

BE-095

BERICHTE

**HYGIENEFragen IN DER MECHANISCH-
BIOLOGISCHEN ABFALLBEHANDLUNG**

HYGIENEFragen IN DER MECHANISCH- BIOLOGISCHEN ABFALLBEHANDLUNG

BE-095

Wien, September 1998

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie



Autor:

Peter MOSTBAUER

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien
Eigenvervielfältigung

© Umweltbundesamt, Wien, September 1998
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)
ISBN 3-85457-392-8

VORWORT, DANK

Abfallbehandlungsanlagen müssen so betrieben werden, daß mögliche Einwirkungen auf die Umwelt minimal gehalten werden und keine Gefährdung für die in der Anlage beschäftigten Arbeitnehmer auftritt. Aus der Sicht der Hygiene haben bei der mechanisch-biologischen Behandlung von Restmüll (und Klärschlamm) vor allem Bioaerosol-Emissionen, d. h. die aus dem Abfall über den Luftweg freigesetzten Keime und Partikel, einen hohen Stellenwert.

Die vorliegende Studie beschäftigt sich vorwiegend mit der Bioaerosol-Problematik, aber auch mit anderen Fragen der Hygiene und des Arbeitnehmerschutzes an Arbeitsplätzen der biologischen Abfallbehandlung. Die Studie wurde im Zusammenhang mit der Erstellung von Grundlagen für eine technische Anleitung zur mechanisch-biologischen Behandlung von Abfällen erarbeitet. Wir weisen darauf hin, daß dazu in der Serie „Reports“ des Umweltbundesamtes der Bericht *„Grundlagen für eine Technische Anleitung zur mechanisch-biologischen Behandlung von Abfällen“* erschienen ist.

Wir danken allen Organisationen und Personen, die die Erarbeitung dieser Studie hilfreich unterstützt haben, insbesondere:

Dr. M. Loidl

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Sektion III, Abtlg. III/3

Fr. Dr. C. Sedlatschek und Fr. Mag. A. Schmatzberger

Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Zentral-Arbeitsinspektorat

Dipl.-Ing. M. Hinker

Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA)

Fr. Dr. C. Grüner

Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart

Dr. U. Lahl und Fr. Dr. B. Zeschmar-Lahl

BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH., Oytten

Dipl.-Ing. M. Schneider

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Präsidialabteilung

Vorwort, Dank

Abfallbehandlungsanlagen müssen so betrieben werden, daß mögliche Einwirkungen auf die Umwelt minimal gehalten werden und keine Gefährdung für die in der Anlage beschäftigten Arbeitnehmer auftritt. Aus der Sicht der Hygiene haben bei der mechanisch-biologischen Behandlung von Restmüll (und Klärschlamm) vor allem Bioaerosol-Emissionen, d. h. die aus dem Abfall über den Luftweg freigesetzten Keime und Partikel, einen hohen Stellenwert.

Die vorliegende Studie beschäftigt sich vorwiegend mit der Bioaerosol-Problematik, aber auch mit anderen Fragen der Hygiene und des Arbeitnehmerschutzes an Arbeitsplätzen der biologischen Abfallbehandlung. Die Studie wurde im Zusammenhang mit der Erstellung von Grundlagen für eine technische Anleitung zur mechanisch-biologischen Behandlung von Abfällen erarbeitet. Wir weisen darauf hin, daß dazu in der Serie „Reports“ des Umweltbundesamtes der Bericht *„Grundlagen für eine Technische Anleitung zur mechanisch-biologischen Behandlung von Abfällen“* erschienen ist.

Wir danken allen Organisationen und Personen, die die Erarbeitung dieser Studie hilfreich unterstützt haben, insbesondere:

Dr. M. Loidl
Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Sektion III, Abtlg. III/3

Fr. Dr. C. Sedlatschek und Fr. Mag. A. Schmatzberger
Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Zentral-Arbeitsinspektorat

Dipl.-Ing. M. Hinker
Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA)

Fr. Dr. C. Grüner
Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart

Dr. U. Lahl und Fr. Dr. B. Zeschmar-Lahl
BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH., Oyten

Dipl.-Ing. M. Schneider
Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Präsidialabteilung

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen und Meßmethoden	3
1.1	Einleitung	3
1.2	Einige wichtige Begriffe und Abkürzungen	4
1.3	Biologische (mikrobielle) Belastung unbehandelter Abfälle	4
1.3.1	Bakterien inklusive Aktinomyzeten	5
1.3.2	Pilze (inklusive Hefepilze)	7
1.3.3	Viren	9
1.3.4	Weitere Krankheitserreger	9
1.4	Meßstrategie und Bestimmungsmethoden	10
1.4.1	Meßstrategie für Bioaerosole	10
1.4.2	Probenahme, Sammelverfahren für Bioaerosole	11
1.4.3	Bestimmung der Gesamtzahl	12
1.4.4	Kultivierungsmethoden (für die Anzüchtbare Anzahl)	13
1.4.5	Genormte Kultivierungsmethoden bei der Untersuchung von Wasserproben; technische Regeln zur Bestimmung der Keimbelastung	15
1.4.6	Extraktion zur Bestimmung der mikrobiellen Belastung der festen Abfälle	16
1.4.7	Endotoxin-Bestimmung	16
2	Bioaerosol-Belastung der Luft am Arbeitsplatz: Hintergrundwerte, Meßwerte	17
2.1	Einleitung	17
2.2	Bakterien und Schimmelpilze, Hintergrundwerte	17
2.3	Bakterien und Schimmelpilze, Meßwerte an Arbeitsplätzen in Abfallbehandlungsanlagen	18
2.4	Bakterien und Schimmelpilze: Immissionen bei Abfallbehandlungsanlagen	23
2.5	Viren und andere Krankheitserreger	24
3	Grundlagen zur Risikobewertung	25
3.1	Pathogenität	25
3.2	Allergische Reaktionen, OTDS, Mycotoxine, Endotoxine	26
3.3	Expositionspfade	29
3.4	Bewertung der Gesundheitsgefährdung anhand von Fallstudien in der Literatur	31
3.4.1	Bewertung des Infektionsrisikos nach Hautverletzungen	32
3.4.2	Risiken durch Immissionen bei offenen Anlagen	33
3.4.3	Zusammenfassung der Bewertungen	33
3.5	Vorschläge für Grenzkonzentrationen in der Literatur	33
3.5.1	Gesamtstaub und Feinstaub als Parameter zur Begrenzung der Emissionen	35
4	Vorschläge für Anforderungen an den Arbeitnehmerschutz	36
4.1	Verzicht auf manuelle Sortierung für Restmüll	36
4.2	Ausstattung von Fahrzeugkabinen	36
4.3	Leitlinien (1995) des Länderausschusses für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik; Anforderungen an Wertstoffsortieranlagen in Niedersachsen	37
4.4	Leitlinien für den Arbeitsschutz in biologischen Abfallbehandlungsanlagen (1997)	44
4.5	Anforderungsprofil an MBA-Anlagen in Thüringen	45
4.6	Vorschläge für die Überwachungspraxis nach Lahl und Zeschmar-Lahl	48
4.7	Ergänzende Hinweise für Maßnahmen zur Verringerung gesundheitlicher Risiken, insbesondere beim Umsetzen	49
4.7.1	Begrenzung der Standzeiten bei der Müllabfuhr, Maßnahmen bei der Zwischenlagerung unbehandelter Abfälle	49
4.7.2	Stabilisierung von Klärschlamm	49
4.7.3	Temperaturverlauf bei der Rotte	50
4.7.4	Umsetzen	50
4.7.5	Wasserhaushalt der Mieten	53
4.7.6	Geringe Fallhöhen beim Transport	54
4.7.7	Arbeitsmedizinische Vorsorge, Impfungen, Risikogruppen	54
4.7.8	Nachsorgeuntersuchungen	55
4.7.9	Betriebsanweisung	56

5	Vorschläge für die Ablufterfassung.....	56
6	Erlässe des Zentral-Arbeitsinspektorates in Österreich.....	58
7	Schlußfolgerungen.....	59
8	Literatur.....	60
9	Verzeichnisse.....	65
9.1	Abbildungen.....	65
9.2	Tabellen.....	65

1 Grundlagen und Meßmethoden

1.1 Einleitung

Die Behandlung von Abfällen, z. B. von Restmüll, ist im Allgemeinen mit hygienischen Risiken verbunden. Dabei werden vor allem die zwei Aspekte zu beachten sein:

- Die Gefahren für den Arbeitnehmer durch Krankheitserreger und
- die Beeinträchtigung und/oder Gefährdung der Nachbarschaft der Anlage.

