

# **Ertüchtigung der Nachrotte in MBA's durch das Dombelüftungsverfahren (DBV)**

**Joachim Brummack, Béla Bartha**

Technische Universität Dresden

## **toughening of the aerobic postmaturation in MBWT plants by the Dome Aeration Technology (DAT)**

### **Abstract**

MBWT plants became to a main component of the municipal waste treatment and usage. This paper deals with the operation problems in aerobic biological process stages, with their reasons and possibilities to solve them. The importance of the postmaturation as the critical stage for safe keeping the landfill parameters leads to the proposal, to use the large scale proved Dome Aeration Technology for significant increasing of the effectiveness of the postmaturation.

### **Abstract deutsch**

MBA-Anlagen haben sich zu einem festen Bestandteil der Restabfallbeseitigung und –nutzung entwickelt. Der Beitrag befasst sich mit Betriebsproblemen in den aeroben biologischen Prozessstufen, deren Ursachen sowie Möglichkeiten zur Lösung. Die Bedeutung der Nachrotte als entscheidender Schritt zur sicheren Einhaltung der Ablagerungsparameter führt zu dem Vorschlag, das großtechnisch bewährte Dombelüftungsverfahren zur signifikanten Erhöhung der Effektivität der Nachrotte einzusetzen.

### **Keywords**

Belüftung, Rottereaktoren, Nachrotte, Betriebsverhalten, Dombelüftungsverfahren

Aeration, rotting reactors, postmaturation, operating behavior, Dome Aeration Technology

## **1 Einleitung**

Die Autoren dieses Beitrages beschäftigen sich seit mehr als 10 Jahren mit der biologischen Behandlung von Abfällen. Einen Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeit stellt die komplexe Nutzung aerober Abbauprozesse dar. Als Ergebnis dieser Arbeiten entstand das Dombelüftungsverfahren. Dabei handelt es sich um ein Wirkprinzip, dessen besonderes Kennzeichen die effektive Nutzung der beim aeroben Prozess freiwerdenden Wärme für die Sauerstoffversorgung und Wärmeabfuhr ist. Die Anwendung dieses Wirkprinzips lässt eine Vielzahl verschiedenster Lösungen von der Abfallbehandlung bis zur Erzeugung von Energieträgern aus nachwachsenden Rohstoffen zu. Über die theoretischen Grundlagen wurde u.a. in [PAAR, 2000] [Mollekopf et al., 2002] ausführlich publiziert. Neben Anwendungen zur Behandlung von festen Abfällen

wie Restabfall, Grüngut, Klärschlamm, Bioabfall-Nachrotte, wurde das Verfahren auch in anderen Aufgabenstellungen z.B. zur Behandlung von organisch stark belasteten Abwässern in einer Dombelüftungsmiete als Festbettreaktor oder zur Trocknung von Holzhackschnitzel erfolgreich eingesetzt [BRUMMACK, 2000].

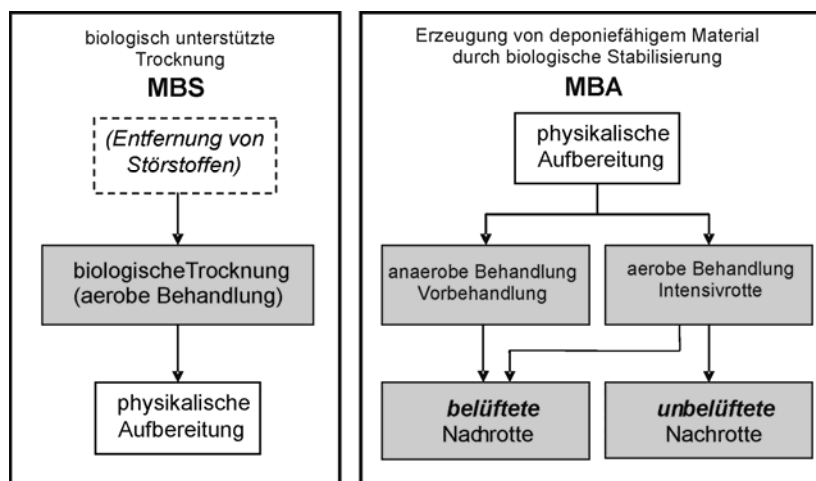
Ausgehend von den umfangreichen prozesstechnischen Erkenntnissen, die bei der Verfahrensentwicklung und -umsetzung gewonnen wurden, soll in den folgenden Ausführungen eine Analyse der gegenwärtigen Situation bei der biologischen Restabfallbehandlung mit spezieller Sicht auf die biologischen Prozesse erfolgen und daraus Angebote für eine Verfahrensoptimierung für mechanisch -biologische Restabfallaufbereitungsanlagen (MBA) abgeleitet werden.

## 2 Biologische Anlagen für die Restabfallentsorgung

### 2.1 Klassifizierung der Anlagen

Anlagen zur mechanisch-biologischen Restabfallaufbereitung (MBA) haben sich als Reaktion auf die grundlegenden Veränderungen der gesetzlichen Bedingungen für eine Deponierung, aber auch als eine Form des Umdenkens beim Umgang mit Restabfall, zu einem festen Bestandteil der Restabfallentsorgung und -nutzung entwickelt. Von den gegenwärtig ca. 6 Mio. t/a [Quelle: BMU] insgesamt genehmigter nichtthermischer Behandlungskapazität für Abfälle stellen sie mit rund 3,8 Mio. t/a bei den Restabfällen die größte Gruppe dar. Dazu kommen noch die mechanisch-biologischen Stabilisierungsanlagen (MBS) mit ca. 1,2 Mio. t/a genehmigter Kapazität.

Der Entwicklungstrend bei Anlagen zur mechanisch-biologischen Behandlung von Restabfall gemäß AbfAbIV (Eigenschaften Deponiematerial) und 30. BImSchV (Emissionen aus Anlagenbetrieb) hat hinsichtlich der dabei genutzten biochemischen Umsetzungen zu folgenden wesentlichen Anlagenkonzeptionen geführt (s. Abb. 1):



**Abb. 1:** MBA-Anlagen systematisiert nach biologischen Prozessstufen

Anlagen zur biologisch unterstützten Trocknung (**MBS**) sind in der Prozessgestaltung hauptsächlich identisch mit den HERHOF-Trockenstabilat<sup>®</sup>-Anlagen. In ihnen findet keine Rotte im eigentlichen Sinn statt, da der weitgehende Erhalt von Kohlenstoffverbindungen eine Zielstellung ist. Direkt ablagerungsfähige Edukte nach AbfAbIV werden in diesen Anlagen nach der biologischen Stufe nicht erzeugt. Prozesstechnische Besonderheit dieser Anlagen ist, dass die physikalische Aufbereitung hauptsächlich nach der biologischen Trocknung erfolgt. Dabei können mit mehr oder weniger Aufwand deponierbare Fraktionen (inerte Materialien) der stabilisierten Materialmenge entnommen werden.

