsanlagen zur Entsorgung einzelner Abfallarten – z.B. von Altholz oder Kunststoffabfällen – diskutiert. Monoverbrennungsanlagen für Abfälle unterliegen wie Müllverbrennungsanlagen vollständig der 17. BImSchV. Allerdings sind sie speziell für die Verbrennung einzelner Abfallarten ausgelegt bzw. optimiert und zielen z.B. auf einen vollständigen Ausbrand bei optimaler Energienutzung und minimalen Emissionen.

Zu den Monoverbrennungsanlagen kann auch die *Energetische Verwertungsanlage (EVA*) gerechnet werden, die als Baustein im Entsorgungskonzept des Lahn-Dill-Kreises für die Verbrennung von Trockenstabilat gebaut wird und ca. 15.000 t Trockenstabilat (entspricht 25 % des erzeugten Trockenstabilats) in Strom und Wärme umwandeln soll [50]. Der erzeugte Strom (2 MW) wird zum netzunabhängigen Betrieb des benachbarten Trockenstabilatwerkes benutzt, das in den Wintermonaten auch seine Heizwärme von dort bezieht. Die verbleibende Wärmeenergie (ca. 5 MW) soll für die Trocknung von Biomasse zur Brennstofferzeugung (geplant) eingesetzt werden. Auch diese Anlage muß die Anforderungen der 17. BImSchV erfüllen [51]. Das restliche Trockenstabilat soll zwischengelagert und in industriellen Feuerungsanlagen (z.B. Zementwerken) energetisch verwertet werden. Dabei wird von einem negativen Marktwert der Abfälle bzw. von einer Zuzahlung von 150 DM/t Trockenstabilat für die Abnahme ausgegangen [52].

Die unterschiedlichen Anforderungen an die Emissionen der für eine energetische Abfallverwertung in Frage kommenden Anlagen haben auch Auswirkungen auf die Aufteilung der Abfallströme. Da die unterschiedlichen Emissionsanforderungen zu unterschiedlich hohen Investitionen für die Rauchgasreinigung führen, unterscheiden sich die verschiedenen Verwertungspfade in ihren Abfallbehandlungskosten und -preisen. Tendenziell werden Entsorgungspflichtige den preiswertesten Weg zur energetischen Verwertung suchen und damit Anlagen vermeiden, die der 17. BImSchV unterliegen, die

[5] d.h. bei festen Brennstoffen ab einer Leistung > 50 MW

zwar die höchsten Umweltschutzanforderungen erfüllen, aber gerade deswegen auch die höchsten Behandlungskosten aufweisen.

Hinsichtlich des Verbrennungsprozesses ist dabei die Mitverbrennung bzw. energetische Verwertung von Abfällen in Kraftwerken im Prinzip weitgehend identisch mit der ausschließlichen Verbrennung derartiger Abfälle in Müllheizkraftwerken, die auch Strom und Fernwärme erzeugen und zur Nutzung weitergeben. Im Hinblick auf die Umweltschutzziele des KrW-/AbfG wäre aber eine Verbrennung in Müllheizkraftwerken, die den strengeren Emissionsvorschriften der 17. BImSchV unterliegen, vorzuziehen.

Im Umweltgutachten 1998 und 2000 hat der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen [15] deshalb vorgeschlagen, das Ungleichgewicht in der Festlegung des Standes der Technik durch Angleichung der Großfeuerungsanlagen-Verordnung von 1983 (13. BImSchV) und der TA Luft von 1986 an die 17. BImSchV von 1990 aufzuheben.

Abhilfe könnte die in Vorbereitung befindliche neue EU-Verbrennungsrichtlinie [53] schaffen, die mit der 17. BImSchV vergleichbare Emissionsgrenzwerte enthalten soll und bei der Mitverbrennung von Abfällen in Kraftwerken, Zementwerken und sonstigen Industriefeuerungen für Dioxine/Furane und einen Teil der Schwermetalle[6] die Anwendung der gleichen Emissionsgrenzwerte vorsieht. Darüber hinaus muß auch sichergestellt werden, daß es nicht zu einer Schadstoffanreicherung in den entstehenden Produkten und damit zu möglichen Langzeitwirkungen für die Umwelt und die Gesundheit kommt.

Für die Umweltwirkungen der energetischen Verwertung sind vor allem die anorganischen Inhaltsstoffe der Abfälle von Bedeutung, da zum einen für die energetische Verwertung weniger strenge Emissionsgrenzwerte gelten, als für die thermische Abfallbehandlung und zum anderen sich Schadstoffe in Produkten anreichern können. Dabei sind die Elemente Schwefel, Stickstoff und insbesondere Chlor sowie die Schwermetalle Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Mangan, Nickel, Quecksilber, Thallium, Vanadium und Zinn zu nennen [54], die als Element oder in Verbindungen entweder toxisch sind oder ein kanzerogenes Potential besitzen.
Ein genereller Vorwurf, daß die Mitverbrennung von Abfällen in Industriefeuerungen immer unter schlechterem Emissionsniveau stattfände, ist jedoch – bei Betrachtung des Substitutionseffektes von z.B. Braunkohle oder Schweröl – pauschal nicht zutreffend (z.B. Klärschlamm-Mitverbrennung im Kohlekraftwerk Walheim [55] – s. Tabelle A-11). Allerdings wäre es im Interesse des Umweltschutzes wünschenswert, alle Verbrennungsanlagen gleichwertigen Anforderungen zu unterwerfen.

---

[6] u.a. Quecksilber, Cadmium, Thallium; in Kraftwerken und Zementwerken alle Schwermetalle

Derzeit zeichnen sich zwei Lösungen ab:

- Ein Ansatz geht von der Schadstoffbelastung im Abfall aus und erlaubt eine energetische Verwertung in Industriefeuerungen nur unterhalb einer maximal zulässigen Belastung. Abfälle, die mit Schadstoffen oberhalb dieser Grenze belastet sind, wären dann in dafür ausgelegten Müllverbrennungsanlagen zu verbrennen.
- Der zweite Ansatz sieht vor, daß die Mitverbrennung von Abfällen im wesentlichen der thermischen Abfallbehandlung gleichgestellt wird und für die kritischen Schadstoffe (z.B. Schwermetalle, Dioxine) die gleichen Emissionsgrenzwerte – ohne Anwendung der Anteilsregelung – gelten sollen, wie dies auch in der neuen EU-Verbrennungsrichtlinie vorgesehen ist [53].

5.4 Literaturverzeichnis zu Kapitel 5

[1] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG) vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705), zuletzt geändert am 25. August 1998 (BGBl. I S. 2455)

[2] Bündnis 90/Die Grünen (Hrsg.): Gewerbeabfälle in Baden-Württemberg – Wege und Verbleib. Studie erstellt von BZL und DPU im Auftrag der Grünen im Landtag von Baden-Württemberg, Stuttgart, November 1997

[3] Garbe-Emden, J.: Ein Jahr Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – Fachaufsätze und Gerichtsentscheidungen zum Abfallrecht und verwandten Rechtsgebieten von Juli bis September 1997. Müllmagazin 10 (1997) Nr. 4, S. 67-69

[4] Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft (FEI) e.V. (Hrsg.): Berichte aus der Praxis der Abfallwirtschaft. 75. Abfalltechnisches Kolloquium der Universität Stuttgart am 25. März 1999 in Stuttgart, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft Nr. 71, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1999

[5] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Definition und Abgrenzung von Abfallverwertung und Abfallbeseitigung sowie von Abfall und Produkt nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz. LAGA-Papier vom 17. März 1997

[6] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (WA II 1): Konsenssuche in der Abfallwirtschaft – Bund und Länder erarbeiten gemeinsame Auslegung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes. Umwelt (1998) Nr. 3, S. 119-120

[7] Mischer, G.; Bredereck, E.: Anderer Meinung – Der VCI nimmt Stellung zur Abgrenzungsfrage zwischen energetischer Verwertung und thermischer Behandlung. Müllmagazin 11 (1998) Nr. 1, S. 63-65

[8] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (WA II 1): Beschwerdeverfahren vor der EU-Kommission – Verbringung von deutschen Abfällen in belgische Zementwerke. Umwelt (1998) Nr. 3, S. 119-120

Anonym: EU-Kommission: Deutschland verstößt gegen Abfallrichtlinie. Müllmagazin 11 (1998) Nr. 4, S. 4

Holzapfel, A. M.: Rahmenbedingungen für konstante Planungs- und Investitionssicherheit. Rechtliche Aspekte der nationalen sowie europäischen Wasser- und Abfallwirtschaft. Umwelt 28 (1998) Nr. 5/6, S. 15-17

[9] Umweltministerien des Bundes und der Länder (Bund-Länder-AG): Abfallbegriff, Abfallverwertung und Abfallbeseitigung nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz. Bund-Länder-Konsenspapier vom 6. November 1997 (Beschluß der Umweltministerkonferenz)

[10] Potthast, W.: Die Abgrenzung von Abfällen zur Verwertung und Abfällen zur Beseitigung. Umwelt **28** (1998) Nr. 11/12, S. 22-23

[11] Anonym: Mischabfälle sind nicht generell Beseitigungsabfälle. Entsorgungspraxis 16 (1998) Nr. 12, S. 6

[12] Petersen, F.: Möglichkeiten und Grenzen des Wettbewerbs im Bereich der örtlichen Abfallwirtschaft nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz. Forum „Kommunen im wirtschaftlichen Wettbewerb“ der Deutschen Hochschule für Verwaltungswissenschaften Speyer vom 21.-22. September 1998

[13] Schunder, J.: Das Schrumpfen des Abfallberges verursacht Sorgen. Stuttgarts Müllmenge seit 1988 fast halbiert – Auslastung der Verbrennungsanlage immer schwieriger. Stuttgarter Nachrichten vom 15. April 1998, S. 16

[14] Anonym: Blick über den Rand der Deponie – Die derzeitige Situation in der Abfallentsorgung. BWK/TÜ/Umwelt-Special Oktober 1998, S. S1-S6

[15] Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU): Umweltgutachten 1998. Umweltschutz: Erreichtes sichern – Neue Wege gehen. Verlag Metzler-Poeschel, Stuttgart 1998

Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU): Umweltgutachten 2000. Schritte ins nächste Jahrtausend (Kurzfassung). http://www.umweltrat.de/gutach00.htm

[16] Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen (Verpackungsverordnung – VerpackV) vom 27. August 1998 (BGBl. I. S. 2379)

[17] Jung, G.; Winter, S.: Erläuterungen zum KrW-/AbfG. In: Birn, H. (Hrsg.): Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz in der betrieblichen Praxis. WEKA Fachverlag für technische Führungskräfte GmbH, Teil 2.3 , Stand Oktober 1998

[18] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (WA II 4/UBA): Recycling von Kunststoffabfällen – umfassende Übersicht über Aufkommen und Verwertung von Kunststoffabfällen erstellt. Umwelt (1998) Nr. 1, S. 35-36

[19] Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling mbH (DKR): Produkte aus recyceltem Kunststoff. DKR, Köln, Dezember 1997

[20] Holley, W.: Die Zukunft des Verpackungsrecyclings. Spektrum der Wissenschaft Nr. 9 (1998), S. 79-81

[21] Heyde, M.; Holley, W.; Kremer, M.: Ökobilanzen zur Verwertung von Kunststoffabfällen aus Sammlungen des Dualen Systems. In: VDI (Hrsg.): Verwertung von Kunststoffabfällen. VDI-Berichte Nr. 1288, S. 57-77, VDI-Verlag, Düsseldorf 1996

[22] Koch, W.: Müll verbrennen statt verwerten? Umweltminister kritisieren grünen Punkt: ökonomisch und ökologisch zweifelhaft. Stuttgarter Zeitung vom 9. März 1999, S. 1

[23] Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling mbH (DKR): Wege des werkstofflichen Recyclings von gebrauchten Kunststoffverkaufsverpackungen aus den Sammlungen des Dualen Systems. DKR, Köln, November 1997

[24] Lahl, U.: Der Einsatz von Kunststoffen als Reduktionsmittel im Hochofen – ein Rückblick. Müll und Abfall **27** (1995) Nr. 5, S. 309-313

[25] Duales System Deutschland AG (Hrsg.): Vertrag mit Kohleöl-Anlage wird beendet. Pressemitteilung des DSD vom 24. August 1999

[26] Brandrup, J.: Ökologie und Ökonomie der Kunststoffverwertung. Müll und Abfall **30** (1998) Nr. 8, S. 492-501