Bioaerosol-Emissionen (vereinfacht gesprochen: „Keimemissionen“) sind in der Abfallwirtschaft nicht nur bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung zu erwarten. Nach ZESCHMAR-LAHL und LAHL (1996), STEINBERG (1997) und ECKRICH et al. (1996) besteht für folgende Arbeitsbereiche bzw. Prozesse erhöhte Gefahr mikrobieller Belastung:

Müllumladestation:	Müllbunker, Kipphalle, Presse, Wartungsarbeiten
Müllverbrennungsanlage:	Bunker, Wartungsarbeiten
Kompostierungsanlage und MBA-Anlage:	Anlieferungsbereich, Mühlen/Shredder, Rottehalde, Umsetzen, Sortierung, Feinaufbereitung, Wartungsarbeiten
Wertstoffsortieranlage:	Anlieferungsbereich, Aufgabe Förderband, Sortier- bzw. Leseband, Presse, Wartungsarbeiten

Bei der Planung von Abfallbehandlungsanlagen wurde in der Vergangenheit der Arbeitnehmerschutz oft zu wenig einbezogen. Dadurch ergaben sich zum Teil menschenunwürdige Bedingungen am Arbeitsplatz, die durch zahlreiche Belastungszustände gekennzeichnet sind, wie z. B.:

- Kälte (Anlagen im Freien), Wärme (Hauptrotte)
- Lärm (Transport, Rottetrommeln, Aufbereitung)
- unangenehmer Geruch
- flüchtige Abfallinhaltsstoffe
- Bioaerosole
- einseitige Körperhaltung, mangelhafte Ergonomie
- Verletzungsgefahren

Klimatisierung von Anlagen, Ablufferfassung und ähnliche Maßnahmen haben in den letzten Jahren teilweise zu einer Verbesserung der Situation am Arbeitsplatz geführt.

Über die Zumutbarkeit einer händischen Sortierung bzw. eines manuellen Umganges mit kommunalen Abfällen unter diesen teilweise verbesserten Bedingungen herrschen derzeit unterschiedliche Auffassungen. Vom Institut für Wirtschaft und Umwelt der österreichischen Bundesarbeitskammer wird z. B. die Auffassung vertreten, daß ein Verbot der händischen Sortierung anzustreben ist (GLATZ, 1994). In Deutschland hat der Länderausschuß für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI, 1995) einen Entwurf für Leitlinien zum Arbeitsschutz in Wertstoffsortieranlagen herausgegeben. Damit soll eine händische Sortierung weiterhin möglich sein, jedoch nur unter weitreichenden Arbeitnehmerschutzmaßnahmen, bei

regelmäßiger Überprüfung des Gesundheitszustandes der Beschäftigten und ausreichender Prävention gegen gesundheitliche Schäden.

Für die mechanisch-biologische Abfallbehandlung werden jedenfalls technische (inklusive bautechnische) und organisatorische Maßnahmen erforderlich sein, um das Risiko einer Schädigung auf ein akzeptables Maß zu verringern.

1.2 Einige wichtige Begriffe und Abkürzungen

Soweit Begriffsbestimmungen im Entwurf der ÖNORM EN 13098 (1. Februar 1998) vorhanden waren, wurden diese Begriffe hier übernommen.

Anzüchtbare Anzahl: *Siehe KBE*

Bioaerosole: Luftgetragene Teilchen biologischer Herkunft.

Biologischer Arbeitsstoff: Natürliche und genetisch veränderte Mikroorganismen einschließlich Zellkulturen und Humanendoparasiten, die Infektionen, Allergien oder toxische Wirkungen hervorrufen können. Mikroorganismen sind dabei alle zellularen und nichtzellularen mikrobiologischen Einheiten, die zur Vermehrung oder zur Weitergabe von genetischem Material fähig sind.

EAA: Exogen allergische Alveolitis: Besondere Form einer Allergie, bei der die Symptome erst verzögert auftreten, auch unter folgenden Bezeichnungen bekannt: „Farmerlunge“, „Holzarbeiterlunge“, „Malzarbeiterlunge“, „Käsewäscherlunge etc.

Infektionserreger: Ein Infektionserreger ist ein Agens, das in den Körper eindringt und sich hier trotz der sofort einsetzenden Abwehrreaktion festsetzt und vermehrt.

KBE (kolonienbildende Einheiten): Die Einheit, in der die Anzüchtbare Anzahl angegeben wird. Unter „Anzüchtbare Anzahl“ wird in die Anzahl von Mikroorganismen, einzelnen Zellen oder Zellaggregaten verstanden, die zur Bildung von Kolonien auf einem festen Nährmedium fähig sind. Dabei ist zu beachten, daß die „Anzüchtbare Anzahl“ alle möglicherweise stoffwechselaktiven Mikroorganismen umfasst, und einige Mikroorganismen zwar lebensfähig, aber nicht notwendigerweise anzüchtbar sind.

Risiko: Nicht einheitlich definiert, kann aber anschaulich mit der Formel „Eintrittswahrscheinlichkeit mal Schadenshöhe“ umrissen werden.

1.3 Biologische (mikrobielle) Belastung unbehandelter Abfälle

Restmüll enthält biologisch abbaubare organische Stoffe und Wasser, sodaß die Voraussetzung für die Vermehrung verschiedener Mikroorganismen bereits vor der Behandlung gegeben ist. Je nach der Standzeit der Abfallbehälter und der Temperatur wird der Restmüll unterschiedlich stark „verpilzt“ sein und damit bei der Bearbeitung bzw. Behandlung Pilzpartikel freisetzen (und auch Bakterien bzw. bakterielle Partikel).

Darüber hinaus können verschiedene Bestandteile von Restmüll, wie Fleischreste, Hygieneartikel, Windeln, Kot von Heimtieren, Eierschalen etc. Träger für Infektionserreger für Tier und Mensch sein. Gleiches gilt auch für Klärschlamm, vor allem wenn er nicht biologisch

stabilisiert ist. Der Anteil von Fleischabfällen und Knochen im Hausmüll wird in der Größenordnung auf bis zu ca. drei Prozent geschätzt (PICHLER-SEMMELOCK et al., 1996). Eine Vermehrung einschlägiger bakterieller Krankheitserreger in diesen Fleischabfällen ist möglich und daher hygienisch bedenklich.

Als Infektionserreger werden in der Literatur vor allem genannt:

- Bakterien (inklusive Aktinomyceten)
- Pilze
- Viren
- Parasiten (z.B. Endoparasiten wie Wurmeier)

Das Artenspektrum der im Müll bzw. Restmüll vorkommenden Organismen ist sehr vielfältig; das Keimspektrum gleicht einem Inhaltsverzeichnis eines Lehrbuches für Mikrobiologie. Nach MÜLLER (1996) können in Mülldeponien schätzungsweise 10^4 bis 10^5 verschiedene Spezies erwartet werden. Nicht alle im Abfall vorkommenden Mikrobenarten sind auch Infektionserreger oder Erzeuger biogener Schadstoffe.