Anlagen mit Erzeugung von deponiefähigem Material (**MBA**) arbeiten zwar mit verschiedenen technologischen Ausgestaltungen in den Verfahrensstufen, weisen aber zwangsläufig viele wesentliche Gemeinsamkeiten auf. Bei Anlagen, die speziell für den Betrieb nach 2005 konzipiert wurden, ist die zweistufige biologische Behandlung dominierend. Ohne weitere Bewertung dieser Tatsache kann festgestellt werden, dass dabei eine durchgehend aerobe Biologie den größten Anteil bei der installierten einschließlich der noch im Bau befindlichen Anlagenkapazität hat. Im Mittelpunkt der folgenden Darstellungen stehen solche Anlagen mit rein aerob biologischer Behandlung. Gemeinsamkeit dieser Anlagen ist, dass die Ausschleusung von Wert-, Sekundärbrenn- und Störstoffen hauptsächlich vor der biologischen Behandlung erfolgt und nur die verbleibende Fraktion der biologischen Stufe zugeführt wird.

## 2.2 Bedeutung der Rotte innerhalb von MBA-Anlagen

Die Rotteprozesse, d.h. die aerob biologischen Prozesse, stellen in MBA-Anlagen gleich welcher Konfiguration immer den entscheidenden Prozessschritt für die Erreichung der Ablagerungsparameter dar. Hält das für die Deponierung bestimmte, behandelte Material die Parameter nach Anhang 2 der AbfAbIV nicht ein, müsste es alternativlos entsprechend den geltenden gesetzlichen Bestimmungen in einer thermischen Behandlungsanlage entsorgt (d.h. beseitigt) werden. In der Praxis würde dies bereits aus Kostengründen das Aus für eine Anlage bedeuten. Nach den aktuellen Verlautbarungen aus Bund- und Länderebene, die hier weder zu diskutieren noch zu analysieren sind, muss davon ausgegangen werden, dass von einer strikten Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben nicht abgewichen wird.

Die stabile und regelgerechte Funktion der biologischen Verfahrensschritte stellt, wie zu erwarten war, das kritischste, Problem von MBA-Anlagen dar. Einerseits waren für einen speziellen Standort technische Vorversuche zur Rotte, falls sie überhaupt durchgeführt wurden, nur bedingt möglich (z.B. bei Neuanlagen) und andererseits bestehen in einer realisierten Anlage nur noch bestimmte, auf jeden Fall eingeschränkte Möglichkeiten zur Umsetzung von Veränderungen. Die Optimierung der Rotteprozesse

stellt in der gegenwärtigen Situation eine Notwendigkeit für viele der neuen Anlagen dar, um mögliche Schäden wegen Nichteinhaltung von Ablagerungsgrenzwerten abzuwenden. Erschwert wird dies zunächst auch dadurch, dass bei der Inbetriebnahme so komplexer Technologien, wie eine MBA, für solch komplizierte Gemische, wie Restabfälle, immer mit einer Vielzahl allgemeiner technischer Probleme zu rechnen ist.

## **2.3 Problemanalyse von Rottebedingungen in MBA-Anlagen**

### **2.3.1 Erzeugung des Rottematerials**

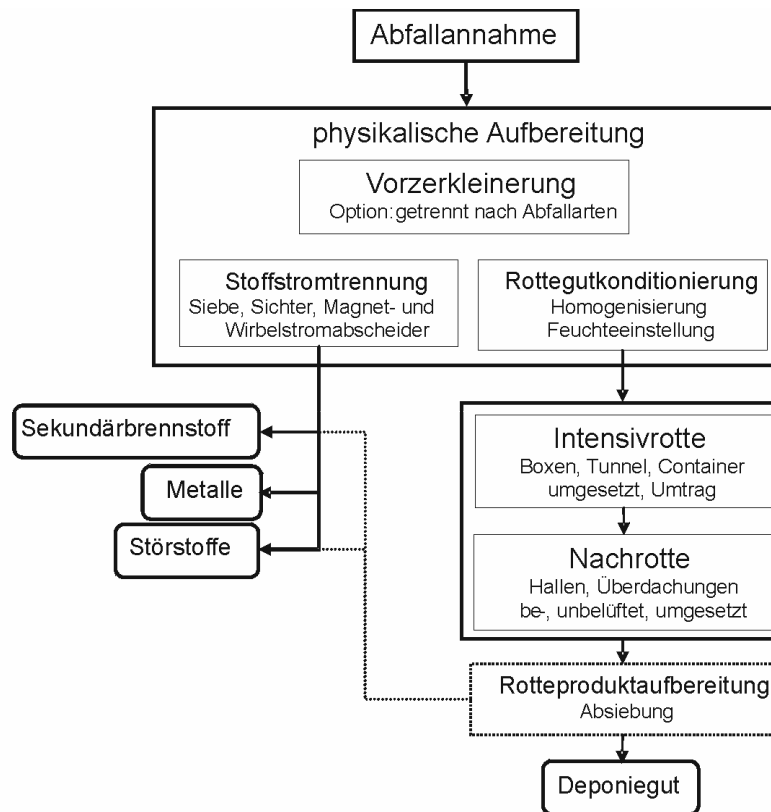
Zwischen den MBA-Anlagen der einzelnen Hersteller kann es Unterschiede bezüglich der Gestaltung der physikalischen Aufbereitung und in der Durchführung der Rotte geben. Der grundsätzliche Verfahrensablauf weist aber viele wesentliche Gemeinsamkeiten auf (s. Abb. 2). So lässt sich in die folgende Systematik eine Vielzahl von MBA-Anlagen einordnen und deren prinzipielle Schwachstellen vor allem aus Sicht der entscheidenden biologischen Prozesse beschreiben.

#### a.) Mechanische Aufbereitung

Ein erstes Problem entsteht dadurch, dass vor der biologischen Behandlung dem zu rottenden Material der Hauptteil strukturbildender, aber auch Feuchtigkeit speichernder Komponenten entzogen wird. Von der Seite der Verfahrensökonomie, speziell des erforderlichen Rotterraumes bzw. -fläche und der Konzentration der physikalischen Aufbereitungstechnik in einem Komplex ist dies ohne Weiteres nachvollziehbar. Zugleich wird damit das umfangreiche Wissen über die optimalen Bedingungen einer Rotte nicht beachtet. Vielmehr wird offenbar davon ausgegangen, dass durch technische Maßnahmen während der biologischen Behandlung eine Kompensation erfolgen kann, z.B. durch Variation der Belüftung oder der Befeuchtung während der Rotte. Dies ist innerhalb von den engen, durch die biologischen Prozesse vorgegebenen Grenzen nur bedingt möglich. Für einen intensiven und an enge zeitliche Vorgaben gebundenen Rotteprozess ist auf jeden Fall die optimale Rottbarkeit des Materials eine entscheidende Voraussetzung. Eine Übertragung der zur Kompostierung umfangreich vorliegenden Erkenntnisse ist dabei unerlässlich. Zwei wesentliche potenzielle Folgeprobleme lassen sich bereits aus der Art der Rotteguterzeugung ableiten:

1. suboptimale physikalische Schüttungseigenschaften (Homogenität, Durchströmbarkeit)
2. Neigung zur Versäuerung (biologische Prozesshemmung)

Besonders in Anlagen, die Abfälle unterschiedlicher Siedlungsstrukturen zu verarbeiten haben, muss untersucht werden, ob und welche für eine Rotte zu berücksichtigende Unterschiede bestehen.