[27] Dehoust, G.; Weinem, P.; Fritsche U.; Wollny, V.: Vergleich der rohstofflichen und energetischen Verwertung von Verpackungskunststoffen. Studie des Öko-Institut e.V. und der Deutschen Projekt Union im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Verpackung und Umwelt (AGVU), Darmstadt/Essen, November 1999

[28] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanz Deutschlands für das Jahr 1995. Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH – VWEW, Frankfurt am Main, 2000

[29] Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung – BioAbfV) vom 21. September 1998 (BGBl. I S. 2955)

[30] Bilitewski, B.; Härdtle, G.; Marek, K.: Abfallwirtschaft. 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1994

[31] Detzer, R.: Wirbelstürme aus der Retorte. Umwelttechnik **21** (1998) Nr. 3, S. 20

[32] Wiemer, K., Kern, M.: Kompost-Atlas 1998/99. M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen 1998

[33] Bauer, W. P.; Groever, E.; Lipowsky, B.: Kombination von Kompostierung und Vergärung in Wertstoffzentren - Technik und Wirtschaftlichkeit. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Biologische Abfallbehandlung. EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin 1995

[34] Edelmann, W.: Möglichkeiten und Grenzen der Anaerobtechnik aus der Sicht des Wissenschaftlers. In: Arbeitskreis für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen (ANS) e.V. (Hrsg.): Anaerobe Bioabfallbehandlung in der Praxis. 51. Informationsgespräch in Baden-Baden im März 1995, Schriftenreihe des ANS, Heft 30, Stuttgart 1995

[35] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Merkblatt M 10 über Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost. Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall Nr. 21, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1995

[36] Bergs, C.-G.; Krebsbach, A.: Entwicklungschancen für die Verwertung von Bioabfällen nach Maßgabe der neuen Bioabfallverordnung. Wasser und Abfall **1** (1999) Nr. 4, S.8-10

[37] Länderausschuß Bergbau (LAB): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen als Versatz unter Tage – Technische Regeln für den Einsatz von bergbaufremden Abfällen als Versatz. Stand 22.10.1996

[38] Stellungnahme des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg: Müllverbrennung/ -verwertung in Zementfabriken, Ziegeleien und sonstigen Anlagen. Landtagsdrucksache 12/1787 vom 17. Juli 1997

[39] Winkler, H. D.: Verwertung von Altreifen und anderen Abfällen bei der Zementproduktion. In: Dohmann, M. (Hrsg.): Kreislaufwirtschaft und Abfallverwertung in thermischen Prozessen. Tagungsband des 9. Aachener Kolloquiums Abfallwirtschaft, Reihe „Abfall – Recycling – Altlasten“ Band 11, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, 1996

[40] Lahl, U.; Zeschmar-Lahl, B.; Dehoust, G.; Lohse, J.; Sander, K.: Zu kurz gedacht – Bei der Mitverbrennung von Restabfällen in Industrieanlagen überwiegen in der Regel die ökologischen Nachteile. Müllmagazin **10** (1997) Nr. 1, S. 78-84

[41] Wiemer, K.; Kern, M. (Hrsg.): Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung nach dem Trockenstabilatverfahren. M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen 1995

[42] Anonym: Trockenstabilat - Beobachtungen zum aktuellen Stand des Verfahrens. Umwelt **28** (1998) Nr. 9, S. 48-49

[43] Urteil des Hessischen Verwaltungsgerichtshofes vom 20. August 1999 (Az. 8 TG 3140/98)

[44] Roos, J.; Buer, T.: Abfallpotentiale in thermischen Prozessen. In: Dohmann, M. (Hrsg.): Kreislaufwirtschaft und Abfallverwertung in thermischen Prozessen. Tagungsband des 9. Aachener Kolloquiums Abfallwirtschaft, Reihe „Abfall – Recycling – Altlasten“ Band 11, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, 1996

[45] Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungsanlagen – 13. BImSchV) vom 22. Juni 1983 (BGBl. I S. 719)

[46] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 27. Februar 1986 (GMBl. S. 95) berichtigt am 4. April 1986 (GMBl. S. 202)

[47] Urban, A. I.; Friedel, M.: Kapazitäten thermischer Verfahren und Behandlungsanlagen. In: Urban, A. I.; Bilitewski, B.; Faulstich, M. (Hrsg.): Thermische Abfallbehandlung – Entwicklung von Technik und Kosten. Verein zur Förderung der Fachgebiete Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik an der Universität Gh Kassel e.V., Kassel 1997

[48] Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe – 17. BImSchV) vom 23. November 1990 (BGBl. I S. 2545, 2832), zuletzt geändert durch Verordnung vom 23. Februar 1999 (BGBl. I S. 186)

[49] Berghoff, R.: Kreislaufwirtschaft auf dem ökologischen Prüfstand – dargestellt am Beispiel der thermischen Abfallbehandlung. In: Dohmann, M. (Hrsg.): Kreislaufwirtschaft und Abfallverwertung in thermischen Prozessen. Tagungsband des 9. Aachener Kolloquiums Abfallwirtschaft, Reihe „Abfall – Recycling – Altlasten“ Band 11, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, 1996

[50] Anonym: Rückenwind für EVA aus Brüssel und Wiesbaden. Müll und Abfall **30** (1998) Nr. 11, S. 723

[51] Küffner, G.: Es kommt Konkurrenz auf für den gelben Sack. Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 7. April 1998, S. T1 ff.

[52] Herhof-Umwelttechnik GmbH: Schriftliche Auskunft auf eine Anfrage vom 6. Mai 1998

[53] Kommission der europäischen Gemeinschaft: Geänderter Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über die Verbrennung von Abfällen. KOM (1999) 105 endg. vom 12. Juli 1999

[54] Lahl, U.; Zeschmar-Lahl, B.: Energetische Verwertung nach KrW-/AbfG – ein Ausblick. Umwelt **27** (1997), Nr. 3, S. 44-48

[55] Stellungnahme des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg: Klärschlammverbrennung im Kohlekraftwerk Walheim. Landtagsdrucksache 12/1328 vom 16. April 1997

6 Abfallbehandlung und Abfallbeseitigung

Der nach Sammlung, Sortierung und Verwertung verbleibende Restabfall muß so beseitigt werden, daß auch langfristig keine Umweltgefahren entstehen. Außerdem soll nach den Vorgaben des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) [1] die zu beseitigende Menge so gering wie möglich sein, um die benötigten Deponievolumina klein zu halten. Um diesen Forderungen zu genügen, muß der Abfall in der Regel einer geeigneten Behandlung unterzogen werden, bevor er abgelagert und damit endgültig beseitigt werden kann. Da der Restabfall häufig noch verwertbare Bestandteile enthält, umfassen die Behandlungsverfahren auch Schritte zur Abtrennung von Wertstoffen oder zur Gewinnung von Energie aus Abfall (s. Abb. 6.1–1). Behandlung und Beseitigung berühren den Bürger nicht direkt, beeinflussen aber die Entsorgungskosten und damit die Müllgebühren in erheblichem Umfang.

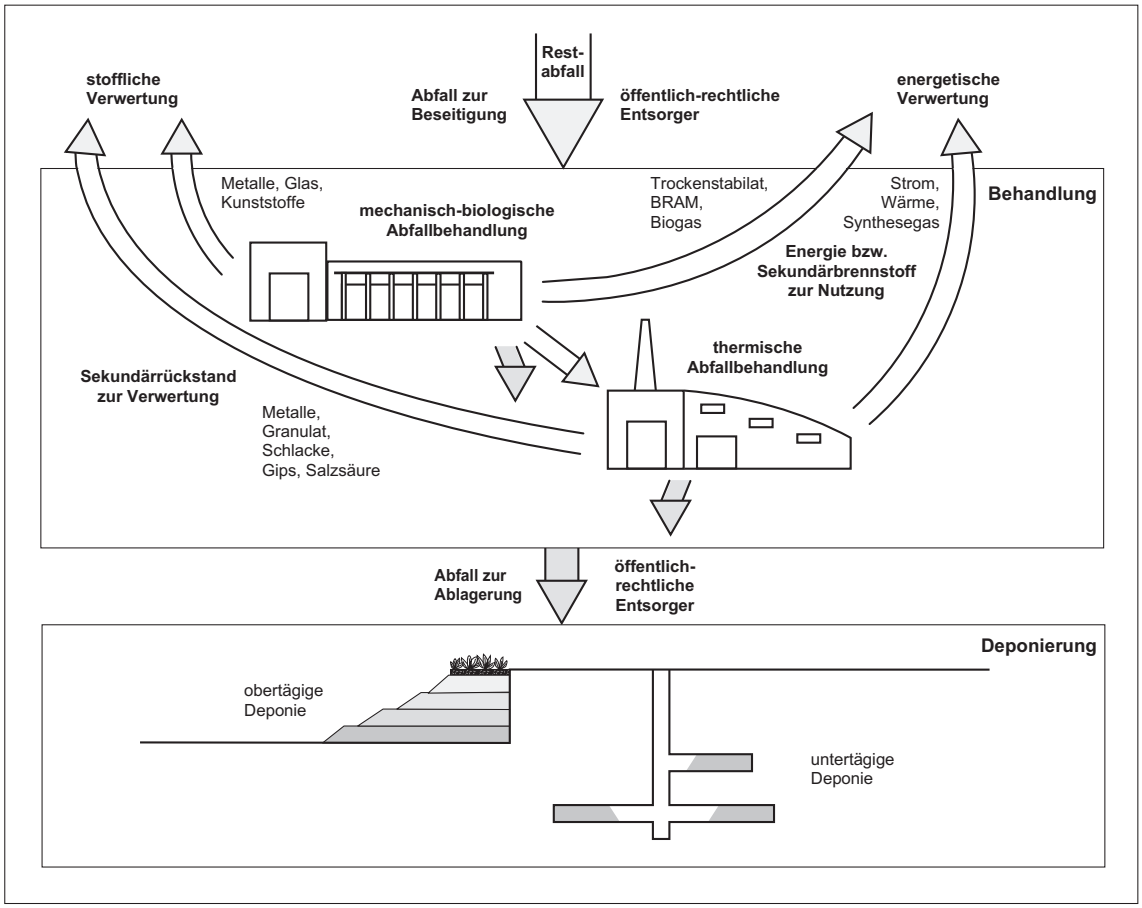

Abb. 6.1–1: Behandlung und Beseitigung von Restabfällen in der Kreislaufwirtschaft

6.1 Anforderungen an Behandlung und Beseitigung

Für Siedlungsabfälle wird die endgültige Ablagerung im wesentlichen durch die TA Siedlungsabfall [2] geregelt, die so den notwendigen Umfang einer vorangehenden Restabfallbehandlung bestimmt.[1]

Die endgültige Beseitigung der nach Verwertung und Behandlung verbleibenden Abfallbestandteile geschieht durch Ablagerung auf oberirdischen oder unterirdischen Deponien. Die Anforderungen an die oberirdische Ablagerung sind im Anhang B der TA Siedlungsabfall festgelegt (s. Tabelle 6.1–1). Die deponierten Stoffe müssen nach dem Jahr 2005[2] die in den Zuordnungskriterien festgelegten Grenzwerte für die Deponieklasse II einhalten, sollten aber nach Möglichkeit die anspruchsvolleren Kriterien für die Deponieklasse I (Inertstoffdeponie) erfüllen. Die Zuordnungskriterien betreffen die Festigkeit, den organischen Anteil des Trockenrückstandes der Originalsubstanz, extrahierbare lipophile Stoffe und Eluatkriterien. Mit ihnen soll erreicht werden, daß sich praktisch kein Deponiegas aus den abgelagerten Abfällen entwickelt, daß die Belastung des Sickerwassers mit Schadstoffen sehr gering ist und daß Setzungen als Folge eines biologischen Abbaus von organischen Teilen in den abgelagerten Abfällen weitgehend vermieden werden.
Damit sind nur solche Abfälle ablagerungsfähig, die weitgehend inert sind, d.h. als Trockenrückstand der Originalsubstanz den Grenzwert für den Restgehalt an organischen Bestandteilen von 5 Gew.-% – gemessen als Glühverlust – bzw. den Gesamtkohlenstoffgehalt (TOC) von 3 Gew.-% nicht übersteigen. Darüber hinaus müssen Grenzwerte für den Gehalt einer Reihe von Schwermetallen und sonstigen Schadstoffen unterschritten sowie ein Wert von ≤ 100 mg pro Liter für den Gesamtkohlenstoffgehalt (TOC) im Eluat eingehalten werden.