Unbehandelter Müll bzw. Restmüll zeichnet sich durch eine im Durchschnitt hohe Bakterien-dichte aus. Dabei überwiegen „harmlose“ Bakterien wie z. B. Spezies der Buttersäure-, Propionsäure und Milchsäuregärung. Diese sind in der Regel nicht als Infektionserreger zu bezeichnen. Mit fortschreitender biologischer Stabilisierung des Abfalls sind darüber hinaus höhere Lebewesen im Abfall vorhanden.

Einige der im Abfall vorhandenen Organismen können jedoch biogene Schadstoffe, sogenannte Toxine bilden. Darauf wird hier zunächst nicht näher eingegangen. Die mit Toxinen und Infektionsgefahren verbundenen Gesundheitsrisiken werden später, im Abschnitt 3, noch näher besprochen. Im vorliegenden Abschnitt soll zunächst das „biologische Inventar“ der Abfälle beleuchtet werden, weiters werden im Abschnitt 2 Literaturwerte für Keimkonzentrationen der Atemluft an den entsprechenden Arbeitsplätzen angegeben.

Krankheitserreger für Pflanzen (phytopathogene Keime) und Tiere sind ebenfalls im Müll bzw. Restmüll zu erwarten, jedoch nur in jenem Fall von Bedeutung, wo eine Verwertung von Reststoffen aus der MBA, z. B. als Rekultivierungsmaterial für Deponien, durchgeführt wird.

1.3.1 Bakterien inklusive Aktinomyceten

Wie bereits erwähnt, liegt in Müll bzw. Restmüll stets eine hohe Anzahl an vermehrungsfähigen Bakterien und eine große Artenvielfalt vor. Stichprobenartige Bestimmungen der Anzählbaren Anzahl ergeben 10^4 bis 10^9 kolonienbildende Einheiten pro g Feuchtgewicht („Gesamtzahl“ der Bakterien); wobei Konzentrationen um 10^7 bis 10^8 KBE/g häufig sind. In der Tabelle 1 werden die wichtigsten, aus der Sicht des Gesundheitsschutzes relevanten Gattungen genannt:

Tabelle 1: Bakterien, Aktinomyceten

Im Müll bzw. Restmüll vorkommende Gattungen, nach JAGER et al.(1996) und SEIDL (1995)	Hinweis auf pathogene Arten, nach STEINBERG (1997), KAYSER et al. (1986) und andere Quellen
<i>Staphylococcus</i>	<i>Staphylococcus aureus</i> (bildet Toxine)
<i>Streptococcus</i>	Einige Arten pathogen
<i>Enterococcus</i>	-----
<i>Acinetobacter</i>	<i>A. calcoaceticus</i> : fakultativ pathogen
<i>Enterobacter</i>	<i>E. aerogenes</i> , <i>E. cloacae</i> : gelegentlich pathogen
<i>Escherichia</i>	<i>E. coli</i> : gelegentlich pathogen
<i>Citrobacter</i>	<i>C. freundii</i> : gelegentlich pathogen
<i>Hafnia</i>	-----
<i>Klebsiella</i>	<i>K. pneumoniae</i> : Pneumonie, Eiter- und Entzündungserreger
<i>Proteus</i>	<i>P. vulgaris</i> , <i>P. mirabilis</i> , <i>P. morganii</i> : gelegentlich pathogen
<i>Salmonella</i>	<i>Salmonella typhi</i> und <i>S. paratyphi</i> Typhus- und Paratyphus-Erreger <i>S. enteritidis</i> verursacht Durchfälle
<i>Serratia</i>	In seltenen Fällen pathogen
<i>Aeromonas</i>	<i>A. hydrophila</i> : sehr selten pathogen
<i>Pseudomonas</i>	<i>P.aeruginosa</i> : gelegentlich pathogen
<i>Kluyvera</i>	-----
<i>Yersinia</i>	<i>Y. pseudotuberculosis</i> : pathogen <i>Y. enterocolitica</i> : pathogen
<i>Legionella</i>	<i>L. pneumophila</i> : pathogen bei hoher Dosis
Clostridien	<i>C. tetani</i> : pathogen, Wundstarrkrampf
Actinomyceten: <i>Streptomyces</i> , <i>Saccharopolyspora</i> , <i>Saccharomonospora</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Thermocrispum</i> , <i>Nocardio-opsis</i> , <i>Actinomadura</i> , <i>Micromonospora</i> , <i>Thermoactinomyces</i> .	<i>Sap. rectivigula</i> , <i>Tha. vulgaris</i> , <i>Sam. viridis</i> , <i>Sm. olivaceus</i> , <i>Tha. sacchari</i> : Können Allergien auslösen.

Nach JAGER et al. (1991) kommen viele der genannten Gattungen - mit Ausnahme von *Salmonellen* und *Kluyvera* - sowohl im Gesamtmüll als auch in biogenen Haushaltsabfällen häufig vor. Unterschiede in der Bakteriendichte können in Abhängigkeit von der Standzeit der Sammelbehälter, der Jahreszeit und vom gesammelten Material auftreten.

Die genannten Bakteriengattungen gehören überwiegend dem „destruente“ Zweig der Biosphäre an und sind auch in der Natur für den Abbau abgestorbener oder absterbender Organismen verantwortlich. Der Abbau kann aerob oder auch anaerob erfolgen.

Thermophile Aktinomyceten sind in der Heiß- bzw. Intensivrotte in erheblichem Maße am biologischen Abbau beteiligt. VON DER EMDE (1987) stellte bis zu $1,5 \times 10^9$ KBE/g an thermophilen Aktinomyceten bei Rottetemperaturen bis 75°C fest. Die Kolonienzahlen bei der Behandlung biogener Abfälle sind in derselben Größenordnung wie bei der Rotte von Hausmüll, nur die Artenzusammensetzung ist nicht dieselbe (KEMPF und KRUTZNER, 1994).

Nach JAGER et al.(1996) betragen die Konzentrationen im Hausmüll zwischen 10^5 und 10^8 kolonienbildende Einheiten pro g. Unter den Fäkalstreptokokken befinden sich einige pathogene Arten, andere dagegen sind weitgehend harmlose Darmbewohner.

Bei anderen Arten und Gattungen ist die Häufigkeit des Auftretens im Müll, die Anzüchtbare Anzahl und damit auch die medizinische Relevanz nicht so gut bekannt. So ist z. B. der Eitererreger *Staphylococcus aureus* - ein ubiquitär vertretenes Bakterium - im Bioabfall und Restmüll vorhanden. Über die Häufigkeit des Auftretens und die Überlebensfähigkeit bei der Rotte ist jedoch im Einzelnen nichts bekannt.

Die mikrobielle Belastung von Klärschlamm ist sehr von der Behandlung des Schlammes in der Kläranlage abhängig. Frischschlamm enthält Bewohner des menschlichen und tierischen Verdauungstraktes, unter denen Krankheitserreger wie Salmonellen und Wurmeier vorkommen können. Als Indikator für mögliche Krankheitserreger wird der Enterobakteriaceengehalt (auch Enterobakteriengehalt genannt) oder der Gehalt an coliformen Keimen bestimmt. Der Enterobakteriaceengehalt von Rohschlamm liegt in der Größenordnung von 10^7 bis 10^9 KBE/g; Faulschlamm enthält dagegen nur mehr 10^4 bis 3×10^4 KBE/g (BAU, 1988).