**Abb. 2:** Systematisierter Verfahrensablauf von MBA-Anlagen

### b.) Feuchteinstellung vor der Intensivrotte

Der aerobe Abbau findet in einer wässrigen Phase statt, die die festen Bestandteile des Rottegutes umhüllt. Daher ist eine ausreichende Oberflächenfeuchte eine der Grundvoraussetzungen für den Rotteprozess. Abfälle mit geringem Wassergehalt müssen vor der Zuführung zur biologischen Behandlung befeuchtet werden. Apparate-technisch gibt es dafür verschiedene technische Lösungen mit unterschiedlichen Kontaktzeiten zwischen Abfall und Flüssigkeit. Häufig findet die Befeuchtung in einer kontinuierlich betriebenen Homogenisierungstrommel oder in einem Schneckenmischer statt. Eine Gemeinsamkeit dieser Lösungen ist, dass bei einem kontinuierlichen Betrieb prinzipbedingt keine oder nur wenig Rückvermischung stattfindet. Die in einem Zeitpunkt zugegebene Wassermenge kommt nur mit einer begrenzten Abfallmenge. Bei Trommeln besteht dabei zusätzlich die Gefahr der Agglomeratbildung aus feinkörnigem Material infolge der Drehbewegung. Aus diesen Gründen sollte die Wasserzugabe bedarfsgerecht erfolgen.

Kernproblem ist die Quantifizierung der jeweils benötigten Flüssigkeitsmenge. Ein dafür geeigneter Führungsparameter wäre die Dichte des Materials. In der Praxis eingesetzte Bandwaagen eignen sich zur Bestimmung der Masse auf dem Band, setzen jedoch eine definierte Belegung (Volumen) des Bandes voraus. Dies kann bei den für MBA-Anlagen typischen Verfahrensabläufen ohne großen Aufwand nicht gewährleistet werden.

Eine rein schematische Wasserzugabe birgt die Gefahr einer Überfeuchtung. Anlagenverschmutzung und das Entstehen von Presswasser in den Rottereaktoren sind die Folge. Da das Press- bzw. Sickerwasser häufig nach Durchgang durch die Belüftungsöffnungen in den Luftverteilträumen unterhalb der Schüttung aufgefangen wird, kommt es durch eingeschwemmtes Feinmaterial zu stochastisch verteilten Verstopfungen. Feuchtemangel im Rottegut führt im Extremfall zur Trockenstabilisierung und damit zum frühzeitigen Abbruch der Abbauprozesse, ohne dass dies rechtzeitig erkannt werden kann. Die exakte Einstellung einer gleichmäßigen Anfangsfeuchte ist für den Rotteprozess von entscheidender Bedeutung. Die Feuchtezugabe während des Rotteprozesses muss in aller Regel schematisch erfolgen, da eine exakte Messung der über die Luft ausgetragenen Wassermenge vor allem durch den Umluft- und Mischluftbetrieb kaum realisierbar ist.

### **2.3.2 Intensivrotte**

#### a.) Durchströmungsverhalten

Das Durchströmungsverhalten einer Rottegutschüttung bestimmt entscheidend Qualität und Verlauf des aeroben Prozesses. Schließlich wird dadurch die ausreichende Sauerstoffversorgung als Voraussetzung für stabil aerobe Prozesse gewährleistet. Die Problematik der Durchströmbarkeit erweist sich bei genauerer Betrachtung als sehr komplex. Sie kann hinsichtlich der Luftzuführung, wie zu zeigen ist, nicht unabhängig von den verwendeten Reaktoren erfolgen.

In vielen Anlagen wird versucht, die Rottereaktoren möglichst groß zu bauen, um den spezifischen Bedarf an Lüftungstechnik einzusparen. So entsteht die Aufgabe, Rottegutvolumen von einigen hundert m<sup>3</sup> bei 2-3 m Schüttungshöhe über einen einzigen Luftverteiltrraum zu belüften. Theoretisch ist dies nur dann eine lösbare Aufgabe, wenn man es mit Schüttungen gleichförmiger und bezüglich ihrer mechanischen Eigenschaften zeitinvarianter (z.B. inerte) Partikel zu tun hat. Beim Rottegut der aktuellen MBA-Anlagen können diese Bedingungen objektiv bedingt nicht einmal annähernd erfüllt werden. Folgende Effekte sind besonders zu beachten:

- **Reaktorbefüllung**

Werden Rottereaktoren mit Rad- oder Teleskopladern befüllt, lassen sich Inhomogenitäten beim Errichten der Schüttung nicht vermeiden. Der Einfluss auf die Homogenität ist um so größer, je geringer die Partikelgrößen sind. Zusätzlich kann es in Abhängigkeit vom System der Luftzuführung zu Verdichtungen/Verstopfungen durch die Fahrzeugbewegungen kommen. Automatisierte Beschickungssysteme können solche Gefahren minimieren, sind aus wirtschaftlichen Gründen aber nur für große Anlagen vertretbar. Ein genereller Störfaktor kann aus den Unterschieden in den Abfalleigenschaften (Gehalt an leichtabbau-

baren Stoffen) entstehen, wenn ein Reaktor nacheinander mit Abfällen aus verschiedenen Siedlungsstrukturen, die sich z. B. im Gehalt an biogenen Stoffen unterscheiden, befüllt wird. Dieser Störfaktor spielt besonders bei großen Reaktoren eine Rolle.

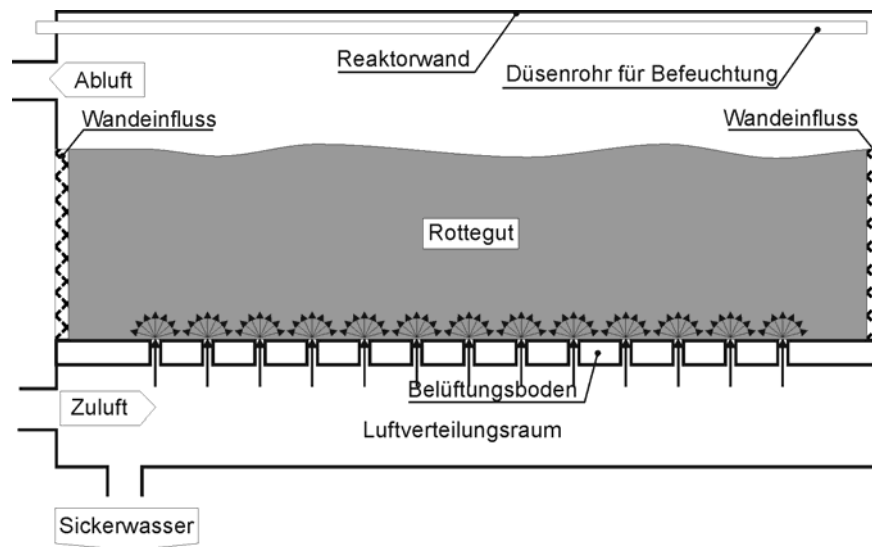
- **Verhalten des Haufwerks während der Rotte**