Die hohe Anforderung an den zulässigen Restgehalt an organischen Stoffen läßt sich nach derzeitigem Erkenntnisstand nur durch eine thermische Behandlung oder andere oxidierende Verfahren (z.B. Naßoxidation) nicht aber allein durch eine mechanisch-biologische Behandlung erfüllen. Durch die Bestimmungen der TA Siedlungsabfall werden somit thermische Abfallbehandlungsanlagen zum notwendigen Bestandteil einer Abfallwirtschaft. Nichtthermische Verfahren wie z.B. die mechanisch-biologische Abfallbehandlung können weiterhin eine Rolle spielen, sie haben aber in erster Linie die

---

[1] Die Beseitigung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle (Sonderabfälle) regelt die TA Abfall [3]. Sonderabfälle, die aufgrund ihres Gehaltes an langlebigen oder bioakkumulierbaren toxischen Stoffen zu einer Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit führen können, dürfen z.B. grundsätzlich nicht auf einer oberirdischen Deponie abgelagert werden. Sie müssen durch Einbringen in geeignete Untertagedeponien von der Biosphäre ausgeschlossen werden.

[2] entsprechend der von der TA Siedlungsabfall vorgesehenen Übergangsfrist

Funktion, Volumen und Menge der Restabfälle zu reduzieren und deren Homogenität zu verbessern und so den Bedarf an Verbrennungsanlagen zu verringern bzw. den Ausbau der Kapazitäten zu begrenzen.

Tabelle 6.1–1: Zuordnungskriterien nach TA Siedlungsabfall bzw. TA Abfall

Parameter	TA Siedlungsabfall Deponieklasse I	TA Siedlungsabfall Deponieklasse II	TA Abfall oberirdische Ablagerung
Flügelscherfestigkeit	≥ 25 kN/m^2	≥ 25 kN/m^2	≥ 25 kN/m^2
Axiale Verformung	≤ 20 %	≤ 20 %	≤ 20 %
Einaxiale Druckfestigkeit	≥ 50 kN/m^2	≥ 50 kN/m^2	≥ 50 kN/m^2
Glühverlust des Trockenrückstandes der Originalsubstanz	≤ 3 Gew.-%	≤ 5 Gew.-%	≤ 10 Gew.-%
TOC (Trockenrückstand) [1)]	≤ 1 Gew.-%	≤ 3 Gew.-%	-
Extrahierbare lipophile Stoffe [1)]	≤ 0,4 Gew.-%	≤ 0,8 Gew.-%	≤ 4 Gew.-%
pH-Wert	5,5 - 13	5,5 - 13	4 - 13
Leitfähigkeit	≤ 10.000 µS/cm	≤ 50.000 µS/cm	≤ 100.000 µS/cm
TOC	≤ 20 mg/l	≤ 100 mg/l	≤ 200 mg/l
Phenole	≤ 0,2 mg/l	≤ 50 mg/l	≤ 100 mg/l
Arsen	≤ 0,2 mg/l	≤ 0,5 mg/l	≤ 1 mg/l
Blei	≤ 0,2 mg/l	≤ 1 mg/l	≤ 2 mg/l
Cadmium	≤ 0,05 mg/l	≤ 0,1 mg/l	≤ 0,5 mg/l
Chrom-VI	≤ 0,05 mg/l	≤ 0,1 mg/l	≤ 0,5 mg/l
Kupfer	≤ 1 mg/l	≤ 5 mg/l	≤ 10 mg/l
Nickel	≤ 0,2 mg/l	≤ 1 mg/l	≤ 2 mg/l
Quecksilber	≤ 0,005 mg/l	≤ 0,02 mg/l	≤ 0,1 mg/l
Zink	≤ 2 mg/l	≤ 5 mg/l	≤ 10 mg/l
Fluorid	≤ 5 mg/l	≤ 25 mg/l	≤ 50 mg/l
Ammonium-N	≤ 4 mg/l	≤ 200 mg/l	≤ 1.000 mg/l
Chlorid	-	-	≤ 10.000 mg/l
Cyanide (leicht freisetzbar)	≤ 0,1 mg/l	≤ 0,5 mg/l	≤ 1 mg/l
Sulfat	-	-	≤ 5.000 mg/l
Nitrit	-	-	≤ 30 mg/l
AOX	≤ 0,3 mg/l	≤ 1,5 mg/l	≤ 3 mg/l
Wasserlöslicher Anteil [2)]	≤ 3 Gew.-%	≤ 6 Gew.-%	≤ 10 Gew.-%

[1)] Originalsubstanz
[2)] Eindampfrückstand

Die durch die TA Siedlungsabfall künftig eingeschränkte Ablagerungsmöglichkeit von Abfällen auf Deponien und der in ihr implizit enthaltene Zwang zur thermischer Abfallbehandlung sind Gegenstand einer anhaltenden Diskussion. Vor dem Hintergrund der in der TA Siedlungsabfall verankerten Ausnahmeregelung[3] versuchen die Betreiber von Deponien, ihre Anlagen über das Jahr 2005 hinaus durch das Ablagern thermisch nicht behandelten Abfalls auszulasten, und die Gegner der Müllverbrennung, die dem Gesetzgeber unterstellen, die thermische Abfallbehandlung einseitig zu bevorzugen, wollen erreichen, daß auch die Ablagerungsfähigkeit allein mechanisch-biologisch behandelter Abfälle zulässig wird.
Unter dem Druck der vorhandenen Deponiekapazitäten konnte die Genehmigung zur Ablagerung von Abfällen über das Jahr 2005 hinaus inzwischen in einigen Fällen erreicht werden. Mindestens 15 Deponien (v.a. aus den Ländern Niedersachsen, Rheinland-Pfalz und Brandenburg) haben Ausnahmegenehmigungen für die Ablagerung nichtthermisch behandelter Abfälle über das Jahr 2005 hinaus erhalten bzw. beantragt [4] (s. Tabelle A–12).

Auch eine generelle Modifizierung der TA Siedlungsabfall ist weiterhin in der Diskussion. Die alte Bundesregierung hatte 1996 bei der Überprüfung der TA Siedlungsabfall eine Aufweichung der dort festgelegten Kriterien abgelehnt [5]. Die neue Bundesregierung hat jedoch in ihrer Koalitionsvereinbarung angekündigt, „... Wettbewerb, Vielfalt und Innovation zu stärken, um ökologische Ziele in der Abfallwirtschaft durchzusetzen, die mechanisch-biologische Verfahren einschließen“ [6] und inzwischen dazu auch fünf Eckpunkte vorgelegt [7].

Danach sollen die Ablagerung unbehandelter Siedlungsabfälle so schnell wie möglich beendet und zur Vorbehandlung der Siedlungsabfälle neben thermischen Verfahren auch hochwertige mechanisch-biologische Vorbehandlungsverfahren zugelassen werden. Die Anforderungen an derartige Anlagen und die bei der Ablagerung zu beachtenden Vorkehrungen sollen in einer Ergänzung der TA Siedlungsabfall sowie in einer Rechtsverordnung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz in Anlehnung an die Anforderungen der 17. Bundes-Immissionsschutzverordnung für Verbrennungsanlagen [8] festgelegt werden.
Bei einer mechanisch-biologischen Vorbehandlung soll die heizwertreiche Teilfraktion energetisch genutzt, d.h. die im Restmüll enthaltenen Kunststoffe und andere Energieträger sollen abgetrennt und z.B. in Kraftwerken oder industriellen Anlagen, die die strengeren Abgasvorschriften der 17. BImSchV erfüllen, verbrannt werden.

[3] Der Gesetzgeber hat hier – wie in vielen anderen Regelwerken auch – die Möglichkeit eröffnet, von den Zuordnungswerten abzuweichen, solange die übergeordneten Ziele erfüllt werden. Die TA Siedlungsabfall enthält dementsprechend eine Ausnahmeregelung, die Abweichungen von den genannten Anforderungen zuläßt, wenn im Einzelfall der Nachweis erbracht wird, daß durch andere geeignete Maßnahmen das Wohl der Allgemeinheit (gemessen an den Anforderungen der TA Siedlungsabfall) nicht beeinträchtigt wird.

Nicht oder nur mit unverhältnismäßigem Aufwand nachrüstbare Deponien sollen schrittweise geschlossen werden, der Bau neuer Deponien für Siedlungsabfälle ist nicht mehr erforderlich und bis spätestens im Jahr 2020 sollen die Behandlungstechniken so weiterentwickelt und ausgebaut werden, daß alle Siedlungsabfälle in Deutschland vollständig und umweltverträglich verwertet werden.

Ein zentraler Punkt der Diskussion um die Abfallbehandlung ist die Frage, inwieweit die Zuordnungskriterien für das Erreichen der angestrebten Ziele wirklich geeignet sind. Von den Gegnern der thermischen Abfallbehandlung bzw. den Befürwortern einer mechanisch-biologischen Behandlung wird bestritten, daß die in Anhang B der TA Siedlungsabfall enthaltenen Parameter ausreichen, um die biologische Restaktivität und damit das mittel- bis langfristige Emissionsverhalten von Abfällen – vor allem der Reststoffe aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung – richtig zu beschreiben.

Unter Berufung auf die Ausnahmeregelung der TA Siedlungsabfall schlagen sie vor, die Rückstände aus der thermischen und der nichtthermischen Behandlung unterschiedlich zu bewerten (s. Tabelle 6.1–2). Dazu sollen die Anforderungen in Anhang B der TA Siedlungsabfall um gesonderte Kriterien für die Beurteilung von Rückständen der mechanisch-biologisch behandelten Abfälle ergänzt werden, um eine

- Anforderung an die biologischen Stabilität der behandelten Abfälle (gemessen als Atmungsaktivität AT_4[4]) anstelle des Glühverlustes und eine
- Anforderung an das Gasbildungspotential GB_{21}[5] (Gärtest) in Verbindung mit einer Änderung des TOC-Wertes im Eluat.

Nach derzeitigen Erkenntnissen bilden die Parameter AT_4 und GB_{21} den biologischen Stabilisierungsgrad am besten ab [9]. Die vorgeschlagenen Grenzwerte können nach einer Behandlungszeit von ca. 3 Monaten erreicht werden und führen zu vergleichbaren Minderungsraten für die organischen Bestandteile wie die bisherigen Anforderungen der TA Siedlungsabfall. Für die Atmungsaktivität AT_4 existiert eine abgestimmte Arbeitsmethodik, für den Gärtest wird derzeit eine einheitliche Methodik in Ringversuchen erarbeitet.

[4] Sauerstoffaufnahme innerhalb von 4 Tagen, gemessen in mg O_2 pro g Trockenmasse

[5] Im Gärtest innerhalb von 21 Tagen gebildete Gasmenge, gemessen in Litern pro kg Trockenmasse bezogen auf den Normzustand (0 °C bzw. 273,15 K und 1,013 bar)

Tabelle 6.1–2: Vorgeschlagene Ersatzparameter für MBA im Vergleich zu Zuordnungswerten der TA Siedlungsabfall nach [10]

	Unbehandelter Abfall	Grenzwert nach TA Siedlungsabfall	vorgeschlagene Grenzwerte für MBA	Minderung nach TA Siedlungsabfall	erreichte Minderung durch MBA
Glühverlust in % TS	65	5		92 %	
AT_4 in mg O_2/g TS	100		≤ 5		95 %
TOC_{Eluat} in mg/l	3.000	100	≤ 250	97 %	92 %
GB_{21} in Nl/kg TS [1)]	180		8 bis 20		89 bis 96 %

[1)] Nl = Normliter (Gas im Normzustand, d.h. bei 0 °C bzw. 273,15 K und 1,013 bar)

Der Versuch, die Gleichwertigkeit von thermischer und mechanisch-biologischer Behandlung über besser geeignete Zuordnungskriterien zu erreichen, ist jedoch problematisch, da – z.B. aus der Sicht des Umweltbundesamtes – ein Gleichwertigkeitsnachweis wegen prinzipieller Ungleichheiten der beiden Behandlungskonzepte unter wissenschaftlichen Aspekten nicht durchführbar ist [11]:

- Durch biologische Behandlungsanlagen kann zwar die Reaktionsfähigkeit der zu deponierenden Abfälle vermindert werden; langlebige organische Stoffe können jedoch prinzipiell nicht abgebaut werden und müssen durch geschlossene Deponien mit Deponieabdichtung, Deponiegas- und Sickerwasserbehandlung von der Biosphäre ausgeschlossen werden (passive Gefährdungsminimierung).
- Die technische Entwicklung bei den thermischen Abfallbehandlungsanlagen läßt erkennen, daß vollständig inhärente Stoffe durch schmelzflüssige Schlackeabzug- bzw. Hochtemperaturverfahren erreichbar sind, die ohne Nachsorgemaßnahmen stofflich verwertet oder abgelagert werden können (aktive Gefährdungsminimierung).