Bei der aeroben und anaeroben Behandlung wird bei Temperaturen, die eine Hygienisierung der Abfälle bewirken, der Enterobakteriaceengehalt rapide zurückgehen. Voraussetzung ist ein Temperaturanstieg auf über 55°C , also im Wesentlichen eine thermophile Betriebsweise.

1.3.2 Pilze (inklusive Hefepilze)

Pilzmyzele sind in ankompostierten oder längere Zeit gelagerten Abfällen auch optisch erkennbar. Bezogen auf die Abfallmasse können bei einer 7- oder 14-tägigen Lagerung bzw. bei 7- bis 14-tägigem Abfuhr-Intervall im Müll etwa 10^8 KBE/g erwartet werden (STREIB, 1989, zitiert in JAGER et al., 1996). Einzelwerte bis 10^{11} KBE/g wurden ebenfalls festgestellt (SEIDL, 1995).

Einige Pilzarten können in Form von intakten, lebensfähigen Pilzpartikeln (Sporen, Konidien, Pilzmycel), oder als Exotoxinbildner oder auch als tote Fragmente von Pilzzellen (z. B. durch die enthaltenen Glucane) gesundheitsschädigend wirken.

Zum Artenspektrum: Von GÖTTLICH (1996) wurde die Pilzbelastung der Luft in verschiedenen Bereichen von Abfallbehandlungsanlagen gemessen. Dabei wurden folgende Anlagen in das Untersuchungsprogramm einbezogen:

- 1 „Hausmüllkompostwerk“ (MBA-Anlage)
- 1 Wertstoffsortieranlage
- 4 Kompostwerke (biogene Abfälle)
- Der Übernahmebereich von 2 Müllverbrennungsanlagen
- 3 Deponien

In diesen 11 Betrieben wurden insgesamt 31 Arbeitsbereiche definiert und auf Keim- und Pilzbelastung hin untersucht. Dabei konnte eine Vielzahl von Pilzarten identifiziert werden. Besonders häufig - nämlich an mindestens 10 der 31 Arbeitsbereiche (Meßplätze) - waren folgende Pilzarten nachweisbar:

Tabelle 2: Pilzarten in Abfallbehandlungsanlagen

Pilzarten	Häufigkeit			
	10 / 31	11 / 31 bis 20 / 31	21 / 31	bis 31 / 31
<i>Absidia corymbifera</i>		x		
<i>Aspergillus flavus</i> Gruppe				x
<i>Aspergillus fumigatus</i>				x
<i>Aspergillus glaucus</i> Gruppe		x		
<i>Aspergillus nidulans</i>				x
<i>Aspergillus niger</i>				x
<i>Aspergillus versicolor</i>		x		
<i>Botrytis cinerea</i>	x			
<i>Chrysonilia sitophila</i>		x		
<i>Paecilomyces variotii</i>		x		
<i>Penicillium aurantiogriseum</i>				x
<i>Penicillium brevicompactum</i>				x
<i>Penicillium chrysogenum</i>		x		
<i>Penicillium citrinum</i>		x		
<i>Penicillium corylophilum</i>		x		
<i>Penicillium crustosum</i>				x
<i>Penicillium digitatum</i>		x		
<i>Penicillium expansum</i>		x		
<i>Penicillium glabrum</i>				x
<i>Penicillium griseofulvum</i>				x
<i>Penicillium islandicum</i>		x		
<i>Penicillium italicum</i>		x		
<i>Penicillium roquefortii</i>		x		
<i>Penicillium rugulosum</i>	x			
<i>Penicillium solitum</i>		x		
<i>Penicillium variable</i>		x		
<i>Penicillium viridicatum</i>		x		
<i>Rhizomucor pusillis</i>				x
<i>Rhizopus microsporus/rhizopodiformis</i>		x		
<i>Rhizopus stolonifer</i>		x		

Unter den genannten Arten verdient vor allem *Aspergillus fumigatus* wegen seiner großen Häufigkeit in Kompostierungsanlagen, seiner Humanpathogenität und seiner allergischen Potenz Beachtung. *Aspergillus fumigatus* kann nach den Untersuchungen von REINTHALER (1997 b) wegen seiner großen Häufigkeit in der aeroben Abfallbehandlung als Leitparameter bei der Beurteilung der Emissionen verwendet werden. Die große Artenvielfalt, unterschiedliche allergene Wirkung und die Möglichkeit der Freisetzung von Toxinen macht jedoch eine toxikologische Bewertung relativ schwierig (siehe dazu Abschnitt 3). Weiters kann nicht a priori davon ausgegangen werden, daß in Lebensmittel (Käse) vorhandene Pilze und Hefen bei der Freisetzung in Aerosolform harmlos seien.

Auch Hefen wurden in Abfällen und Bioaerosolen festgestellt, durch GÖTTLICH (1996) z. B. bei mehr als 20 der insgesamt 31 Meßplätze. Hefen, insbesondere *Candida albicans*, können unter Umständen pathogen wirken.

1.3.3 Viren

Die Angaben über Viren im Müll bzw. Restmüll in der Literatur sind sehr spärlich. SEIDL (1995) nennt Milchprodukte, Fischreste und Fleischreste als mögliche Träger von Viren. Erwähnt werden dabei *Poliomyelitis-Viren*, *Hepatitis-A-Viren*, *Herpes-Viren*, *Enteroviren* und andere.

EMMERLING und RÜGER (1995) nennen wiederum *Hepatitis-Viren* und weiters Coxsackie-B-Viren und ECHO-Viren unter den Organismen, die in abfallverarbeitenden Betrieben häufiger vorkommen sollen und zum Teil humanpathogen sind.

Nach STEINBERG (1997) können folgende Virenarten mit pathogener Potenz in Klärschlamm nachgewiesen werden:

- *Picornavirus*-Viren (darunter Erreger von Kinderlähmung, Enzephalitis, Meningitis)
- *Adenovirus*-Viren (Erreger epidemischer Rachen-Bindehautentzündungen, akuter und chronischer Erkrankungen der Atemwege)
- *Hepatitis-Viren* (Epidemische Gelbsucht)

Das Vorkommen in Restmüll und die arbeitsmedizinische Relevanz ist dabei in vielen Fällen nicht ausreichend bekannt. Lediglich über Hepatitis-Viren liegen einige Untersuchungen vor.

Im Abwasser enthaltene Viren werden in Kläranlagen teilweise an den Schlammflocken adsorbiert, teilweise auch inaktiviert. Im nicht stabilisierten Klärschlamm sind damit unter Umständen hohe Virus-Konzentrationen zu erwarten. Auch in anaerob stabilisiertem Klärschlamm sind immer noch Viren zu erwarten. Eine vollständige Eliminierung tritt auch bei Faulzeiten von 40 bis 60 Tagen nicht ein (USRAEL, 1980).

1.3.4 Weitere Krankheitserreger

Als weitere Krankheitserreger sind vor allem Wurmeier und einzellige Protozoen zu nennen. Über die Verbreitung dieser Krankheitserreger durch Restmüll ist wenig bekannt; für Klärschlamm gibt es Leitlinien zur Hygienisierung vor einer landwirtschaftlichen Nutzung. Weiters könnten auch subzelluläre Krankheitserreger, wie Prionen und Viroide, von Bedeutung sein.

Helminthen (Würmer) können den Darm von Haustieren, Nutztieren und Menschen besiedeln. An erster Stelle ist hier nach KAYSER et al. (1986) die *Echinokokkose* zu nennen. Obwohl es sich um seltene Infektionen handelt, hat diese Krankheit im allgemeinen eine große Bedeutung, da ihre alveoläre Form in der Regel tödlich verläuft. Auch Spul-, Faden-, Haken- und Peitschenwürmer führen gelegentlich zu Infektionen. Die Infektionen können in der Regel gut medikamentös behandelt werden.