Basierend auf den Inhomogenitäten, die durch die Reaktorbefüllung, aber auch durch unvermeidbare Makrogradienten bezüglich Partikelgröße und Stoffzusammensetzung im Rottegut selbst hervorgerufen werden, kommt es zu Gradienten bezüglich der Durchströmbarkeit. Daraus resultiert eine unterschiedliche Belüftung innerhalb des Haufwerks. Die Folge davon sind einerseits die Ausbildung von Vorzugsströmungswegen und andererseits von Toträumen oder nur gering durchströmter Teile. Mit zunehmender Prozessdauer manifestieren sich diese Erscheinungen. Eine messtechnische Erfassung ist im Normalbetrieb nicht zielführend, da bei den statischen Reaktoren meist nur die Möglichkeit besteht, mit einer Umlagerung des Rottegutes darauf zu reagieren. Eine Lösung, die an den tatsächlichen Prozess angepasst werden kann ist dies kaum, da der Gesamtdurchsatz der Anlage dadurch reduziert werden würde. In der Praxis werden verschiedentlich Temperaturfühler entlang der Haufwerksachse in das Rottegut eingesteckt. Zeigen sie signifikante Unterschiede, kann im Wesentlichen nur festgestellt werden, dass es Unregelmäßigkeiten gibt.

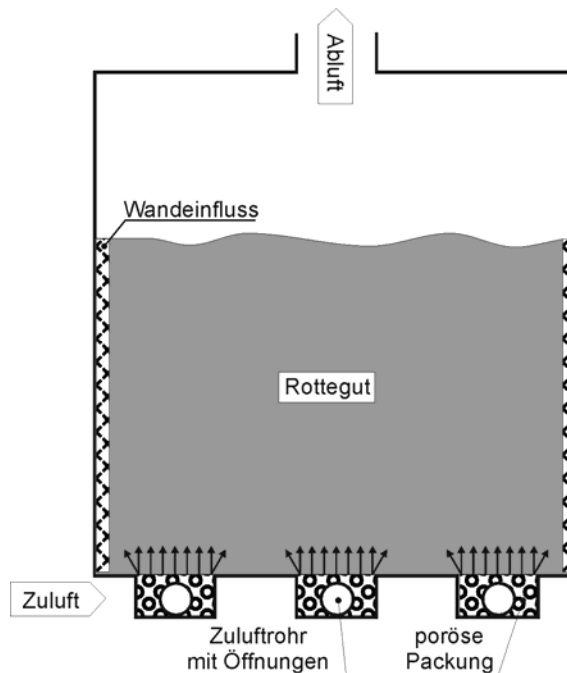
#### b.) Apparateseitige Aspekte

Die Zuluft muss dem Haufwerk in statischen Reaktoren durch Öffnungen im Boden des Reaktors zugeführt werden. Diese Öffnungen können Löcher und Schlitze sein, aber auch durch Schüttungen aus grobem Material gebildet werden, Lösungen, die aus der Kompostierung bekannt sind. Die eigentliche Verteilung der Zuluft muss im Haufwerk selbst erfolgen. Durch die relative Feinkörnigkeit des Rottematerials in vielen MBA-Anlagen und die daraus folgende leichte Verdichtbarkeit liegen gerade hierfür keine optimalen Bedingungen vor. Abbildung 3 zeigt die Vorgänge schematisch für ein Reaktorsystem mit einem einheitlichen Luftverteilsraum. Die Dimensionierung der Luftzuführung stellt immer ein Optimierungsproblem zwischen Verstopfungsneigung, Servicefreundlichkeit, Strömungsgeschwindigkeit und statischer Festigkeit dar. Explizit zu lösen ist dieses Problem nur innerhalb der festen Randbedingungen eines konkreten Anwendungsfalles. Die bereits besprochene, zufällig verteilte Verstopfung von Belüftungslöchern führt zu einem uneinheitlichen Lufteintritt aus dem Reaktorboden in das Rottegut. Damit besteht die Gefahr, dass Materialbereiche während des gesamten Prozesses nicht mit Luft versorgt werden können. Eine weitere Folge der Verstopfungen ist ein insgesamt höherer Druckverlust beim Passieren des Belüftungsbodens. Bei druckgeführten Systemen wird bei deutlicher Verstopfung des Bodens die Belüftungsrate gerin-

ger, da das Steuerungssystem nicht zwischen Druckverlust in der Schüttung und im Belüftungsboden unterscheiden kann. Wird auf der anderen Seite unabhängig von eventuellen Verstopfungen der gleiche Luftvolumenstrom durch den Belüftungsboden geführt, so kommt es zu einer "Überbelüftung" von Schüttungsbereichen. Dies wiederum führt zur schnellen Austrocknung des Materials mit der Folge der Entstehung Vorzugsströmungswegen, die dann einen niedrigeren Druckverlust als benachbarte Strömungswege aufweisen.



**Abb. 3:** statischer Rotteraktor mit Luftverteilungsraum, Seitenansicht



**Abb. 4:** statischer Reaktor mit getrennten Luftzuführungen

Die Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für einen statischen Reaktor mit getrennten Luftzuführungen und Luftverteilschicht mittel poröser Packung. Besonderes Merkmal einer solchen Anordnung ist es möglich, die Zuluft quasi flächenartig in die Rottegutschüttung einzutragen. Dazu sind in den Boden des Reaktors Kanäle vorhanden. In diese miteinander nicht verbundenen Kanäle werden gelochte oder geschlitzte Rohre eingelegt und mit einer Packung aus porösem Material eingeschüttet. Falls erforderlich ist zusätzlich eine Press- und Sickerwasserableitung einzubauen. Vergleicht man diese Abbildung mit Abbildung 4 ist zu erkennen, dass eine Wartung und Instandsetzung dieser Variante am leeren Reaktor einfach möglich ist. Ein großer, für Wartungs- und Reinigungsarbeiten befahrbarer, Raum unter dem eigentlichen Reaktionsraum ist nicht erforderlich. Durch den Einbau von Klappen in die Zuluftleitung nach der Verteilung besteht die Möglichkeit der unterschiedlichen Beaufschlagung der einzelnen Stränge. Nicht mehr funktionierende Bereiche können relativ gut erkannt werden. Nachteil dieser Variante ist, dass sie sich nicht für bestimmte automatisierte Entleerungssysteme eignet.

Ein weiterer zu beachtender Effekt ist die Randgängigkeit für die Zuluft an den Reaktorwänden. Das Haufwerk ist seitlich durch die glatte Reaktorwand gestört, da sich die Partikel bei der Aufschüttung in waagerechter Richtung nicht beliebig positionieren können. Die Folge kann die Ausbildung von ebenfalls besser durchströmbaren Bereichen sein. Als Gegenmaßnahme sollte in Wandnähe auf die Belüftungsöffnungen verzichtet werden. Auch erhebliche Kondensatmengen aus der feuchtegesättigten Abluft an den Wänden, der Decke des Gasraumes und der Tür können zu Problemen führen. Durch eine sorgfältige thermische Isolation können solche Effekte minimiert werden.