Beide Wege führen so zu unterschiedlichen Anforderungen an die Deponien. Bei der biologisch-mechanischen Behandlung von Restabfällen für eine Ablagerung wird das passive Sicherheitselement (Deponieabdichtung)[6] mit den daraus folgenden Anforderungen an Nachsorge und Überwachung auch in Zukunft – selbst bei einem weiterentwickelten Stand der Technik – die Deponie und den Deponiebetrieb bestimmen müssen.

[6] Die Deponieabdichtung konserviert zwar für lange Zeit die noch reaktionsfähigen, d.h. abbaubaren bzw. auslaugbaren Abfälle, doch kann bei Versagen dieser Sicherung das nach wie vor vorhandene Gefährdungspotential wieder aktiviert werden.

Für die Beurteilung der Gleichwertigkeit von thermischer und mechanisch-biologischer Abfallbehandlung ist es daher – nicht zuletzt im Interesse der Kostenbelastung der Bürger – unerläßlich, Behandlung und Deponierung zusammen als Gesamtprozeß zu beurteilen [10][9]. In diese Richtung zielt auch die Deponierichtlinie der EU [12], die u.a. fordert, die Kosten für Mülldeponien umfassend (einschließlich Unterhalt und Nachsorgekosten für einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren) zu berücksichtigen, um so eine bessere Kostenabwägung zwischen der Deponierung und anderen Verfahren zu ermöglichen.

Untersuchungen des Umweltbundesamtes zur ökologischen Vertretbarkeit der mechanisch-biologischen Vorbehandlung (MBA) von Restabfall einschließlich deren Ablagerung im Vergleich mit der thermischen Vorbehandlung (MVA)[7] [11] und zur Kostenstruktur von Abfallbeseitigungsverfahren [13] kommen u.a. zu dem Ergebnis,

- daß die Emissionen von MBA an Staub und anorganischen Komponenten unkritisch sind, die Frachten organischer Stoffe (TOC) der biologisch gereinigten MBA-Abluft aber um den Faktor 5-6 über den nach der 17. BImSchV berechneten Frachten liegen können (s. Tabelle A-13) [14], und daß die Regelungen für die Abluft im Hinblick auf den Immissionsschutz ergänzungsbedürftig sind,[8]
- daß MBA-Rückstände dem erwarteten umweltverträglichen Deponieverhalten TA Siedlungsabfall-konformer Abfälle nahekommen können, daß die Rückstände der thermischen Abfallbehandlung die Zuordnungswerte aber vielfach erheblich unterschreiten (s. Tabelle A-14) [11],
- daß die benötigten Deponievolumina bei MBA größer sind als bei MVA: Nach Berücksichtigung der Faktoren Masseabbau, Rückstandsdichte und Verwertbarkeit wird für MBA-Rückstände ein Deponievolumen von ca. 0,25 m^3 und für MVA-Rückstände von ca. 0,06-0,08 m^3 pro Tonne behandelter Abfälle benötigt (s. Tabelle A-15) [11], und
- daß sich die Entsorgungskosten der unterschiedlichen Konzepte – aufgrund der sich inzwischen abzeichnenden oder aber bereits eingetretenen Entwicklungen – immer mehr angleichen (s. Tabelle 6.1–3) [13].

---

[7] Als Rahmenbedingung ist für mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen aufgrund des Platzbedarfs eine maximale Größe von 200.000 t/a anzunehmen. Rückstände der MBA sind auf Deponien der Klasse II (mit Gasfassung) abzulagern, während Schlacken aus MVA auch auf Deponien der Klasse I abgelagert werden können.

[8] Derzeit werden nur die allgemeinen Anforderungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und der TA Luft – gegenüber 17. BImSchV bei thermischer Abfallbehandlung – angewandt, z.T. wurden in bestehenden Anlagen nur die Geruchs- und Staubemissionen durch Genehmigungsbescheid begrenzt [11].

Für die thermische Abfallbehandlung haben sich die Behandlungskosten inzwischen deutlich nach unten entwickelt (ca. 200-250 DM/t), durch die erforderlichen Anpassungen zur Emissionsminderung auf der Abluftseite von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen werden sich die (reinen) Behandlungskosten der MBA von derzeit ca. 80-90 DM/t noch um ca. 30-50 DM/t erhöhen und bei den Deponiekosten dürften sich die gegenwärtigen Preise noch nach oben entwickeln (ca. 150-250 DM/t), da die Rückstellungskosten für die Deponieschließung und die -nachsorge vielfach noch nicht eingerechnet sind. Welche Zusatzkosten durch die deponietechnischen Maßnahmen bei der Ablagerung von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen im Zuge des Gleichwertigkeitsnachweises nach Ziffer 2.4 der TA Siedlungsabfall entstehen würden, läßt sich derzeit noch nicht genau abschätzen. Insgesamt läßt sich die häufig vertretene Ansicht, daß den Kommunen durch den Einsatz der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung geringere Kostenbelastungen entstehen, künftig nicht mehr aufrechterhalten, wenn der Standard der TA Siedlungsabfall eingehalten werden muß.

Tabelle 6.1–3: Spezifische Kosten verschiedener Restabfallbehandlungssysteme

Spezifische Behandlungskosten pro Tonne Restabfall			
Behandlungs-kombinationen	**UBA-Studie [1] (250.000 E)**	**UBA-Studie [1] (500.000 E)**	**aktuelle Entwicklung [2]**
MVA [3] + Deponie	269 DM	217 DM	245-325 DM
Trockenstabilisierung [4] + MVA/energ. Verwertung + Deponie	300 DM	240 DM	312-396 DM
MBE [5] + Deponie	136 DM	109 DM	226-333 DM
MBA [6] + MVA/energ. Verwertung + Deponie	318 DM	217 DM	268-358 DM

1) nach bundesweiter Mengenprognose für 2005 [13]: Bioabfälle 88 kg/E·a, Wertstoffe 271 kg/E·a, Restabfälle 363 kg/E·a, Sortierrückstände 63 kg/E·a

2) Annahme (ohne Degression): Behandlungskosten für MVA ca. 200-250 DM/t, für MBE/MBA bzw. Trockenstabilat ca. 110-140 DM/t, Deponiekosten (kostendeckend) ca. 150-250 DM/t, Kosten für energetische Verwertung in MVA ca. 180-210 DM/t

3) der gesamte Restabfall (incl. Sortierrückstände) wird verbrannt; zu deponieren sind max. 30 % (bei Schlackeverwertung weniger)

4) nur ein Teilstrom wird biologisch getrocknet (Massenverlust 20 %); ca. 88 % des Inputs und die Sortierrückstände werden einer MVA zugeführt, zu deponieren sind max. 30 % (bei Schlackeverwertung weniger)

5) Mechanisch-biologische Endrotte (MBE): Der gesamte Restabfall (incl. Sortierrückstände) wird in der Anlage mechanisch behandelt (sortiert), aber nur der kohlenstoffreiche Teilstrom wird einer Endrotte unterzogen (Massenverlust ca. 35 %); zu deponieren sind ca. 77 % (erfüllt nicht TASi-Kriterien)

6) nur Teilstrom (heizwertarm) wird einer Rotte unterzogen (Massenverlust ca. 35 %), zu deponieren sind ca. 36 % (erfüllt nicht TASi-Kriterien), heizwertreiche Fraktion von ca. 41 % und Sortierrückstände werden in MVA verbrannt, davon sind max. 30 % (bei Schlackeverwertung weniger) zu deponieren

6.2 Restabfallbehandlung

Als Verfahren für die Vorbehandlung der Restabfälle werden derzeit nur die thermische und die mechanisch-biologische Abfallbehandlung in Betracht gezogen.

6.2.1 Thermische Abfallbehandlung[9]

Die thermische Abfallbehandlung stellt derzeit das einzige erprobte Behandlungskonzept dar, das die Ablagerungskriterien der TA Siedlungsabfall in allen Punkten erfüllen kann. Als Verfahren sind zu nennen die Müllverbrennung, als klassische Rostfeuerung oder Wirbelschichtverbrennung, sowie neuere Kombinationsverfahren, wie z.B. Thermoselect-, Schwel-Brenn-, RCP-Verfahren etc. (s. Anhang B), die alle darauf ausgelegt sind, ein breites Spektrum an Abfällen unter Nutzung der Energie als Strom oder Wärme auf möglichst niedrigem Emissionsniveau zu entsorgen und zu einem großen Teil wieder in verwertbare Rückstände zu überführen.

Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung – ihre Errichtung, ihr Betrieb ebenso wie wesentliche Änderungen – sind als ortsfeste Abfallbeseitigungsanlagen grundsätzlich genehmigungsbedürftig (nach 4. BImSchV [16]) und unterliegen dem förmlichen Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [17], das die Pflichten der Betreiber derartiger genehmigungsbedürftiger Anlagen festlegt.

Für die Begrenzung der Emissionen von Abfallverbrennungsanlagen ist neben den allgemeinen Bestimmungen des BImSchG insbesondere die 17. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (17. BImSchV) [8] relevant.[10] Seit dem 1. Dezember 1996 müssen alle Anlagen die Anforderungen der 17. BImSchV (s. Tabelle A-10) grundsätzlich erfüllen (§ 17 Abs. 2) und alle in Deutschland eingesetzten Verfahren zur thermischen Abfallbehandlung können die vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte einhalten bzw. zum Teil auch deutlich unterschreiten.

---

[9] Eine umfassende Betrachtung der thermischen Abfallbehandlung wurde in der Studie „Bewerten von thermischen Abfallbehandlungsanlagen – Planung, Genehmigung, Konzept und Betrieb“ vorgenommen [15]

[10] Darüber hinaus sind sowohl für bestehende als auch für neue Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle EG-Richtlinien in Kraft (89/369/EWG [18], 89/429/EWG [19]), die derzeit überarbeitet werden. Der aktuelle Entwurf der EU-Richtlinie über die Verbrennung von Abfällen [20], die auch die Verbrennung von gefährlichen Abfällen einschließen soll, orientiert sich bei den Emissionsgrenzwerten weitgehend an der 17. BImSchV.

Für eine Bewertung der Anlagenkonzepte sind aber nicht nur die Schadstoffkonzentrationen in der Abluft, sondern auch die Abgasvolumenströme (s. Tabelle 6.2–1) wichtig, da zum einen mit steigender Abgasmenge der Reinigungsaufwand größer und damit auch kostenträchtiger wird und zum anderen die Umweltwirkungen von den Gesamtemissionen (Frachten) bestimmt werden. Hinsichtlich der Abgasvolumenströme sind Kombinationsverfahren tendenziell günstiger.

Tabelle 6.2–1: Spezifische Abgasvolumenströme von verschiedenen thermischen Abfallbehandlungsverfahren nach [15]

	Rost-feuerung	Wirbelschicht (ZWS) [3]	Schwel-Brenn-Verfahren	Thermoselect-Verfahren	RCP-Verfahren
Synthesegas [1] in m³/t (i. N.) [2]	-	-	-	1.350 (890)	-
spezifisches Abgasvolumen in m³/t (i. N.) [2]	4.000 - 5.500	ca. 4.000	3.500 - 4.200	2.400 - 3.450 [4]	ca. 3.100

[1] Syntheserohgas (in Klammern Synthesereingas)
[2] i. N. = im Normzustand, d.h. bei 0 °C bzw. 273,15 K und 1,013 bar
[3] Zirkulierende Wirbelschicht der Lurgi Umwelt GmbH
[4] unter Berücksichtigung des Luftvolumens für die Synthesegasverbrennung (Rostfeuerung ohne bzw. mit Einschmelzung: 5.100 bzw. 5.300 m³/t Abfall)

In der 17. BImSchV sind neben den zulässigen Emissionsgrenzwerten auch Anforderungen an die Feuerung[11] definiert. Ein weiterer Rückgang der Abfallmengen, insbesondere durch die energetische Verwertung von heizwertreichen Abfallfraktionen, könnte den Heizwert des Restabfalls so stark absinken lassen, daß der Einsatz von Stützfeuerungen notwendig wird, um die vorgeschriebene Verbrennungstemperatur einzuhalten. Ein zu starkes Umlenken heizwertreicher Abfallbestandteile in andere Verwertungspfade könnte so den verstärkten Einsatz anderer Primärbrennstoffe (Erdöl, Erdgas) in Müllverbrennungsanlagen erforderlich machen und die Ziele der Kreislaufwirtschaft konterkarieren.