Unter den einzelligen Protozoen ist vor allem der Malaria-Erreger *Plasmodium*, z. B. *Plasmodium falciparum*, weithin bekannt. Er besitzt jedoch in unseren Breiten geringe Bedeutung. Dagegen können *Entamoeba histolytica* und *Giardia lamblia* bei geringerem Hygienestandard auch in gemäßigttem Klima Durchfallerkrankungen verursachen („Reisediarrhö“). Weiters zu nennen wäre hier der Toxoplasmose-Erreger *Toxoplasma gondii*.

Die Übertragung der genannten Krankheitserreger erfolgt meistens über Anopheles-Mücken (Malaria) oder orale Aufnahme (z. B. Trinkwasser). Eine Aufnahme und Verbreitung über den Luftweg ist aufgrund der zunehmenden Größe der Keime unwahrscheinlich.

1.4 Meßstrategie und Bestimmungsmethoden

Wie bereits erwähnt, werden Suspensionen von biologischen bzw. biogenen Partikeln in der Luft, wie Blütenstaub, Viren, Bakterien, Pflanzenteilen, Blütenpollen etc. als „Bioaerosole“ bezeichnet. Die in der Luft schwebenden Partikel können als frei schwebende Zellen einzelner Mikroorganismen, gebunden an feste oder flüssige Partikel (also an andere Aerosole) oder als sogenannte Cluster existieren. Cluster sind Aggregate von Mikroorganismen (also mehrere Zellen).

Für eine nachvollziehbare Bestimmung der Aerosol-Belastung müssen die Probenahmestellen, das Sammelverfahren, die Kultivierungsmethoden und die Auswerteverfahren festgelegt werden. Wenn das Sammelverfahren eine Flüssigkeit liefert, in der sich nach der Probenahme die zu bestimmenden Mikroorganismen befinden, dann muß auch die Aufbereitung dieser Flüssigkeit im Labor festgelegt werden.

1.4.1 Meßstrategie für Bioaerosole

Vorschläge für eine Vorgehensweise bei Messungen von Bioaerosolen werden in der TRBA 405 „Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe - Anwendung von Meßverfahren für luftgetragene biologische Arbeitsstoffe“ festgehalten. Als erster Schritt ist hierbei eine Bestandsaufnahme vorgesehen, bei der die Verhältnisse am Arbeitsplatz ermittelt werden. Dazu werden Informationen über den Arbeitsbereich und die möglicherweise vorkommenden Viren, Bakterien und Pilze ermittelt. Dann können Übersichtsmessungen mit einem begrenzten Aufwand an Analytik (begrenzte Probenzahl) durchgeführt werden.

Danach kann die mittlere Konzentration über eine Schichtlänge bestimmt werden, wie auch die Konzentration bei Expositionsspitzen. Es können Messungen in der Nähe von Emissionsquellen durchgeführt werden, und auch spezifische Kontrollen der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen.

Bei einer Messung über eine Schichtlänge (8 Stunden) sind gemäß TRBA 405 folgende Anzahl von Proben nötig:

Tabelle.3: Mindestanzahl der in 8 Stunden erforderlichen Proben

Probenahmedauer	Probenanzahl	Meßergebnis soll angegeben werden als:
bis 5 min	≥ 12	Median
15 min	≥ 6	Median
60 min	≥ 2	arithmetischer Mittelwert

Messungen von luftgetragenen Stoffen am Arbeitsplatz sind grundsätzlich in Kopfhöhe bei repräsentativen Betriebszuständen und bei repräsentativer Raumbelüftung (Luftwechselrate wie sonst immer) durchzuführen. Bei Messungen im Freien ist zu beachten, daß die meteorologischen Randbedingungen einen entscheidenden Einfluß auf das Meßergebnis haben.

Die Beurteilung von offenen Systemen und Systemen unter Dach im Hinblick auf den Arbeitnehmer- und Immissionsschutz ist daher mit verhältnismäßig großen Unsicherheiten behaftet.

Der Entwurf der ÖNORM EN 13098 (1.2.1998) merkt an, daß Schwankungen in den Expositionen viel höher als die Genauigkeit der Meßverfahren sein kann. Geometrische Standardabweichungen (GSD) von 4 bis 6 sind nicht unüblich; als Folge davon ist die Unsicherheit bei der Abschätzung der Langzeitexposition aus einer einzigen Messung hoch.

Aufgrund der begrenzten Lebensdauer vieler Mikroorganismen müssen die entnommenen Proben rasch (in der Regel am Tag der Probenahme) weiterverarbeitet werden. Eine automatisierte Probenahme für eine spätere, zeitlich versetzte Analyse - wie bei vielen chemischen Parametern - ist kaum möglich.

1.4.2 Probenahme, Sammelverfahren für Bioaerosole

Die Sammelverfahren können nach BIA (1995), KÖHLER (1996), EN 13098 (Entwurf, 1998) und BÖHM (1996) eingeteilt werden in:

- Sedimentation
- Sammlung auf klebrigen Oberflächen
- Impaktion
- Filtration (z. B. Gelatinefiltermethode)
- Impingement (Verwendung von Waschflaschen)
- Thermo- und Elektropräzipitation

Das für die Probenahme verwendete Gerät muß eine bekannte und dokumentarisch erfaßte Probenahmewirksamkeit aufweisen und reproduzierbare Daten liefern.

Sedimentation und Sammlung auf klebrigen Oberflächen sind semiquantitative Methoden, die für den Fall der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung von geringer Bedeutung sind.

Impaktion ist die Abscheidung von Aerosolen aus einem Luftstrom, die auf dem Trägheitsprinzip beruht: In einem Luftstrom, der seitlich abgelenkt wird, können die darin vorhandenen Partikel aufgrund der Trägheit dem Luftstrom nicht oder nur teilweise folgen. Sie können damit auf festen Oberflächen - z. B. Nährböden abgeschieden werden. Nach diesem Prinzip funktioniert z. B. der Andersen-Sammler (Andersen-Kaskaden-Impaktor).

Neben der Impaktion auf feste Oberflächen gibt es auch noch die sogenannte virtuelle Impaktion. Dabei werden die zentrifugal abgeschiedenen Partikel nicht auf einem Feststoff, sondern in einem kleineren Luftstrom abgezogen (näheres siehe bei KÖHLER/1996 bzw. BÖHM/1996).

Der Andersen-Sammler ist ein 6-stufiger Impaktor. Sechs Petrischalen mit festem Nährboden (Nähragar) sind übereinander angeordnet. Oberhalb jeder Schale befindet sich eine durchlöchernte Scheibe, durch welche die angesaugte Luft strömt. Der Durchmesser der Löcher nimmt von Scheibe zu Scheibe ab. Dementsprechend steigt die Strömungsgeschwindigkeit der Luft von Scheibe zu Scheibe. Daraus folgt, daß sich auf der Oberfläche des obersten Nährbodens die größten Teilchen absetzen und auf dem untersten die kleinsten. Durch die Abstufung der Strömungsgeschwindigkeit kann also eine nach Teilchenmasse

differenzierte Abscheidung erreicht werden. In der Bewertung der Ergebnisse kann dem Kollektiv der auf den Petrischalen 4 bis 6 abgeschiedenen Partikeln Lungengängigkeit zugeschrieben werden, während auf den ersten drei Petrischalen vorwiegend größere, nicht lungengängige Partikel abgeschieden werden (ECKRICH et al., 1995, KÖHLER, 1996).