## 2.4 Fazit

Die obigen Ausführungen zeigen eine ganze Reihe potenzieller Probleme von MBA-Anlagen mit statischen Reaktoren auf. Die Ursachen dafür liegen sowohl in den Eigenschaften des Rottegutes als auch in bestimmten konstruktiven Details begründet. Ziel der Darstellungen war es, die wichtigsten potenziellen Probleme zu werten und zu systematisieren. Auf Grund des zum Teil sehr eingeschränkten Spielraumes für Veränderungen an bereits bestehenden Anlagen ist eine wirksame Optimierung nur bezogen auf eine bestimmte Anlage möglich, weshalb sich die Darstellungen im Wesentlichen auf qualitative Beschreibungen beschränken müssen. Trotzdem ist es sinnvoll, die wichtigsten Schlussfolgerungen zusammenzufassen.

Die Einstellung der Rotteguteigenschaften vor der biologischen Behandlung und die technische Ausführung der Apparate in der Intensivrotte beeinflussen sowohl Qualität als auch Ergebnisse des biologischen Prozesses signifikant. In bestehenden Anlagen gibt es nur noch wenig Möglichkeiten, Veränderungen an der Technologie der physikalischen Aufbereitung und der Intensivrotte umzusetzen. Aus diesen Gründen erhält die

Nachrotte eine erheblichere Bedeutung für den Prozesserfolg, als sich dies anhand der Einfachheit ihrer Ausführung in vielen Anlagen vermuten ließe. Sie wird häufig in unbelüfteten, gelegentlich umgesetzten Rottemieten unter einer seitlich offenen Bedachung durchgeführt. Die im Regelbetrieb stark abklingende biologische Aktivität in der Intensivrotte würde einen Übergang zu einer einfacheren technischen Ausführung der Nachrotte ermöglichen. Als Prozessschritt zur Kompensation von Unregelmäßigkeiten bei der Intensivrotte taugt dies jedoch nicht. Aus prozesstechnischer Sicht sind die Voraussetzungen für eine optimale Nachrotte generell identisch mit denen der Intensivrotte. Es handelt sich um den gleichen Prozess, wenn auch auf einem niedrigeren Aktivitätsniveau.

### **3 Möglichkeiten der Prozessoptimierung in vorhandenen Anlagen mit offener Nachrotte**

#### **3.1 Die offene Nachrotte**

##### **3.1.1 Rechtliche Rahmenbedingungen**

Die 30. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (30. BImSchV) regelt die Zulassung und den Betrieb von MBA-Anlagen. Diese Verordnung ist das Ergebnis von Diskussionen, die um die ökologische Vertretbarkeit der MBA-Anlagen geführt worden sind. Eine Studie des Umweltbundesamtes zu dieser Thematik [UBA99] hat einen Vergleich zur Abfallverbrennung gezogen und stellte fest, dass die "damals bestehende rechtliche Regelungen zur Emissionsbegrenzung nur beschränkt auf MBA-Anlagen anwendbar" waren und dass "spezielle rechtliche Regelungen zur Emissionsminderung erforderlich waren, die ein der 17. BImSchV entsprechendes Anforderungsniveau gewährleisten". Ziel bei der Schaffung der 30. BImSchV war die Herstellung der Gleichwertigkeit zwischen den Verfahrenswegen.

In den §4 und 5 der 30. BImSchV wird die vollständige Kapselung der MBA-Anlagen gefordert. Die Emissionsgrenzwerte in §6 werden für die in die Atmosphäre abzuleitenden Abluftströme, einschließlich jener aus dem Rottevorgang angegeben. Nach §16 darf jedoch die Nachbehandlung unter aeroben Bedingungen (Nachrotte) bei einer mehrstufigen biologischen Behandlung ohne Einhausung zugelassen werden, wenn das Material dafür geeignet ist und durch sonstige betriebliche Maßnahmen sichergestellt wird, dass der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen auf andere Weise Genüge getan ist. Aus Gründen des Schutzes der Umwelt ist es bei der Diskussion über die Emissionen unerheblich, ob es sich dabei um gefasste Abluftströme oder eine diffuse Entweichung von Schadstoffen handelt. Der Ordnungsgeber beabsichtigte an dieser Stelle, den Anlagenherstellern und Betreibern die Möglichkeit zu geben, unter

bestimmten Umständen Alternativen zu einer kostenintensiven Kapselung zuzulassen und nicht Wege zur Herausnahme von Abluftströmen aus der Emissionsbetrachtung aufzeigen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass bei einer mehrwöchigen, regelgerechten Intensivrotte der größte Teil der organischen und sonstigen Schadstoffen aus dem Abfall entfernt worden ist und somit keine unzulässigen Emissionen aus der Nachrotte zu erwarten sind. Als Grenzwert für den Übergang in eine offene Nachrotte wurde im §16 die Atmungsaktivität mit 20mg/g Trockenmasse definiert.

### 3.1.2 Stand der Technik

Wie bereits erwähnt, wird die offene Nachrotte meistens auf einem sehr niedrigen technischen Niveau ausgeführt. Die einfachste Ausführung ist die unbelüftete Nachrotte. Der Intensivrotteoutput wird in Dreiecks-, Trapez oder Tafelmieten aufgesetzt und in regelmäßigen Abständen mit einem Umsetzaggregat oder Radlader umgesetzt. Dabei wird Sauerstoff in Schüttung eingebracht und die Haufwerksstruktur regeneriert. Bei hoher biologischer Restaktivität kann der Sauerstoff in den Makroporen der Schüttung in wenigen Stunden verbraucht sein. Nur bei minimaler Aktivität kann man davon ausgehen, dass allein eine Umsetzung zur Aufrechterhaltung von aeroben Verhältnissen ausreicht. Ist dies nicht der Fall, so stellt sich ein anaerobes Milieu in der Schüttung oder in Teilen davon ein, mit der Folge, dass verstärkt Methan und Geruchsstoffe produziert werden. Diese entweichen diffus über die Oberfläche der Miete oder werden beim nächsten Umsetzen schlagartig freigesetzt. Durch die nicht gesicherte Aerobie in den Zwischenzeiten wird die Bedingung einer offenen Nachrotte nach §16 nicht erfüllt. Als weiteres großes Problem sehen die Autoren die Quantifizierung der Emissionen aus einer solchen Nachbehandlung. In der "Arbeitshilfe zu §16 der 30. BimSchV" [LUA NRW] wurde festgestellt, dass die offene Nachrotte insbesondere durch TOC- und Geruchsemissionen die Umwelt beeinträchtigen können, wobei die TOC-Emissionen zum Großteil aus Methan (!) bestehen. Bezüglich des Umsetzens wird vorgeschlagen, "das Umsetzen in Abhängigkeit von der meteorologischen Situation durchzuführen. Dabei wäre denkbar, nur bei bestimmten Windrichtungen und -intensitäten umzusetzen". Eine solche Herangehensweise, die nicht nur aus ingenieurtechnischer Sicht eine Form von Ratlosigkeit aufzeigt, liegt nicht im Sinne einer nachhaltigen Nutzung der MBA.