Auch für die Rückstände aus der thermischen Abfallbehandlung gilt der im KrW-/AbfG festgelegte Vorrang der Verwertung vor der Beseitigung (§ 5 BImSchG [17]). Für die Verwertung von Schlacken gibt es wichtige Merkblätter und Richtlinien von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen und von einzelnen Bundesländern. Allerdings existiert bislang noch keine verbindliche, länderübergreifende Regelung. Umstritten, obwohl immer häufiger praktiziert, ist die Verwertung der Rückstände im Bergbau (s. Kapitel 5.2).

[11] Mindesttemperatur 850 °C und 2 Sekunden Verweilzeit bei einem Sauerstoffgehalt von mindestens 6 Vol.-%

Tabelle 6.2–2: Menge und Entsorgungsmöglichkeiten von festen Prozeßrückständen und Rückständen der Abgasreinigung nach [15]

	Rostfeuerung	Wirbelschicht (ZWS) [1]	Schwel-Brenn-Verfahren	Thermoselect-Verfahren	RCP-Verfahren
Rückstand [2]	ca. 29-35 Gew.-%	ca. 30-37 Gew.-%	ca. 30 Gew.-%	ca. 30 Gew.-%	ca. 26 Gew.-%
Rückstandsart	Schlacke (trocken)	Grob- und Feinasche	Granulat; Inertien (Glas, Steine)	Granulat	Granulat
Menge	220-250 kg/t	250-300 kg/t	170 + 50 kg/t	230 kg/t	205 kg/t
Entsorgung	nach Aufbereitung verwertbar	direkt verwertbar	direkt verwertbar	direkt verwertbar	direkt verwertbar
Rückstandsart	Kessel- und Filterstaub; Schlamm	Flugasche	Kessel- und Filterstaub	-	Kessel- und Filterstaub
Menge	17-32 + 3 kg/t	3-8 kg/t	-	-	-
Entsorgung	Sonderabfall	Sonderabfall	prozeßinterne Einschmelzung	-	saure Extraktion (intern)
Rückstandsart	FE- und NE-Metalle	FE- und NE-Metalle	FE- und NE-Metalle	Metalllegierung	Metalllegierung
Menge	30-35 kg/t	30-35 kg/t	45 kg/t	30 kg/t	6 kg/t
Entsorgung	direkt verwertbar	direkt verwertbar	direkt verwertbar	metallurgisch verwertbar	direkt verwertbar
Rückstandsart	-	-	Schwermetallkonzentrat	Metallfällungsprodukt; Mischsalz	Schwermetallkonzentrat
Menge	-	-	1-3 kg/t	8 + 12 kg/t	18 kg/t
Entsorgung	-	-	Sonderabfall	Sonderabfall	direkt verwertbar
Rückstandsart	Salze der Rauchgasreinigung bzw. Salzsäure, Gips [3]	Salze der Rauchgasreinigung bzw. Salzsäure, Gips [3]	Salzsäure, Gips	Schwefelkuchen; Mineralstoff/Quench- und Kohlenstoffschlamm	Filterkuchen (aus saurer Extraktion und Rauchgaswäsche)
Menge	15-30 kg/t	15-30 kg/t	27-33 kg/t	2 + 20 kg/t	35 kg/t
Entsorgung	Sonderabfall bzw. direkt verwertbar	Sonderabfall bzw. direkt verwertbar	direkt verwertbar	aufbereitungsfähig bzw. intern verwertbar	Deponie der Klasse II

[1] Lurgi Umwelt GmbH [2] einschl. Rauchgasreinigungsrückstand [3] nur bei wenigen Anlagen realisiert

Prinzipiell erzeugen sämtliche thermische Verfahren zur Restabfallbehandlung Rückstände in etwa der gleichen Menge. Dabei handelt es sich einerseits um die inerten festen Rückstände, die direkt aus dem Prozeß anfallen, und zum anderen um Stoffe, die im Rahmen der nachgeschalteten Prozeßstufen, wie der Rauchgas- bzw. Gasreinigung und der Prozeßwasseraufbereitung, als in der Regel feste Rückstände (abwasserfreier Betrieb) entstehen. Bei den neuen thermischen Behandlungsverfahren und insbesondere bei den Vergasungsverfahren fallen infolge des unterstöchiometrischen Sauerstoffeintrags weitere verschiedene Reststoffe wie Salze, Schlämme und Schwefel an.

Die verschiedenen Rückstände, Rückstandsmengen und entsprechende Verwertungspfade sind gemäß Angaben der Systemanbieter in Tabelle 6.2–2 aufgezeigt, die dort angegebenen Werte beruhen zum Teil auf den bisherigen Erfahrungen mit Pilot- bzw. Versuchsanlagen.
Der mengenmäßig größte Anteil am Rückstand (Schlacke) kann – nach einer künstlichen Alterung – zu einem Großteil z.B. im Straßenbau verwertet werden und muß daher nicht deponiert werden. Allerdings muß ein – wenn auch kleiner – Teil der Rückstände (z.B. Filterstäube, Salze, Reaktionsprodukte) als Sonderabfall untertägig entsorgt werden. Beispielhaft werden in Tabelle 6.2–3 Aufkommen und Entsorgungswege von Schlacke, Filterstäuben und Reaktionsprodukten der Müllverbrennungsanlage in Stuttgart aufgezeigt.

Tabelle 6.2–3: Sekundärrückstände und Entsorgungswege der Abfallverbrennungsanlage (AVA) Stuttgart-Münster im Jahr 1995 [21]

Sekundärrückstände	Aufkommen 1995 [1)]	Entsorgungswege 1995
Schlacke	56.150 t (ca. 23,5 %)	Ca. 97 % der Schlacke wurden per Schiff nach Nordrhein-Westfalen transportiert, dort aufbereitet und – bis auf ca. 1.620 t (2,9 %) – als Baustoff im Straßen-, Tief- und Deponiebau verwertet. Aus der Schlacke wurden außerdem ca. 4.210 t Schrott (7,5 %) einer Verwertung zugeführt. Die restlichen 3 % wurden im Deponiebau in Baden-Württemberg eingesetzt.
Filterstaub (Flugasche)	5.700 t (ca. 2,4 %)	Verwertung unter Tage im Salzbergwerk Kochendorf/Bad Friedrichshall [2)]
Reaktionsprodukte aus der Rauchgaswäsche (RWA-Salz)	2.700 t (ca. 1,1 %)	Verwertung unter Tage im Salzbergwerk Kochendorf/Bad Friedrichshall [2)]

1) In Klammern: prozentualer Anteil an der verbrannten Restabfallmenge (1995: 239.390 t)
2) Filterstaub, RWA-Salz und Zement werden im Verhältnis 2:1:1 mit Sole aus dem Bergwerk angerührt und in sogenannte Big Bags (ca. 1,5 m^3 Fassungsvermögen) gefüllt, wo sie aushärten und anschließend in die durch Abbau entstandenen Hohlräume eingebaut werden.

Die Behandlungskosten der thermischen Abfallbehandlung konnten in neu errichteten Anlagen durch den Preisverfall und die konsequente Auslegung auf die Energienutzung im Durchschnitt auf Werte um ca. 300 DM/t und darunter gesenkt werden [22]. Allerdings birgt der hohe Fixkostenanteil von über 50 % das Risiko, daß bei einer Minderauslastung die Behandlungskosten sehr schnell ansteigen.

Insgesamt sind die heute eingesetzten Anlagenkonzepte im wesentlichen vergleichbar. Die Rückstandsmengen an mineralischen Reststoffen sind bei allen Verbrennungsverfahren in etwa gleich, die Menge und die Zusammensetzung der Reststoffe aus der Rauchgas- bzw. Gasreinigung hängen vom gewählten Reinigungsverfahren und nicht von der Verbrennungstechnologie ab. Die größten Unterschiede existieren derzeit in der fehlenden Erfahrung mit den neuen Kombinationsverfahren, die ihre Verfügbarkeit und Dauerbetriebsfähigkeit noch unter Beweis stellen müssen.

6.2.2 Mechanisch-biologische Abfallbehandlung

Bei mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) wird eine biologische Behandlung mit weiteren Verfahrungsschritten kombiniert. Je nach Abfallzusammensetzung (insbesondere bei Sperrmüll und Gewerbeabfällen) muß vor der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung eine Störstoffauslese (ca. 3–5 Gew.-%) und eine Vorzerkleinerung erfolgen, bei der sperrige Abfälle oder den Verfahrensablauf behindernde Gegenstände zerkleinert bzw. aussortiert werden.
Der Aufbau der Anlagen hängt weniger von der biologischen Behandlungstechnik ab, als von der mit den Anlagen verfolgten Zwecken, die unter drei wichtige Ziele zusammenfassen lassen (s. Anhang B):

- MBA zur Ablagerung,
- MBA mit stoffstromspezifischer Vorbehandlung und
- MBA zur Heizwertsteigerung (für eine anschließende energetische Verwertung).

Bei MBA lassen sich offene und geschlossene Anlagen unterscheiden. Die ersten MBA wurden bereits in den 70er Jahren zur Vorbehandlung bzw. Verringerung der zu deponierenden Abfallmengen in Betrieb genommen, allerdings noch mit einem geringen technischen Standard. Auch die derzeit großtechnisch betriebenen mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen besitzen noch überwiegend einen niedrigen technischen Stand. 11 der 19 betriebenen Anlagen sind eingehaust bzw. gekapselt, aber ledig-

lich sieben Anlagen verfügen über eine entsprechende Abluftfassung und -reinigung (s. Tabelle A–16).

Die verfahrenstechnisch hochentwickelte, gekapselte MBA mit Abluftreinigung hat sich erst in den letzten 5 Jahren durchgesetzt, gilt heute aber als Standard. Es ist davon auszugehen, daß nur geschlossene Anlagen, bei denen die geruchsintensiven Stufen – die mechanische Aufbereitung und mindestens die 1. Stufe der biologischen Behandlung – eingehaust bzw. gekapselt sind, eine Zukunft haben [23].

Auch Anlagen zur mechanisch-biologischen Behandlung von Abfällen müssen die Regelungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [17] einhalten. Umweltbeeinträchtigungen sind zu vermeiden; dies hat durch verfahrenstechnische Umsetzung der Ziele und Anforderungen aus dem KrW-/AbfG [1], der TA Siedlungsabfall [2] und der TA Luft [24] zu geschehen. Die vom KrW-/AbfG verlangte Genehmigung muß nach den Regelungen des BImSchG bzw. der 4. BImSchV erteilt werden.
Für die Zuordnung zum anzuwendenden Genehmigungsverfahren kommt es auf den Durchsatz der Behandlungsanlage an:

- Durchsatzleistung von mehr als 10 t/h bzw. 87.600 t/a – Genehmigungsverfahren nach § 10 BImSchG mit Öffentlichkeitsbeteiligung,
- Durchsatzleistung von 0,75 t/h bis weniger als 10 t/h – vereinfachtes Genehmigungsverfahren nach § 19 BImSchG,
- Durchsatzleistung kleiner als 0,75 t/h bzw. 6.570 t/a – kein Genehmigungsverfahren erforderlich.

Durch eine mechanisch-biologische Behandlung werden der Wassergehalt und die organische Trockensubstanz im Restabfall reduziert und die Abfallmenge verringert (s. Tabelle 6.2–4).

Tabelle 6.2–4: Biologischer Abbau und Mengenreduzierung durch mechanisch-biologische Restabfallbehandlung nach [25]

Behandlungsziel	Behandlungs-dauer	Wasser-gehalt	Abbau organ. TS	TS-Reduktion	Mengen-reduktion [1)]
unbehandelter Abfall	-	28-40 %	-	-	-
MBA zur Ablagerung	9-16 Wochen	25-35 %	20-40 %	12-28 %	12-43 %
stoffstromspezifische MBA	3-4 Wochen	15-18 %	20-35 %	15-25 %	25-47 %
MBA zur Heizwert-steigerung	7-10 Tage	10-15 %	2-5 %	1-4 %	14-33 %

[1)] durch Abbau organischer Stoffe und Wasseraustrag (TS = Trockensubstanz)

Die Anforderung der TA Siedlungsabfall an den Restgehalt an organischen Bestandteilen ist jedoch – gemessen als Glühverlust – nicht bzw. – gemessen als Gesamtkohlenstoffgehalt (TOC) des Trockenrückstandes – nur nach Rottezeiten von mehr als 6 Monaten einzuhalten.