Bei den Bemühungen um eine Standardisierung von Meßmethoden sind in Deutschland inzwischen Fortschritte erzielt worden. Vom Ausschuß für Biologische Arbeitsstoffe (ABAS) stammt die Technische Regel Nr.430 für biologische Arbeitsstoffe (TRBA 430). Die TRBA 430 wurde vom Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung im Bundesarbeitsblatt 1/1997 herausgegeben der Titel lautet:

„Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilz/Hefenkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz“.

Eine entsprechende Technische Regel zur Probenahme bzw. Bestimmung von Bakterien in der Luft ist derzeit in Vorbereitung (GRÜNER, 1997).

In Deutschland wird neben dem Andersen-Sammler auch der Reuter-Centrifugal-Sammler-Plus (RCS-Plus) und der MD8-Sammler der Fa. Sartorius häufig verwendet. Der RCS-Plus funktioniert ebenfalls nach dem Impaktions-Prinzip; der MD8-Sammler ist ein Gerät für die Membranfiltermethode. Der Gelatinefilter wird anschließend an die Probenahme in physiologischer Kochsalzlösung aufgelöst und einer weiteren Bearbeitung zugeführt.

Nachteile, die KÖHLER (1996) zur Impingement- und auch zur Gelatinefilter-Methode aufzählt - z. B. die Einschränkung auf Lufttemperaturen unter 30 °C und relativen Luftfeuchtigkeiten unter 80 % bei Gelatinefiltern - sprechen aber eher für die Verwendung von Impaktoren. Aber auch bei der Verwendung von Impaktoren bestehen noch zahlreiche offene Fragen, z. B. bei der Effizienz des Andersen-Abscheiders bei hoher Anzüchtbare Anzahl.

Für weiterführende Informationen über Probenahmemethoden und Probenahmegeräte sei auf die Veröffentlichungen von BÖHM (1996), der BIA (1997) und auf den Entwurf der Ö-NORM EN 13098 (1. Febr. 1998) verwiesen.

Die ÖNORM EN 13098 enthält auch einige Angaben zum Transport und zur Lagerung von Proben (Transportzeit, Temperatur etc.).

1.4.3 Bestimmung der Gesamtzahl

Als „Gesamtzahl der Mikroorganismen“ wird im Entwurf der ÖNORM EN 13098 (1998) die „Anzahl der einzelnen Zellen (oder als eine andere entsprechende Maßeinheit) bestimmten Mikroorganismen“ definiert. Hierzu gehören sowohl die lebensfähigen als auch die nicht lebensfähigen Mikroorganismen. Bei lebensfähigen Mikroorganismen unterscheidet man wiederum „Anzüchtbare“ (stoffwechselaktive) und nicht stoffwechselaktive, lebensfähige Mikroorganismen.

Die Gesamtzahl kann somit nicht auf Nährmedien (durch Kultivierung) bestimmt werden. Für die Bestimmung der Gesamtzahl werden primär mikroskopische Methoden, bei der die einzelnen Zellen ausgezählt werden, verwendet. Zu nennen wären hierbei z. B. die Lichtmikroskopie, die Epifluoreszenzmikroskopie und die Raster-Elektronenmikroskopie (scanning electron microscopy, SEM).

Die Gesamtzahl der Mikroorganismen ist – wie auch der anzüchtbare Anteil - mit Bezug auf eine Flüssigkeits- oder Abluftmenge anzugeben, jedoch nicht in der Dimension „KBE“ sondern z. B. in der Dimension „Mikroorganismen je m³“.

1.4.4 Kultivierungsmethoden (für die Anzüchtbare Anzahl)

Die große Anzahl von Arten kann bei der Bewertung der Bioaerosol-Belastung am Arbeitsplatz aus wirtschaftlichen und organisatorischen Gründen natürlich nicht im Detail bestimmt werden. Als Standard-Nährböden werden entweder spezifische Nährböden eingesetzt, auf denen bestimmte Gruppen von Mikroorganismen bevorzugte Nährstoff- und Mineralzusammensetzungen für ein Wachstum bei definierter Temperatur und definierter Luftfeuchtigkeit vorfinden, oder auch möglichst „universelle“ Nährböden. Man bestimmt also sozusagen „mikrobielle Summenparameter“.

Die wichtigsten dieser Summenparameter sind:

1. Anzüchtbare Anzahl (berechnete Summe aus 2 und 3)
2. Anzüchtbare Anzahl der Bakterien (Bakterienzahl)
3. Schimmelpilze
4. Gramnegative Stäbchen
5. Coliforme Keime
6. Thermophile Aktinomyceten

Bei den einschlägigen Untersuchungsmethoden wird zwischen Nachweis und Auszählung von Organismen bzw. Gruppen (Familien) unterschieden. Ein Nachweis führt zu Aussagen wie

„Organismus (Gruppe) XXX ist in 100 ml Wasser nachweisbar“ oder

„Organismus (Gruppe) XXX ist in 100 ml Wasser nicht nachweisbar“

Bei der Bestimmung der Keimbelastung von Wasser - z. B. bei der Qualitätskontrolle von Trinkwasser und Wasser für die Lebensmittelindustrie - haben sich schon seit längerem bestimmte Kultivierungsmethoden etabliert. Auf diese Kultivierungsmethoden wird im Abschnitt 1.4.5 noch näher eingegangen.

Viele Mikroorganismen sind in bezug auf die Milieu- und Nährstoffbedingungen unempfindlich und vermehren sich daher auf unterschiedlichen Nährmedien. Es gibt aber auch Organismen, die ganz spezielle, selektive Milieu- und Nährstoffbedingungen bei der Untersuchung erfordern. So wurde z. B. für *Leuconostoc mesenteroides* ein Nährmedium entwickelt, das mehr als 40 Bestandteile enthält.

Ein wichtiger Faktor für das Wachstum von Mikroorganismen auf Nährböden ist der pH-Wert. Pilze bevorzugen niedere pH-Werte; werden komplexe Nährböden verschiedener pH-Werte z. B. mit Boden beimpft, dann kommen bei pH=5 vorwiegend Pilze, bei pH=8 jedoch vorwiegend Bakterien zur Entwicklung (SCHLEGEL, 1981). Nur wenige Bakterienarten sind bei pH-Werten um oder unter 5 säuretolerant.

Durch die Wahl verschiedener Temperaturen wird das Ergebnis - ausgedrückt als „Kolonienzahl“ - von mikrobiologischen Untersuchungen auch bei sonst gleichbleibenden Nährstoff- und Kultivierungsbedingungen stark verändert. Zu beachten ist auch, daß strikt anaerobe Organismen nur bei Ausschluß von Sauerstoff kultiviert werden können. Die Kultivie-

rung anaerober Bakterien ist aufwendig und erfordert z. B. entlüftete, ausgekochte Nährlösungen, luftblasenfrei verschlossene Flaschen, sauerstofffreie Gasatmosphären, den Einsatz von Sauerstoffabsorptionsmitteln, etc. Umgekehrt ist für eine gute Sauerstoffversorgung in Flüssigkulturen eine kontinuierliche Belüftung erforderlich (z. B. Schüttelkulturen).