Eine Abhilfe wird in einigen Anlagen durch die aktiv belüftete Nachrotte geschaffen. Dazu werden Kanäle zur Lufteinführung in die Rotteplatte eingelassen. Bezüglich potenzieller Betriebsprobleme mit solchen Kanälen gelten die entsprechenden Ausführungen wie bei den statischen Rottreaktoren.

Unabhängig von der Belüftungsart erfordern offene Nachrottemieten einen Watterschutz insbesondere eine Überdachung. Da der Gasaustausch dieser Rottemieten durch die Oberfläche erfolgen muss, beeinträchtigt eine Vernässung und Verdichtung

der Oberfläche infolge Niederschläge den Rotteprozess. Bei thermisch nicht isolierten Rottemieten kommen zusätzliche Schwankungen der Prozessqualität als Folge der jahreszeitlichen Temperaturänderung zustande. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund der geringen Prozessaktivität wichtig, da es im Winterbetrieb durch die erheblichen Wärmeverluste bei gleichzeitig geringerer Wärmeproduktion zu einem Temperaturniveau kommen kann, das die mikrobielle Aktivität stark beeinträchtigt (van't Hoffsche Regel).

### 3.1.3 Ableitung von Aufgaben

Vergleicht man die Erwartungen an eine Nachrotte mit den prozesstechnischen Problemen und den rechtlichen Anforderungen, so können folgende allgemeine Ziele für eine Optimierung abgeleitet werden:

1. Herstellung von gesicherten aeroben Bedingungen,
2. Verminderung der schädlichen Umwelteinflüssen, insbesondere von Emissionsspitzen,
3. Quantifizierung der gesamten Emissionen aus der Nachrotte,
4. Vereinfachung des Anlagenbetriebes durch Wegfall von Umsetzprozessen,
5. Erhöhung des Durchsatzes in der Nachrotte und damit Schaffung von Reserven für Betriebszustände, in denen eine Verringerung der Abbauleistung in der Intensivrotte zu verzeichnen war (suboptimale Betriebsbedingungen, Verweilzeitverkürzungen nach Ausfallzeiten),
6. Vergleichmäßigung der Prozess- und Produktqualität zur sicheren und kontinuierlichen Einhaltung der Ablagerungsgrenzwerte.

An dieser Stelle wird der Vorschlag als sinnvoll angesehen, die unbelüftete Nachrotte mit geringer Leistung und Qualität mittels des Dombelüftungsverfahrens zu einem effektiven und gleichzeitig überwachbaren Prozessschritt der MBA-Technologie zu nutzen.

## 3.2 Ertüchtigung Nachrotte mit dem DBV

### 3.2.1 Betriebserfahrungen mit dem Dombelüftungsverfahren

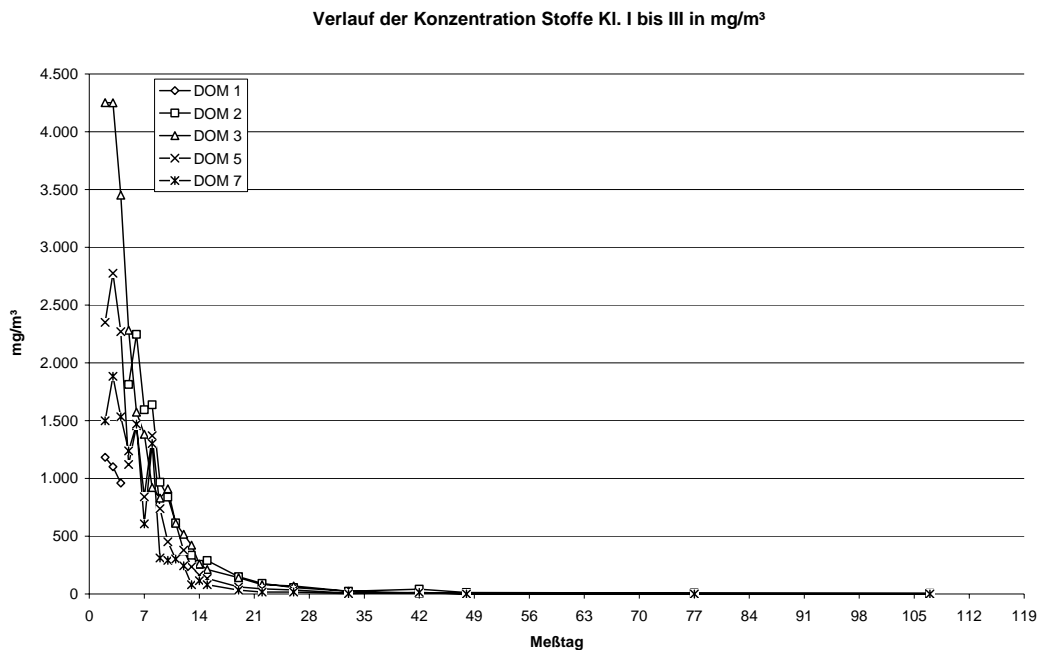
Der Vorschlag, das Dombelüftungsverfahren zur Prozessoptimierung der offenen Nachrotte einzusetzen, beruht auf langjährigen Erfahrungen im großtechnischen Einsatz in der Restabfallbehandlung. Das Dombelüftungsverfahren war zwischen 2000 und 2005 als Kern einer MBA Technologie mit mehr als 50.000 t/a genehmigter Abfallmenge im großtechnischen Einsatz [PAAR et al., 2000]. Im Rahmen der Genehmigungsprozedur wurde für diese Anwendung u. a. auf der Deponie Nauen - Schwanebeck eine Messmiete errichtet. Die Messmiete wurde aus einem gleichvolumigen Gemisch aus Restabfall und Sperrmüll errichtet. Ein akkreditiertes Labor wurde beauftragt, emissionstechnische Untersuchungen während der gesamten Rottezeit durchzuführen. Die Ergebnisse sind in [PAAR] dargestellt. Im Rahmen der Untersuchungen wurde erwartungsgemäß

festgestellt, dass der überwiegende Teil (95%) für relevante (nach TA Luft 86) Schadstoffe in den ersten beiden Rottewochen aus der Miete ausgetragen wurde, und dass danach keine neue Schadstoffe gebildet wurden (s. Diagr. 1). Bei einer hochtechnisierten Intensivrotte kann auch bei Betriebsproblemen davon ausgegangen werden, dass der überwiegende Teil der relevanten Schadstoffe erfasst und durch die thermische Abluftreinigung zerstört wird.

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen können folgende verallgemeinerungsfähige Aussagen abgeleitet werden, die für eine Anwendung des Dombelüftungsverfahrens zur Optimierung der Nachrotte von Bedeutung sind:

1. Durch die kontinuierliche Durchströmung der Miete herrschen im Mietenkörper überall und jederzeit aerobe Verhältnisse. Die hohen Sauerstoffgehalte in der Abluft der Dome belegen dies. Die Emissionsmessungen an der Mietenoberfläche haben ihre Dichtigkeit gezeigt.
2. Da das Verfahren ohne Umsetzung funktioniert entfällt die stoßweise Freisetzung von Mietengas.
3. Die punktförmigen Emissionsquellen können gemessen werden, so dass Konzentration und Strom der Schadstoffe ermittelt werden kann.
4. Durch Wegfall des Umsetzens vereinfacht sich der Anlagenbetrieb wesentlich.
5. Die qualitative Erhöhung der Prozessqualität führt zu einer Beschleunigung der Abbauprozesse, die wiederum zu einer Verkürzung der Behandlungszeit führt.