Emissionspfade innerhalb der Anlagen sind der Luftpfad mit Geruchs-, Keim-, Staub- und Lärmemissionen und der Wasserpfad mit Preß-/Sickerwässern und Kondenswässern aus der Abluftbehandlung (s. Tabelle 6.2–5). Bei der Vergärung kommt zusätzlich noch Prozeßwasser dazu.

Tabelle 6.2–5: Emissionsrelevante Verfahrensschritte bei der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung nach [25]

Verfahrensschritt	Aggregat/Bauteil	Emissionen über	
		Wasser	Luft
Anlieferung	Bunker	Preß-/Sickerwasser	Geruch, Keime, Lärm, Staub
Vorbehandlung	Aufbereitung (Zerkleinerung, Siebung, Entschrottung, Mischung etc.)	Preß-/Sickerwasser, Kondenswasser aus Abluftbehandlung	Geruch, Keime, Lärm, Staub
Intensivrotte (aerob)	Reaktor, Trommel (Mieten)	Preß-/Sickerwasser, Kondenswasser	Geruch, Keime, Lärm, Staub
Intensivrotte (anaerob)	Reaktor	Überschußwasser	evtl. Geruch
Nachrotte	Mieten (evtl. eingehaust, Reaktor)	Preß-/Sickerwasser (Kondenswasser)	Geruch
Konfektionierung	Sieb, Hartstoffabscheider	keine	Geruch, Keime, Lärm, Staub
Endprodukt Kompost	Kompostlager	keine [1)]	Geruch, Staub
Endprodukt Biogas	Blockheizkraftwerk	keine	Verbrennungsabgase

[1)] sinnvollerweise überdacht zur Vermeidung von Vernässung

Durch das breite Spektrum an Stoffen in den Restabfällen ist bei der MBA eine Vielzahl von Spurenstoffen in der Abluft zu finden. Aus Screening-Untersuchungen in der Abluft von geschlossenen anaeroben und aeroben MBA's wurden über 300 organische und anorganische Substanzen identifiziert [26]. In Tabelle 6.2–6 sind die Schadgaskonzentrationen und -frachten im Rohgas einer MBA im Vergleich zu ausgewählten Grenzwerten der TA Luft aufgeführt. Dabei wird deutlich, daß die Grenzwerte der TA Luft zwar im 14-tägigen Durchschnitt eingehalten werden, jedoch aufgrund der Rohgasmaximalwerte eine Abluftreinigung unerläßlich ist. Problematisch sind dabei insbesondere die

Emissionen von organischen Stoffen sowie der flüchtigen Stickstoffverbindungen bzw. Ammoniak[12].

Tabelle 6.2–6: Mittlere Schadgaskonzentrationen im Rohgas der MBA nach [25]

	Grenzwerte der TA Luft in [mg/m³]	Durchschnittskonzentration in 2 Wochen in [mg/m³]	Ausschöpfung der Grenzwerte in [%]	ermittelte [1)] Frachten in [g/t TS]
Summe Organik Anhang E	150	79 [2)]	52	236
Krebserzeugende Stoffe Summe der Klassen 1-3	5	0,316	6,3	0,9
Schwefeldioxid	500	80	16	241
staubf. Anorganik Kl. 1 (Cd, Hg, Tl)	0,2	0,0025	1,2	0,01
staubf. Anorganik Kl. 2 (As, Co, Ni)	1,0	0,0153	1,5	0,05
staubf. Anorganik Kl. 3 (Cr, Cu, Mn, Pb, Sb, V)	5,0	0,0088	0,2	0,03
PCDD/PCDF	-	0,00000000047	-	<< 0,01
PCB (DIN)	-	0,0006	-	< 0,01
Ammoniak	-	57	-	172

1) in Versuchen ermittelt (TS = Trockensubstanz)
2) Konzentrationen im Rohgas (erste 14 Tage): Minimum 1,39 bis Maximum 463 mg/m³

Alle gekapselten biologischen Behandlungsanlagen verwenden zur Reinigung der Abgase in der Regel einen biologischer Flächenfilter (Biofilter), der in bestehenden Anlagen einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von ca. 50 % erreicht [11]. Zur Erhöhung der Reinigungsleistung und Anfeuchtung des Abgases kann ein Biowäscher vorgeschaltet werden. Dieses System erreicht nach [25] Wirkungsgrade zwischen 80 bis 99 % (s. Tabelle 6.2–7).

Zur Bewertung der luftseitigen Emissionen sind nicht nur die Emissionskonzentrationen sondern auch die durchsatzabhängigen Frachten zu betrachten (s. Tabelle 6.2–8). Je nach eingesetztem Rotteverfahren und Belüftungstechnik sind die auf den Durchsatz bezogenen Abluftmengen der MBA, die – im Gegensatz zur Müllverbrennungsanlage – nicht über einen Schornstein sondern bodennah abgeführt werden, unterschiedlich.

[12] Bei der Beratung der TA Luft (1986) war im Bundesrat eine Begrenzung der Ammoniakemissionen auf 30 mg/m³ gefordert worden. Diese Forderung wurde zunächst mit dem Auftrag an die Bundesregierung abgewehrt, Minderungstechniken zu prüfen und nach zwei Jahren Grenzwertvorschläge vorzulegen. Dieser Zeitraum ist jedoch ohne eine dementsprechende Vorlage verstrichen.

Tabelle 6.2–7: Wirkungsgrad für eine 2-stufige Abgasreinigung mit Biofilter [25]

Stoffgruppen	Filterwirkungsgrad [%]
Summe organischer Kohlenstoff (TOC)	> 85
Alkane / Terpene / Alkylacetate / Ketone	95
Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe [1)]	80-85
Geruch	95-99

[1)] z.B. BTEX-Aromaten (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole)

Bei der gekapselten Tafelmietenkompostierung mit Saug-/Druckbelüftung, die beispielsweise bei der MBA Lüneburg, Bassum und Wangerland/Wiefels anzutreffen ist, entstehen bis zu 20.000 m^3 Abluft pro Tonne eingesetztem Restabfall [11], bei intensiv belüfteter Rotte können es im Extremfall sogar bis zu 90.000 m^3/t sein [27].
Bei optimierten Belüftungsverfahren mit mehrfacher Kreislaufführung und Kühlung der Luft (z.B. Trockenstabilatanlage Aßlar) können die Abluftmengen auf 6.600-8.000 m^3 pro Tonne Restabfall reduziert werden [11].

Tabelle 6.2–8: Spezifische Abgasvolumenströme bei mechanisch-biologischen Restabfallbehandlungsverfahren nach [11][27]

	MBA zur Ablagerung	Stoffstromspezifische MBA	MBA zur Heizwertsteigerung
spezifisches Abgasvolumen	≤ 20.000 m^3/t	10.000-20.000 m^3/t	6.600-8.000 m^3/t

Hinsichtlich der Emissionsminderung auf der Abluftseite sieht das Umweltbundesamt bei den bestehenden mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen noch Optimierungsbedarf, um auch bei der Emission organischer Stoffe die Grenzwerte einhalten zu können [11]. Die bestehenden rechtlichen Anforderungen der TA Luft sind nur begrenzt auf mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen anwendbar und liegen im Anforderungsniveau deutlich unter den für Abfallverbrennungsanlagen in der 17. BImSchV geforderten Standards.

Bei biologischen Behandlungsanlagen werden in der Bevölkerung vor allem Gerüche heftig kritisiert und deshalb verstärkt in den Genehmigungsverfahren beachtet. In der intensiven Rottephase treten Geruchsemissionen mit bis zu 15.000 GE/m^3 auf. Aber auch bei der Anlieferung (bis zu 8.500 GE/m^3) und während der Nachrotte (500-5.800 GE/m^3) werden beachtliche Geruchsemissionen freigesetzt [28]. Häufig werden im Genehmigungsverfahren von behördlicher Seite Emissionsauflagen für den Biofilter erlas-

sen. Diese schreiben einen bestimmten Grenzwert an Geruchseinheiten (GE) vor (z.B. < 200 GE), der jedoch aufgrund der Meßmethodik schwierig umzusetzen ist.

Problematisch bleibt dabei die Festlegung von Geruchsschwellenwerten in den betroffenen Gebieten, da die belästigende Wirkung von Geruchsimmissionen sehr stark von der Sensibilität und der subjektiven Einstellung der Betroffenen abhängt. Die Frage, ob derartige Belästigungen als erhebliche oder gar als schädliche Umwelteinwirkung anzusehen ist, hängt u.a. von der Immissionskonzentration, der Geruchsart, der tages- und jahreszeitlichen Verteilung, der Häufigkeit der Belästigungen und der Nutzung des beeinträchtigten Gebietes ab [29].

Zur Begrenzung der Geruchsemissionen hat der Länderausschuß für Immissionsschutz aufgrund mangelnder Regelungen in der TA Luft und sonstiger Bundesvorschriften die Anwendung der Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL) empfohlen. Diese enthält von der Wohnbebauung abhängige Grenzwerte (s. Tabelle 6.2–9) für die Anzahl der Geruchsstunden, die einer Anlage zweifelsfrei zuzurechnen sind [29]. Geruchsimmissionen, die nach GIRL (Nr. 4.6) ermittelt wurden und die diese Grenzwerte überschreiten, sind als erhebliche Belästigungen zu werten.

Tabelle 6.2–9: Geruchsimmissionswerte für verschiedene Baugebiete nach GIRL

Wohn-/Mischgebiete	Gewerbe-/Industriegebiete
0,10 *	0,15 *

* relative Häufigkeiten der Geruchsstunden

Je nach Zielstellung der mechanisch-biologische Abfallbehandlung verbleibt eine unterschiedliche Menge an Rotterückstand bzw. Restschlamm, der deponiert wird (s. Tabelle 6.2–10). Durch mechanische Aufbereitung des Restabfalls bzw. des Rotterückstands läßt sich eine hochkalorische Fraktion (ca. 20-35 Gew.-% [30]) mit einem Heizwert H_u von ca. 20.000-30.000 kJ/kg [11] abtrennen, die damit im Bereich von Braunkohlenbriketts liegt und energetisch verwertet werden kann [31].

Bei der Trockenstabilisierung von Restabfall wird durch biologischen Abbau und Entzug von Wasser (ca. 30 Gew.-% [37]) der Heizwert auf ca. 15.000-18.000 kJ/kg [37] erhöht, wodurch auch die energetische Verwertung des resultierenden Trockenstabilats (ca. 50 Gew.-%) zulässig wird [32].

Tabelle 6.2–10: Menge und Entsorgung von MBA-Rückständen nach [33][34]

	MBA zur Ablagerung [1)]	Stoffstromspezifische MBA [2)]	MBA zur Heizwertsteigerung [3)]
Verfahrensziel	Biologische Stabilisierung zur Deponierung	stoffstromspezifische Behandlung	Heizwertsteigerung durch biologische Trocknung
Reduzierung der zu deponierenden Menge	ca. 20 %	ca. 66 %	ca. 99 %
Rückstandsart	-	Leichtfraktion> 80 mm (hs. Kunststoffe, PPK, Textilien)	hochkalorische Fraktion (Trockenstabilat, Wassergehalt < 15 %)
Menge	-	ca. 330 kg/t	ca. 500 kg/t
Entsorgung	-	stoffliche bzw. energetische Verwertung oder thermische Behandlung	energetische Verwertung
Rückstandsart	Eisenmetalle	Eisenmetalle	Eisen- und NE-Metalle
Menge	ca. 10 kg/t	ca. 10 kg/t	ca. 50 kg/t
Entsorgung	stoffliche Verwertung	stoffliche Verwertung	stoffliche Verwertung
Rückstandsart	-	Leichtfraktion> 40 mm (hs. Kunststoffe, PPK, Textilien)	gereinigtes Schwergut (hs. Steine, Glas, Keramik)
Menge	-	ca. 50 kg/t	ca. 140 kg/t
Entsorgung	-	stoffliche bzw. energetische Verwertung oder thermische Behandlung	stoffliche Verwertung als Bauzuschlagsstoff oder im Straßenbau
Rückstandsart	Rotterückstand	Rotterückstand (< 40 mm)	Restschlamm
Menge	ca. 800 kg/t	ca. 340 kg/t	ca. 0,5-1 kg/t
Entsorgung	Deponierung	Deponierung	thermische Behandlung, Deponierung

1) am Bsp. MBA Friesland/Wittmund nach [33]
2) am Bsp. MBA Diepholz (RABA Bassum) nach [33]
3) am Bsp. Trockenstabilatanlage Aßlar nach [34]

In der Studie „Kostenstrukturuntersuchung von Abfallbeseitigungsverfahren“ im Auftrag des Umweltbundesamtes [13] werden für die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen Behandlungskosten (ohne Entsorgung der Behandlungsrückstände) – abhängig vom Behandlungsziel und der Anlagengröße – in der Höhe von 54-103 DM/t

angegeben (s. Tabelle A–17). Das Umweltbundesamt nennt im sogenannten MBA-Bericht [11] geringfügig höhere Behandlungskosten für verfahrenstechnisch aufwendigere MBA-Konzepte, bei denen die emissionsrelevanten Anlagenbereiche gekapselt bzw. eingehaust sind und die Abluft mittels Biofilter gereinigt wird (s. Tabelle 6.2–11). Bei diesen Anlagen liegt der Anteil der Fixkosten – ähnlich wie bei den Müllverbrennungsanlagen – bei ca. 80 %. Minderauslastungen führen daher auch hier zu einem signifikanten Anstieg der spezifischen Behandlungskosten.