Durch die Zugabe von Fungiziden und Bakteriziden kann erreicht werden, daß in Nährmedien, die sonst aufgrund ihrer Zusammensetzung einer eher breiten Palette von Mikroorganismen als Lebensgrundlage dienen können, das Wachstum von Bakterien bzw. Pilzen wesentlich eingeschränkt wird. Damit kann z. B. eine flächenhafte Überwucherung von Agar-Medien, welche bei zu hoher Keimbelastung eintritt, in vielen Fällen vermieden werden. Ein Beispiel dafür wären z. B. die von ECKRICH et al. (1995) bei der Untersuchung von Abfallbehandlungsanlagen eingesetzten Nährmedien:

Tabelle 4: Beispiel für Kultivierungsmethoden, nach ECKRICH et al. (1995):

	Nährmedium	Bebrütung	Biozid-Zusatz
Gesamt-bakterien	Casein-Sojabohnenmehlpepton-Agar (Oxoid CM 131)	24 bis 72 h bei 37°C	Fungizid: 0,3 g/l Actidion (Serva 10700)
gramnegative Stäbchen	McConkey-Agar (Oxoid Nr.3)	24 bis 72 h bei 37°C	Fungizid: 0,3 g/l Actidion (Serva 10700)
Aktinomyceten	Aktinomyceten Isolation-sagar mit Zusatz von 5 g/l Glycerol	ca.3 Wochen bei 50°C; Auswertung alle 3 Tage	Fungizid: 0,05 g/l Cycloheximid (Sigma C7698) 0,05 g/l Nystatin (Sigma N3503)
Aspergillen	Malzagar mit Zusatz von 0,2 % Tannin, pH=5	24 h bei 37°C anschließend 24 bis 72 h bei 22°C	-----
Schimmelpilze	Malzagar (Merck 5391) und Agar (Oxoid Nr.1), 5:3	24 h bei 37°C anschließend 24 bis 72 h bei 22°C	Bakterizide bzw. Bakteriostatika: 0,1 g/l Penicillin und 0,2 g/l Streptomycinsulfat

Nährmedien und Kultivierungsmethoden für Aktinomyceten werden bei VON DER EMDE (1987) sowie bei KEMPF und KRUTZNER (1994) beschrieben. Zu beachten sind die großen Generationszeiten, d. h. das verhältnismäßig langsame Wachstum der Aktinomyceten.

Zur Bestimmung von pathogenen Viren werden auf besonderen Kulturmedien gezogene Zellkulturen menschlicher oder tierischer Zellen verwendet. Diese werden durch besondere Techniken in einzelliger Schicht aufgetragen und beimpft. Viren erzeugen in den so vorbereiteten Zellkulturen sogenannte *plaques* (Löcher). Somit wird auch die Virus-Konzentration in der Originalprobe, aus der das Impfmedium gewonnen wurde, in der Einheit „plaques-forming-units (PFU)“ angegeben.

1.4.5 Genormte Kultivierungsmethoden bei der Untersuchung von Wasserproben; technische Regeln zur Bestimmung der Keimbelastung

Gemäß dem Handbuch „Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung“, herausgegeben u. a. vom Normenausschuß Wasserwesen im DIN, existieren derzeit folgende DIN-, ISO- bzw. EN-Normen zur Bestimmung der Keimbelastung von Wasser bzw. Abwasser:

Tabelle 5: DIN- und EN- Normen zur Keimbelastung von Wasser

Norm	Ausgabe	Titel
DIN 38.411 Teil 1	Feb. 1983	Vorbereitung zur mikrobiologischen Untersuchung
DIN 38.411 Teil 5	Feb. 1983	Bestimmung vermehrungsfähiger Keime mittels Membranfilterverfahren
DIN 38.411 Teil 6	Juni 1991	Nachweis von <i>Escherichia coli</i> und coliformen Keimen
ISO 6461-1 bzw. EN 26461-1	April 1993	Nachweis und Zählung der Sporen sulfitreduzierender Anaerobier (<i>Clostridien</i>)
DIN 38.411 Teil 8	Mai 1982	Nachweis von <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Vornorm DIN V 38.411 Teil 9	Jan. 1993	Bestimmung von Enterobacterial Common Antigen (ECA) zum Nachweis von Lactose-fermentierenden <i>Enterobacteriaceae</i>

Der Teil 5 der DIN 38.411 enthält keine Angaben über Kultivierungsbedingungen. Es wird im Teil 5 auf den Teil 8 der Norm (Nachweis von *Pseudomonas aeruginosa*) verwiesen. Im Teil 8 jedoch werden nur flüssige Nährböden (z. B. Malachitgrün-Pepton-Lösung) für die Anreicherung oder Nährmedien für die Isolierung und Identifizierung von Reinkulturen von *Pseudomonas aeruginosa* genannt. Eine Empfehlung für einen „möglichst universellen festen Nährboden“ für die Bestimmung einer möglichst großen Zahl von Bakterien wird in DIN-Normen damit nicht ausgesprochen.

Der Nachweis von *Escherichia coli* und coliformen Keimen (Teil 6 der DIN 38.411) gilt als Zeichen einer fäkalen Wasserverschmutzung. Als „coliforme Keime“ nennt die betreffende Norm: „diejenigen Bakterien aus der Familie *Enterobacteriaceae* bezeichnet, die bei $36\pm 1^{\circ}\text{C}$ Lactose unter Gasbildung vergären können; sie gehören überwiegend den Gattungen *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* und *Klebsiella* an.“ Weiters setzt diese Norm voraus, daß die Cytochromoxidase-Reaktion bei *E. coli* und coliformen Keimen negativ ausfällt. Der Teil 6 enthält jedoch keine Angaben zur Zählung von *E. coli* oder coliformer Keime.

Zum Nachweis von Darmbakterien kann man auch immunologische Methoden verwenden, z. B. die methodischen Vorschläge der DIN V 38.411 Teil 9. Bei diesen Methoden wird das sogenannte Enterobacterial Common Antigen (ECA) nachgewiesen. Eine Quantifizierung der Darmbakterien durch immunologische Methoden ist nach DIN nicht vorgesehen. ECA ist ein Antigen, welches spezifisch bei der Bakterienfamilie *Enterobacteriaceae* vorkommt.

Sulfitreduzierende Anaerobier (*Clostridien*) kommen ebenfalls in menschlichen und tierischen Exkrementen vor. Sporen überleben im Wasser länger als z. B. *E. coli* und coliforme Bakterien und können damit einen Hinweis auf eine weiter zurück liegende Verunreinigung (z. B. des Grundwassers) geben. Zu beachten ist dabei, daß *Clostridien* auch im Boden und Gewässern weit verbreitet sind.

Der Nachweis von *Pseudomonas aeruginosa* ist vor allem für die Wartung und Hygiene bei öffentlichen Bädern von Bedeutung.

1.4.6 Extraktion zur Bestimmung der mikrobiellen Belastung der festen Abfälle

Wie bereits erwähnt, ist es nicht möglich, in einem einzigen Kultivierungsverfahren sämtliche hygienisch bedenklichen oder gar alle lebensfähigen Mikroorganismen zu bestimmen. Darüber hinaus steht derzeit keine Methode zur Verfügung, mit der es gelingt, sämtliche in einem bestimmten Kultivierungsverfahren vermehrungsfähige Organismen aus dem festen Abfall zu extrahieren oder sonstwie zu erfassen.

JAGER et al. (1991) haben den Abfall in einer Mischtrommel mit Wasser und einem Extraktionshilfsmittel (Tween 80) extrahiert bzw. in Suspension gebracht. Der Überstand wurde untersucht. Bei dieser Vorgangsweise gelangt man zu einer groben Abschätzung der im Abfall vorliegenden Gesamtzahl der vermehrungsfähigen Organismen. Möglicherweise liefert die von JAGER et al. gewählte Vorgangsweise jedoch schwer reproduzierbare Ergebnisse, z. B. bei unterschiedlicher Sedimentationszeit des Überstandes. Angaben zu einer „Gesamtkeimzahl“ o. dgl. aus der Literatur, die sich auf die Abfallmasse oder die Abfall-Trockensubstanz beziehen, sind somit entsprechend kritisch zu betrachten.