Durch deutliche Verringerung der Umwelteinflüsse werden die Prozess- und Produktqualität erhöht, die zu einer Sicherung der Grenzwerteinhaltung führt



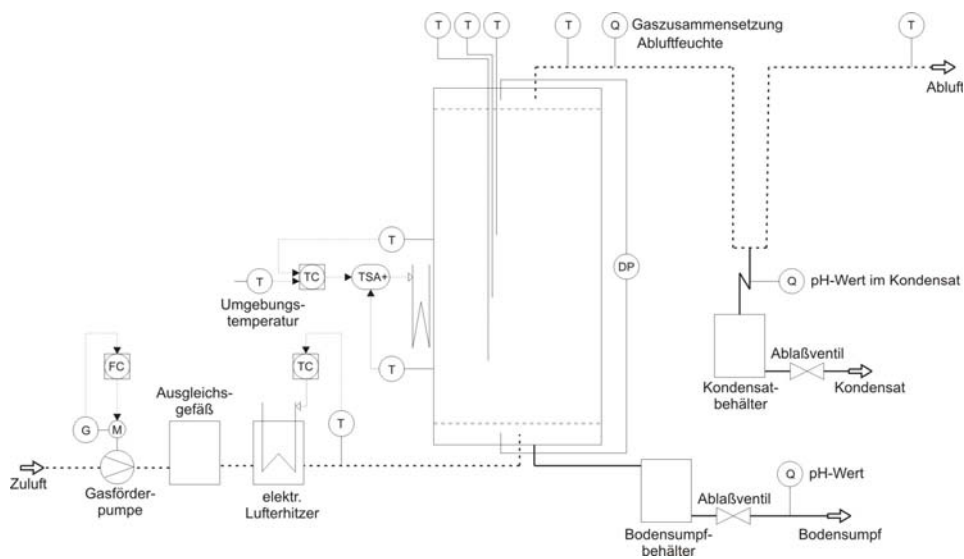
**Diagr. 1:** nach TA-Luft 86 in der Abluft einer Dombelüftungsmiete

### 3.2.2 Vorgehensweise

Die Optimierung der Nachrotte erfordert grundlegende Untersuchungen von der mechanischen Abfallaufbereitung bis zum Intensivrotte-Output. Derzeit muss davon ausgegangen werden, dass keine belastbaren Daten dafür verfügbar sind.

In einem ersten Arbeitsschritt der Optimierung sind daher Rotteversuche zur Gewinnung von technologieunabhängigen Vergleichsdaten von einer Anlage angenommenen Restabfällen (nach Siedlungsstruktur) durchzuführen. Ziel ist es, zunächst die in einer Intensivrotte erreichbare Produktqualität zu ermitteln. Parallel dazu werden die haufwerkstechnischen Eigenschaften dieses Materials vor und nach einer simulierten Intensivrotte ermittelt.

Zur Durchführung der Versuche stehen als Eigenentwicklung ein thermisch aktiv isolierter Schütttschichtreaktor mit 750 Liter Nutzvolumen und drei ebenfalls adiabate 50 Liter Parallelreaktoren zur Verfügung. Die Durchströmungsversuche werden in Säulen durchgeführt, in denen bis 2,5 m hohe Schüttungen untersucht werden können. Die gesamte Versuchstechnik hat ihre Eignung in Vorversuchen zum Einsatz des Dombelüftungsverfahrens bereits unter Beweis gestellt [BARTHA et al., 2005].

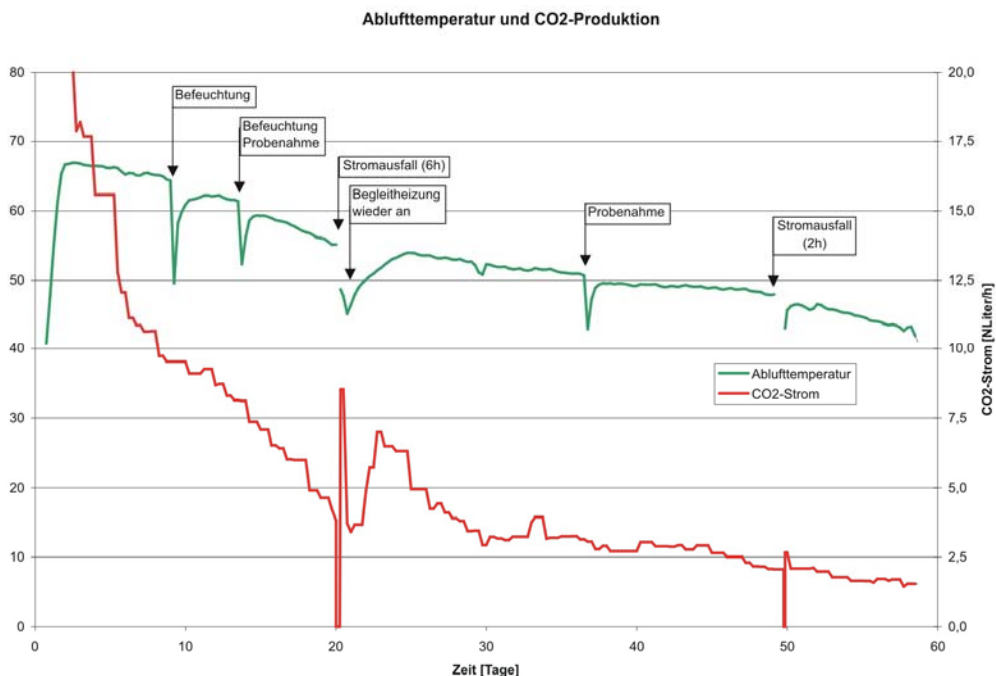


**Abb. 5:** Schema des 750 l-Schütttschichtreaktors



**Abb. 6:** 750 l -Schüttstichtreaktor im Betriebszustand

In Abhängigkeit von den Ergebnissen der Technikumsversuche am Originalmaterial kann dann eine zielgerichtete Dimensionierung des Dombelüftungsverfahrens mit Hilfe erprobter Algorithmen erfolgen. Diagramm 2 zeigt ein Beispiel für eine experimentelle Simulation mittels Schüttstichtreaktor mit einem in einem Rotteraktor (Typ C 400, Fa. EnviCont) vorgerotteten haushaltähnlichen Gewerbeabfall.



**Diagr. 2:** experimentelle Simulation für Dimensionierung DBV

### 3.2.3 Anwendungstechnische Aspekte

Die Integration des Dombelüftungsverfahrens in eine bestehende MBA-Anlage ist ohne Probleme möglich, da alle technischen Voraussetzungen vorhanden sind. Lediglich die benötigten Dome (gebrauchsmustergeschützt) und Kanäle sind zu beschaffen. Die Ausnutzung der Nachrottefläche wird durch das DBV wesentlich verbessert. Der genaue Flächenbedarf hängt von der gewählten Mietenbreite ab. Freiflächen für das Umsetzen werden nicht benötigt. Als Abdeckmaterial für die Mieten wird ausgerottetes Material verwendet, das in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Abbildung 7 zeigt einen Ausschnitt des Mietenfeldes der MBA Cottbus – Saspow.