Tabelle 6.2–11: Kosten der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (ohne Kosten/Erlöse der Teilströme) nach [35][36][37]

Durchsatz	Investition	Jährliche Gesamtkosten	Fixkostenanteil	Spezifische Behandlungskosten
Bsp. für MBA zur Ablagerung (MBA Friesland/Wittmund) [1)]				
61.000 t/a	16 Mio. DM	3.020.000 DM	ca. 57 %	50 DM/t
Kostenschätzung für stoffstromspezifische MBA (Neuanlage) [2)]				
100.000 t/a	43,5 Mio. DM	8.967.000 DM	80 %	90 DM/t
150.000 t/a	60,2 Mio. DM	12.503.000 DM	79 %	83 DM/t
200.000 t/a	77,3 Mio. DM	16.080.000 DM	78 %	80 DM/t
Bsp. für stoffstromspezifische MBA (MBA Lüneburg) [3)]				
29.000 t/a	22 Mio. DM	4.872.000 DM	ca. 66 %	168 DM/t
Kostenschätzung für MBA zur Heizwertsteigerung (Neuanlage) [4)]				
100.000 t/a	14,7 Mio. DM	4.443.000 DM	60 %	44 DM/t
150.000 t/a	17,0 Mio. DM	5.718.000 DM	54 %	38 DM/t
200.000 t/a	19,7 Mio. DM	7.032.000 DM	51 %	35 DM/t
Bsp. für MBA zur Heizwertsteigerung (Trockenstabilatanlage Aßlar) [5)]				
120.000 t/a	55 Mio. DM	13.320.000 DM	k. A.	111 DM/t

1) Eingehauste mechanische Aufbereitung und Intensivrotte (Dauer 14 Tage) mit Abluftreinigung (Wäscher/Biofilter), offene Nachrotte (Mieten) auf der Deponie (Dauer bis 30 Wochen) nach [35]
2) Rottezeit 12 Wochen, Einhausung der emissionsrelevanten Anlagenbereiche mit Abluftreinigung nach [36]
3) Eingehauste mechan. Aufbereitung und Rotte (Dauer 16 Wochen) mit Abluftreinigung (Wäscher/Biofilter), Abtrennung einer heizwertreichen Fraktion (> 100 mm) zur therm. Behandlung oder energ. Verwertung nach [35]
4) Rottezeit 10 Tage, Einhausung der emissionsrelevanten Anlagenbereiche mit Abluftreinigung nach [36]
5) Eingehauste Aufbereitung und biologische Trocknung (Dauer 7 Tage) mit Abluftreinigung (Umluftbetrieb mit Kondensatabscheidung und –aufbereitung, Biofilter) nach [37]

Die spezifischen Gesamtkosten, d.h. die Behandlungskosten einschl. Ablagerung und Entsorgung der heizwertreichen Fraktion, werden für bestehende mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen mit 210-250 DM/t angegeben. Wenn erhöhte Anforderungen an die Emission von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen gestellt werden, was z.B. eine Ausstattung mit Wäscher, Biofilter und nachgeschalteter

Aktivkohleadsorption erfordern könnte, dann würden sich die Behandlungskosten nach grober Schätzung um ca. 30-50 DM/t erhöhen.

Insgesamt läßt sich feststellen, daß künftig nur noch technisch anspruchsvolle Anlagenkonzepte mit eingehauster Aufbereitungs- und Rottetechnik sowie einer entsprechenden Abluftreinigung genehmigungsfähig sein werden, d.h. MBA-Konzepte müssen sich auf eine stoffstromspezifische Behandlung oder eine Heizwertsteigerung zur energetischen Verwertung ausrichten.
Defizite existieren derzeit noch bei der großtechnischen Erfahrung mit großdimensionierten technisch anspruchsvolleren Anlagenkonzepten, die ihre Verfügbarkeit und Dauerbetriebsfähigkeit noch unter Beweis stellen müssen. Inwieweit sich dabei die biologische Trocknung etablieren kann, bleibt nach wie vor offen, da aufgrund des derzeit niedrigeren Umweltstandards bei der energetischen Verwertung in Industrieanlagen und der entstehenden Kosten für eine künftig notwendige Nachrüstung zur Einhaltung der 17. BImSchV – wie vom BMU gefordert [7] – keine deutlichen Vorteile erkennbar sind. Die Chancen könnten jedoch steigen, wenn das Verfahren mit den neuen Möglichkeiten automatischer Sortierverfahren kombiniert werden kann und dann die Vorteile der besseren Sortierbarkeit des Trockenstabilats in Verbindung mit einer Vereinfachung der Getrenntsammlung ausspielen kann.

6.3 Deponierung von Abfällen

Bis in die 60er Jahre wurden Abfälle im wesentlichen auf ungeordneten Deponien – Müllkippen – beseitigt. Da die möglichen Umweltauswirkungen einer unsachgemäßen Ablagerung von Abfällen inzwischen bekannt geworden waren, wurde mit dem 1972 in Kraft getretenen Abfallgesetz angestrebt, die zahlreichen Müllkippen durch geordnete Deponien zu ersetzen. In der Folgezeit wurden die Anforderungen an Deponien zunehmend detailliert und verschärft. Wichtige Schritte stellten das Deponiemerkblatt M3 der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) [38] im Jahr 1979 oder die Richtlinie zur Deponiebasisabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen des Landesamtes für Wasser und Abfall in Nordrhein-Westfalen [39] im Jahr 1985 dar.

Seit 1991 ist für die Deponierung von Abfällen bundesweit die TA Siedlungsabfall [2] als Prüfungs- und Entscheidungsgrundlage für die Vollzugsbehörden maßgebend. Sie fordert für die bestehenden Deponien nachträgliche Maßnahmen zur Anpassung an die neuen Anforderungen bezüglich Stabilität, Betrieb, Deponiegas- und Sickerwassererfas-

sung, die bis zum Jahr 1995 umgesetzt werden mußten und sie verlangt, daß nach dem Jahr 2005 Abfälle nur noch dann abgelagert werden dürfen, wenn sie im Anhang B die festgelegten Zuordnungskriterien (s. Kapitel 6.1) erfüllen.
Für Einrichtung und Bau von Deponien schreibt die TA Siedlungsabfall das sogenannte Multibarrierenkonzept [40] fest, mit dessen Hilfe das Erreichen der Schutzziele nach § 10 Abs. 4 KrW-/AbfG-/AbfG sichergestellt werden soll.

Dieses Multibarrierenkonzept umfaßt Anforderungen an die Abfallvorbehandlung, an die Geologie und Hydrogeologie des Standortes, an die Deponiebasisabdichtung mit Sickerwassererfassung und -behandlung, an den Deponiekörper, an die Oberflächenabdichtung und die Erfassung des Niederschlagswassers sowie an die Nachsorge, Kontrollierbarkeit und Reparierbarkeit der Barrieren [41].

Mit in Kraft treten der TA Abfall und der TA Siedlungsabfall wurden eine einheitliche Klassifizierung für Deponien und die zugeordneten Anforderungen an die deponierbaren Stoffe (s. Tabelle 6.1–1 in Kapitel 6.1) verbindlich festgelegt, die nach Ablauf der Übergangsfrist bis zum Jahr 2005 zu einer Reduzierung auf künftig sechs Deponiearten führen werden. Für Siedlungsabfälle sind dies Deponien der Deponieklasse I der Deponieklasse II und Monodeponien für Siedlungsabfälle.[13]
Zum gegenwärtigen Zeitpunkt existiert noch eine Vielzahl von Deponiearten, die sich anhand der abzulagernden Abfälle und deren Gefährdungspotential einteilen lassen. Die Einteilung ist dabei von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich.

Seit dem Inkrafttreten der TA Siedlungsabfall wurden nur wenig neue Deponien eingerichtet; es wurden vor allem Altdeponien erweitert (s. Tabelle 6.3–1).

Tabelle 6.3–1: Neue Deponien oder Deponieerweiterungen in Deutschland seit Inkrafttreten der TA Siedlungsabfall (Stand 1995 [23])

	neue Deponien		**Erweiterung von Altdeponien**	
	Deponieklasse I	Deponieklasse II	Deponieklasse I	Deponieklasse II
Planung	7 (5)	10 (6)	1 (1)	10 (3)
Bau	2 (2)	2 (2)	0	5 (1)
Betrieb	2 (2)	1 (1)	0	11 (7)

(in Klammern: Anteil in den neuen Bundesländern)

[13] Weitere Deponiearten sind die Obertägige Sonderabfalldeponie, Obertägige Monodeponie für Sonderabfälle und die Untertagedeponie für Sonderabfälle

Für den künftigen Ausbau von Deponien sind das Ende der Übergangsfrist nach der TA Siedlungsabfall und Länderregelungen bestimmend. Planungen zur Erweiterung einer bestehenden bzw. zum Neubau einer Deponie werden erforderlich, wenn das Deponierestvolumen nur noch für einen Ablagerungszeitraum von 6 bis 10 Jahren (abhängig von Länderregelungen) ausreicht und damit die Entsorgungssicherheit nicht mehr gewährleistet ist [42].
Wenn man zur Berechnung der Restlaufzeiten die Entsorgungssituation im Jahr 1993 zugrundelegt und annimmt, daß die Menge der abzulagernden Abfälle und die Deponiekapazität konstant bleiben, so ergeben sich die in Tabelle 6.3–2 geschätzten Restlaufzeiten für die bestehenden Deponien in den einzelnen Bundesländern.

Tabelle 6.3–2: Anzahl der Hausmülldeponien differenziert nach Restlaufzeiten (bei gleichbleibenden abzulagernden Abfallmengen) nach [42]

Stand 1995	unter 3 Jahre	3 bis 5 Jahre	6 bis 10 Jahre	11 bis 20 Jahre	über 20 Jahre	Gesamt
Baden-Württemberg	10	15	17	14	7	63
Bayern	13	18	15	4	5	55
Brandenburg	14	28	14	3	2	61
Hessen	5	2	4	4	4	19
Mecklenburg-Vorpommern	10	27	13	3	2	55
Niedersachsen	7	4	6	13	16	46
Nordrhein-Westfalen	11	6	6	14	6	43
Rheinland Pfalz	6	2	5	6	8	27
Saarland	0	0	1	1	1	3
Sachsen	29	20	9	7	0	65
Sachsen-Anhalt	12	28	8	3	3	54
Schleswig-Holstein	0	3	2	3	1	9
Thüringen	16	14	11	5	3	49
Gesamt	133 24 %	167 30 %	111 20 %	80 15 %	58 11 %	549 100 %

Demnach befanden sich 1995 über 50 % der Deponien im kritischen Bereich der Entsorgungsicherheit, in dem Planungen für die Deponieerweiterung oder einen Deponieneubau erforderlich werden.
Vor dem Hintergrund der rückläufigen Deponiemengen (s. Kapitel 1) zeigt das die bestehende Planungsunsicherheit, die auch vom Umweltbundesamt [23] kritisch gesehen wird: „Der Weiterbetrieb von Altdeponien und die Erfüllung der Anforderungen für die Nachrüstung der Altdeponien sowie die Ausnutzung der Übergangsfristen für die Abla-

gerung von Abfällen, die nicht den Zuordnungskriterien des Anhanges B (der TA Siedlungsabfall) entsprechen, erscheint den meisten entsorgungspflichtigen Körperschaften offenbar vorteilhafter und einfacher als die Planfeststellungsverfahren für neue Deponien. Wenn man die betriebswirtschaftlichen Konsequenzen für einen Deponiebetreiber bzw. eine entsorgungspflichtige Körperschaft bedenkt, die ihre Altdeponie halbleer stillegen sollen, obwohl sie die Verfüllung in der Gebührenrechnung zur Grundlage gemacht haben, ist das verständlich. Es ist darüber hinaus verständlich, wenn man berücksichtigt, daß die Bürger auch die Errichtung neuer Deponien mit allen ihnen zur Verfügung stehenden Mitteln verhindern wollen, weil sie Beeinträchtigungen durch die Deponien und den Anlieferverkehr annehmen. Es ist zu befürchten, daß auch die Planfeststellungsverfahren für neue Deponien nach den Anforderungen der TA Siedlungsabfall nicht einfach werden. Deshalb ist der Umgang mit dem verfügbaren, geeigneten Deponievolumen von größter Bedeutung."