**Abb. 7:** Mietenfeld der MBA Cottbus – Saspow, 2002

Da für den Betrieb des DBV keinerlei ortsfeste Vorrichtungen auf der Nachrottefläche erforderlich sind, können belüftete und unbelüftete Nachrotte im Bedarfsfall auch parallel oder im beliebigen Wechsel betrieben werden.

## 4 Zusammenfassung

Die MBA-Technik steht derzeit vor einer Bewährungsprobe. Den Anlagenbetreibern muss es kurzfristig gelingen, die Parameter der AbfAbIV sicher und stabil zu erfüllen. An bestehenden MBA-Anlagen sind Veränderungen nur in sehr beschränktem Umfang möglich. Mit dem Dombelüftungsverfahren steht eine Technologie zur Verfügung, mit der unbelüftete Nachrotten kostengünstig in belüftete Nachrotten überführt werden können. Durch eine effektive und kontinuierliche Belüftung können in der Nachrotte Abbauleistungen erzielt werden, mit denen die Ablagerungsparameter eingehalten werden können.

## 5 English summary

The authors of this paper have been working on the field of biological waste treatment for more than ten years. The main product of their work is the development of the Dome Aeration Technology, which is a capable, flexible and inexpensive technology for self-aeration of rotting windrows without the use of external energy. The technology has been successfully applied for the treatment of municipal solid wastes, sewage sludge, garden waste and for postmaturation of biowaste-composts. Appliances like the wastewater treatment in a dome aerated windrow or the drying of biomass show the potential of this technology.

In this paper, the state-of-the-art of the aerobic biological waste treatment is presented. The focus is on those process concepts that produce a pre-treated material according to the new landfill regulations. The stable and regular biological process is the precondition for these technologies. Analysing the rotting conditions the following main problems can be observed.

In the first mechanical pre-treatment stage, all structure materials and those that can store water, are removed from the waste. The residual fine material is dedicated for the rotting process. By this the substantial knowledge about the optimal conditions of a rotting process are ignored. The consequences are the not sufficient physical properties of the waste heap (homogeneity, flow through capability) and the affinity of the material for acidification.

As the aerobic biological degradation occurs in a water film on bulky materials, the rotting material needs a certain level of free available surface water. Dry wastes are wetted in a watering system, in which leachate of the aerobic reactors is mostly used. Continuously operated systems need a control mechanism to give exactly that amount of water on the waste that is needed and can be stored in a short contact time in the mixing machine. Otherwise, the rotting material can get to dry during the biological treatment (leads to biological limitation) or leachate can be produced, that has to be collected and disposed.

The next very complex field is the flow through capability of the waste in the intensive rotting reactor. In this a few hundred cubic meter material should be aerated uniformly. If wheel loader is used to fill the reactors, the first inhomogeneities cannot be avoided. The moving of the wheel loader on the aeration surface can lead to its partial blockage. The effect is that certain areas in the reactor will not contact with air, as they need to. Discrepancies in the waste quality (amount of degradable components) lead to more inhomogeneity through the treating time.

The consequence of all is the inhomogeneity of the product after the intensive rotting stage. In most existing plants there are no available possibilities to change the technol-

ogy in short time. That is why the postmaturation has a high importance in a successful pre-treatment.

In many plants, this last stage of the waste pre-treatment is very simply implemented. The postmaturation technologies are often open realised, e.g. on a concrete surface under a fixed roof. In this so called *open postmaturation technologies* all the emissions of the windrows get directly in the environment. The legal regulations allow these open technologies, when they are *aerobic* and when *other technical efforts are made to minimise the harmful environmental impacts*.

In the often-applied unaerated and occasionally turned windrows only those materials can be treated, which show a very low biological activity. Otherwise, the oxygen supply cannot be guaranteed, that can lead to formation of anaerobic zones in the windrow with methane and odour production. The higher grade of open postmaturation technologies uses a forced aeration for the oxygen supply of the windrow. Both force aerated and unaerated conventional piles need their outer surface for gas exchange. That is why their emissions can only be monitored difficultly and imprecise, if they rest and not at all, while they are turned.

With the adoption of the Dome Aeration Technology, the aeration of open postmaturation windrows can be resolved without the need of external energy and of turning the windrow. By covering the windrow the environmental effects from outside are minimized, so that both process and product quality are raised significantly. Since all the emissions leave the windrow on defined points, they can be precisely monitored. First experiments for adoption the technology for this kind of materials has been already made. The authors of the paper expect the broad discussion of their proposal.

## 6 Literatur (Überschrift 1. Ebene)

- |                   |      |   |
|-------------------|------|---|
| Bartha, B. et al. | 2005 | Modifikation und Einsatz des Dombelüftungsverfahrens für die Aufbereitung von Dämpfkondensaten aus der Schnittholzbehandlung Abschlussbericht des AiF-FV-Nr. 13439 BR   |
| Brummack, J.      | 2004 | Das Dombelüftungsverfahren- ein vielseitig einsetzbares Belüftungsverfahren für offene Rottemieten auch nach 2005 , in: Abfallforschungstage 2004. Auf dem Weg in eine nachhaltige Abfallwirtschaft. Cuvillier Verlag, Göttingen, ISBN 3-86537-121-3. |
| Brummack, J.      | 2000 | Probleme mit der Nachhaltigkeit bei der Kompostierung von Abfällen. Wiss. Z. TU Dresden 49(2000)6, S. 52-55   |

- |                      |      |   |
|----------------------|------|---|
| Mollekopf, N. et al. | 2002 | Use of the Dome Aeration Technology for biochemical stabilization of waste prior to landfilling, in: Wastecon 2002-40 <sup>th</sup> Annual International Solid Waste Exposition Proceedings (WT/a/1), Durban, RSA, Oktober 2002 |
| Paar, S.             | 2000 | Das Dombelüftungsverfahren. Ein Verfahren zur Belüftung offener Rottemieten unter Nutzung des thermischen Auftriebs. Dissertation. Dresdner Forschungen: Maschinenwesen; Bd. 6. Dresden: w.e.b., 2000. ISBN 3-933592-80-1       |
| Paar, S. et al.      | 2000 | Großtechnische Ergebnisse zum Dombelüftungsverfahren. Zwangsfreie Belüftung offener Rottemieten. Müll und Abfall 9/2000   |

### **Anschrift der Verfasser**

Dr.-Ing. Joachim Brummack

Technische Universität Dresden, Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik  
D-01062 Dresden

Telefon +49 351 463 34430

Email: Joachim.Brummack@tu-dresden.de

Website: <http://www.tvt-uvt.tu-dresden.de/>

Dipl.-Ing. Béla Bartha

Technische Universität Dresden, Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik  
D-01062 Dresden

Telefon +49 351 463 32045

Email: Bela.Bartha@mailbox.tu-dresden.de

Website: <http://www.tvt-uvt.tu-dresden.de/>