Kosten für die Deponierung von thermisch und mechanisch-biologisch behandelten Abfälle werden in der Studie „Kostenstrukturuntersuchung von Abfallbeseitigungsverfahren" im Auftrag des Umweltbundesamtes [13] angegeben (s. Tabelle 6.3–3).
Bei dieser modellhaften Betrachtung wird von einer Neuanlage ausgegangen, die 20 Jahre lang betrieben und für die für weitere 20 Jahre die behördlich geforderte Nachsorge geleistet wird. Allerdings weichen diese Zahlen erheblich von Angaben zu Kosten bestehender Deponien ab. Mit dem Hinweis auf kostendeckenden Betrieb werden für bestehende Deponien Kosten in der Höhe von durchschnittlich 200 DM/t [22] bzw. 150-250 DM/t [43] angeben.

Tabelle 6.3–3: Spezifische Kosten der Deponierung (Neuanlagen) in Abhängigkeit von Ablagerungsmenge, Basis- und Oberflächenabdichtung [30]

Deponie	50.000 t/a	100.000 t/a	150.000 t/a	300.000 t/a
Klasse I				
mit geol. Barriere	93 DM/t	-	49 DM/t	-
unzureich. geol. Barriere [1)]	105 DM/t	-	55 DM/t	-
Klasse II (o. Gasfassung) [2)]				
mit geol. Barriere	105 DM/t	-	56 DM/t	-
unzureich. geol. Barriere [1)]	128 DM/t	-	67 DM/t	-
Klasse II (mit Gasfassung) [2)]				
mit geol. Barriere	99 DM/t	66 DM/t	54 DM/t	40 DM/t
unzureich. geol. Barriere [1)]	121 DM/t	78 DM/t	65 DM/t	47 DM/t

[1)] zur Verbesserung der geologischer Barriere wird eine homogene Ausgleichsschicht aufgebracht
[2)] ohne/mit Gasfassung: unterschiedliche Sickerwasserbehandlung und Entsorgung der Rückstände

6.4 Literaturverzeichnis zu Kapitel 6

[1] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG) vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705), zuletzt geändert am 25. August 1998 (BGBl. I S. 2455)

[2] Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall). Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14. Mai 1993 (BAnz. vom 29. Mai 1993, S. 4967, mit Beilagen)

[3] Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall) Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen vom 12. März 1991 (GMBl S. 138)

[4] Friedrich, R.; Fricke, K.: Gleichwertigkeitsnachweis nach Ziffer 2.4 TA Siedlungsabfall für die Ablagerung mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 110, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1998

[5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (WA II 6): Bericht der Bundesregierung zur TA Siedlungsabfall – Bundesregierung lehnt Aufweichung der Umweltstandards ab. Umwelt (1996) Nr. 2, S. 74-75

[6] Text der Koalitionsvereinbarung zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands und Bündnis 90/Die GRÜNEN vom 20. Oktober 1998

[7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): BMU legt Eckpunkte für die Zukunft der Entsorgung von Siedlungsabfällen vor. Pressemeldung vom 20. August 1999

[8] Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe – 17. BImSchV) vom 23. November 1990 (BGBl. I S. 2545, 2832), zuletzt geändert durch Verordnung vom 23. Februar 1999 (BGBl. I S. 186)

[9] Müller, W.; Fricke, K.; Lechner, P.; Doedens, H.: Prüfmethoden zur Beschreibung der biologischen Stabilität. In: BWK-Arbeitsgruppe „Restabfallbehandlung“ Bilitewski, B.; Stegmann, R. et al. (Hrsg.): Mechanisch-biologische Verfahren zur stoffspezifischen Abfallbeseitigung. Beihefte zu Müll und Abfall Nr. 33, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1997

[10] Fricke, K.; Müller, W.; Bidlingmaier, W.; Stegmann, R.; Friedrich, R.: Methodische Ansätze zum Gleichwertigkeitsnachweis nach Ziffer 2.4 TASi für den KAEV Niederlausitz. In: Stegmann, R.; Rettenberger, G. (Hrsg.): Entwicklungstendenzen in der Deponietechnik. Hamburger Berichte Nr. 12 „Abfallwirtschaft“, Technische Universität Hamburg-Harburg, Economica Verlag, Bonn 1998

[11] Umweltbundesamt (Hrsg.): Bericht zur Ökologischen Vertretbarkeit der mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Restabfällen einschließlich deren Ablagerung. UBA, Berlin, Juli 1999

[12] Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien (ABl. Nr. L 182 vom 16. Juli 1999, S. 1)

[13] Auksutat, M.; Löffler, R.: Kostenstrukturuntersuchung von Abfallbeseitigungsverfahren. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Reihe Texte 30/98, Berlin 1998

[14] Doedens, H.; Cuhls, C.: Emissionen bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung – Parameter, Meßtechnik und Bewertung. In: Wiemer, K.; Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Restabfallbehandlung III – biologisch, mechanisch, thermisch. M. I. C. Baeza-Verlag, Witzenhausen, 1999

[15] Kaimer, M.; Schade, D. (Hrsg.): Bewerten von thermischen Abfallbehandlungsanlagen – Planung, Genehmigung, Konzept und Betrieb. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 111, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1998

[16] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997 (BGBl. I S. 504), zuletzt geändert durch Verordnung vom 19. März 1997 (BGBl. I S. 545)

[17] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1990 (BGBl. I S. 880), zuletzt geändert am 17. März 1998 (BGBl. I S. 502)

[18] Richtlinie 89/369/EWG des Rates über die Verhütung der Luftverunreinigung durch neue Verbrennungsanlagen für Siedlungsmüll vom 8. Juni 1989 (ABl. Nr. L 163 vom 14. Juni 1989, S. 32)

[19] Richtlinie 89/429/EWG des Rates über die Verringerung der Luftverunreinigung durch bestehende Verbrennungsanlagen für Siedlungsmüll vom 21. Juni 1989 (ABl. Nr. L 203 vom 15. Juli 1989, S. 50)

[20] Kommission der europäischen Gemeinschaft: Geänderter Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über die Verbrennung von Abfällen. KOM (1999) 105 endg. vom 12. Juli 1999

[21] Landeshauptstadt Stuttgart (Hrsg.): Abfallwirtschaftskonzept 1996 der Landeshauptstadt Stuttgart. Stuttgart, November 1996

[22] Anonym: Blick über den Rand der Deponie – Die derzeitige Situation in der Abfallentsorgung. BWK/TÜ/Umwelt-Special Oktober 1998, S. S1-S6

[23] Umweltbundesamt (Hrsg.): Jahresbericht 1995. UBA, Berlin 1996

[24] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 27. Februar 1986 (GMBl. S. 95), berichtigt am 4. April 1986 (GMBl. S. 202)

[25] Fricke, K.; Müller, W.; Turk, M.; Wallmann, R.: Stand der Technik der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung. In: BWK-Arbeitsgruppe „Restabfallbehandlung“ Bilitewski, B.; Stegmann, R. et al. (Hrsg.): Mechanisch-biologische Verfahren zur stoffspezifischen Abfallbeseitigung. Beihefte zu Müll und Abfall Nr. 33, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1997

[26] Doedens, H.; Grieße, A.; Düllmann, H.: Technische Mindestanforderungen an mechanisch-biologische Anlagen sowie an zugehörige Ablagerung unter Einhaltung der Schutzziele der TASi. In: Dohmann, M. (Hrsg.): Verwertung organischer Abfälle - Mode oder nachhaltige Lösung? Tagungsband des 10. Aachener Kolloquiums Abfallwirtschaft, Reihe Abfall - Recycling - Altlasten Band 14, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, 1997

[27] Zeschmar-Lahl, B; Lahl, U.: Behandlung von Restabfällen umstritten. Plädoyer für eine Rückbesinnung auf die Schutzziele der TA Siedlungsabfall. Umwelt **26** (1996) Nr. 3, S. 38-41

[28] Tabasaran, O. (Hrsg.): Abfallwirtschaft, Abfalltechnik: Siedlungsabfälle. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1994

[29] Jost, D.: Die neue TA Luft (Loseblattsammlung). WEKA Fachverlag für technische Führungskräfte GmbH, Augsburg, Stand Dez. 1997

[30] Fricke, K.; Müller, W.; Kölbl, R.; Turk, T.; Gauser, G.: Mechanisch-biologische Restmüllbehandlung am Beispiel der Anlage Quarzbichel. Entsorgungspraxis **13** (1995) Nr. 10, S. 28- 37

[31] Franke, J.; Fricke, K.: Möglichkeiten der energetischen und stofflichen Verwertung von heizwertreichen Reststoffen aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung im Rahmen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes. In: Verein zur Förderung des Institutes WAR e.V. (Hrsg.): Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung unter Einbindung thermischer Verfahren für Teilfraktionen. 54. Darmstädter Seminar „Abfalltechnik“ am 6. Februar 1998, Schriftenreihe WAR Nr. 105, TU Darmstadt 1998

[32] Oest, W.: Die Bedeutung der Deponie in der Abfallwirtschaft des Bundeslandes Niedersachsen In: Stegmann, R.; Rettenberger, G. (Hrsg.): Entwicklungstendenzen in der Deponietechnik. Hamburger Berichte Nr. 12 – Abfallwirtschaft der Technischen Universität Hamburg-Harburg, Economica Verlag, Bonn 1998

[33] Bröker, E.; Giebel, B.: Vergleich und Betriebserfahrungen der drei Niedersächsischen Demonstrationsanlagen zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung. Tagungsband zum BMBF-Statusseminar „Verbundvorhaben mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen“ vom 17.-19 März 1998 in Potsdam, 2. Auflage, S. 45-57

[34] Puchelt, A.: Herhof-Trockenstabilatverfahren – Restabfallverwertung im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes. In: Wiemer, K.; Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Restabfallbehandlung III – biologisch, mechanisch, thermisch. M. I. C. Baeza-Verlag, Witzenhausen, 1999

[35] Oest, W.; Doedens, H.; Bogon, H.; Rospunt, J.: Entwicklungsstand der mechanisch-biologischen Vorbehandlung (MBV) von Restabfällen. Müll und Abfall **8** (1995) Nr. 6, S. 423-437

[36] Bilitewski, B; Heilmann, A.: Kosten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung im Vergleich zur thermischen Behandlung. Entsorgungspraxis **16** (1998) Nr. 10, S. 26-31

[37] Herhof-Umwelttechnik GmbH (Hrsg.): Herstellerangaben zum Trockenstabilatverfahren. Persönliche Mitteilung und Broschüren der Herhof-Umwelttechnik GmbH, 1998

[38] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Merkblatt M 3 über die geordnete Ablagerung von Abfällen. Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall Nr. 2, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1980

[39] Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinie über Deponiebasisabdichtungen aus Dichtungsbahnen. Düsseldorf, 1985

[40] Stief, K.: Das Multibarrierenkonzept als Grundlage von Planungen, Bau, Betrieb und Nachsorge von Deponien. Müll und Abfall **18** (1986) Nr. 1, S. 15-20

[41] Bilitewski, B.; Härdtle, G.; Marek, K.: Abfallwirtschaft. 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1994

[42] Umweltbundesamt (Hrsg.): Jahresbericht 1994. UBA, Berlin 1995

[43] Zeschmar-Lahl, B; Lahl, U.: Mechanisch-biologische Restabfallbehandlungsanlagen (MBA) – ein status-quo-Bericht (Stand 1/1996). Studie im Auftrag des Thüringer Ministeriums für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt, Erfurt, März 1996