1.4.7 Endotoxin-Bestimmung

Die Endotoxinmenge ist gemäß ÖNORM EN 13098 „mit einem LAL-Verfahren oder einem anderen Verfahren, mit dem man die biologische Aktivität messen kann“ zu bestimmen.

„LAL“ ist die Abkürzung für „Limulus-Amoebocyten-Lysat“; d. h. es wird in der ÖNORM EN 13098 die Limulus-Methode empfohlen, die darauf beruht, daß bestimmte Lipopolysaccharide (eben Endotoxine) ein Amöbozytenlysate des Pfeilschwanzkrebsses *Limulus polyphemus* zum Gelieren bringen.

Das verwendete Verfahren sollte gegen ein bekanntes Standard-Endotoxin validiert sein.

2 Bioaerosol-Belastung der Luft am Arbeitsplatz: Hintergrundwerte, Meßwerte

2.1 Einleitung

In den folgenden Abschnitten werden Daten zur Hintergrundbelastung und zur in der Praxis beobachteten Belastung am Arbeitsplatz dargestellt. Dabei wird im Wesentlichen unterscheiden zwischen

- „Hintergrundwerten“ und
- Belastungen an Arbeitsplätzen bei von Abfallbehandlungsanlagen.

2.2 Bakterien und Schimmelpilze, Hintergrundwerte

Von SEIDL (1995) werden aus verschiedenen Literaturstellen Konzentrationsbereiche, die in der Außenluft vorgefunden wurden, zusammengefaßt. Die vorgefundenen Kolonienzahlen sind offensichtlich von den jeweiligen örtlichen und meteorologischen Situationen abhängig.

Literaturangaben für „unbeladene Außenluft“, zitiert in SEIDL (Buchstabe a bis h):

- a) bis $3,5 \times 10^2$ KBE/m³ im Winterhalbjahr, nach RÜDEN et al.(1978)
- b) 10 bis 2×10^3 KBE/m³
- c) 10 bis 1×10^4 KBE/m³
- d) 100 bis 10^3 KBE/m³
- e) maximal 11 KBE/m³ thermophile Aktinomycceten in städtischer Außenluft
- f) im Mittel 23 KBE/m³ Thermoactinomycceten in städtischer Außenluft
- g) im Mittel 42 KBE/m³ mesophile Aktinomycceten in städtischer Außenluft
- h) Einzelne Konidienzahlen für die Pilzbelastung liefern jedoch höhere Meßwert in der Außenluft (deutlich $> 10^4$ KBE/m³).

Nach PIPKE (1995) enthält Außenluft etwa 10^2 KBE/m³, unter bestimmten Umständen jedoch bis 10^3 KBE/m³.

Aspergillus fumigatus: Nur selten werden 500 KBE/m³ überschritten. Die Bandbreite reicht von 10 bis 10.000 KBE/m³ (PIPKE, 1995).

Aspergillus fumigatus: 0 bis 24 KBE/m³ (STARK et al., 1991)

Aspergillus fumigatus: 0 bis 14 KBE/m³, im Mittel 3,2 KBE/m³ (STARK et al, 1991)

Aspergillus fumigatus: 2 KBE/m³ (EPSTEIN und EPSTEIN, 1989)

„Schimmelpilze“: maximal 4×10^2 KBE/m³ (REISS, 1986)

„Schimmelpilze“ im Winterhalbjahr: maximal 10^3 KBE/m³ (RÜDEN et al., 1978)

SENKPIEL und OHGKE (1992), zit. in STEINBERG (1997) fanden in der Außenluft bei Lübeck folgende Schimmelpilz-Sporenkonzentrationen:

Schimmelpilze, Median im Sommerhalbjahr: 107 KBE/m³

Schimmelpilze, Median im Winterhalbjahr: 40 KBE/m³

BOTZENHART (1979), zit. in STEINBERG (1997), gibt Größenordnungen für Keimkonzentrationen („Luftkeime“) an, die üblicherweise zu erwarten sind:

Tabelle 6: Keimkonzentrationen innerhalb von Gebäuden und in der Außenluft, nach BOTZENHART (1979)

Luftkeime: KBE/m ³	Raumluft	Außenluft
bis 10	Nach Entkeimung	In besonders sauberen Zonen und unter turbulenzarmen Witterungsverhältnissen
bis 100	Wenig benutzte Räume oder bei kontinuierlicher Keimreduktion	Häufig in ländlichen, staubarmen Gebieten
bis 1000	Wohn- und Arbeitsräume	Bei stärkerer Luftturbulenz und bei Staubeintrag
bis 10000	Räume mit hoher Arbeitsaktivität, in Tierställen und bei technisch bedingten Luftverunreinigungen	Kurzzeitig zu beobachtende Spitzenwerte
10000 und mehr	In Tierställen, und bei technisch bedingten Luftverunreinigungen	-----

Die bisher genannten Keimkonzentrationen (bis 10.000 KBE/m³) werden gewöhnlicherweise auch bei anderen Arbeitsplätzen nicht überschritten. Eine Ausnahme stellen jene Arbeitsplätze in der Lebensmittelindustrie dar, bei denen Pilzkulturen eingesetzt werden (z. B. Edelschimmelpilz-Käseerzeugung), sowie bestimmte Arbeitsvorgänge in der Landwirtschaft. So kann z. B. beim Wenden von feuchtem, angeschimmeltem Heu am Arbeitsplatz des Landwirtes eine Konzentration von *Aspergillus fumigatus* bis zu etwa 20.000.000 KBE/m³ erreicht werden (STARK et al., 1991).

2.3 Bakterien und Schimmelpilze, Meßwerte an Arbeitsplätzen in Abfallbehandlungsanlagen

In der Literatur finden sich verschiedene zusammenfassende Darstellungen zur mikrobiellen Belastung an Arbeitsplätzen der Abfallverwertung und -behandlung. Die entsprechenden Tabellen oder Listen haben oft den Nachteil, daß die Ursache für die Keimemissionen nicht nachvollziehbar sind, da Hinweise über die technische Ausstattung der Anlagen und die Art der Betriebsweise, welche in den ursprünglichen Datenquellen teilweise verfügbar sind, nicht in eine zusammenfassende Darstellung übernommen wurden. So ist z. B. nicht ersichtlich, ob Maßnahmen gegen ein Austrocknen der Mieten getroffen werden, ebenso fehlen oft Angaben zum Abluffertfassungssystem. Trotz dieser Vorbehalte soll hier eine Tabelle aus der neueren Literatur dargestellt werden.

Tabelle 7: Keimbelastung an Abfallbehandlungsanlagen, n. ECKRICH et al. (1995)

Anzahl und Art der Anlagen	Gemessene Maximalwerte	Gesamtbakterien KBE/m ³	gram-negative Stäbchen KBE/m ³	Schimmelpilze KBE/m ³	Gesamtkeime KBE/m ³
1 Müllumladestation	Kipphalle Zugang Steuerkabine Müllbunker Abluft vor dem Filter	74.000 41.000 4.600.000 320.000		77.000 52.000 36.000.00 0 250.000	
4 Kompostwerke	Reaktorkompostierung belüftete Mietenaußen belüftete Mieteninnen bel. „Matratzenmieten“		500 18.200 58.600 11.400	2.600 18.500 5.700 250.000	2.700 185.000 836.000 250.000
2 Kompostwerke	Mischen Rohkompost Mischen Reifkompost Rohluft vor dem Biofilter	59.100 >>84.000 28.000	14.100 2.700 600	22.200 38.900 1.900	
1 Kompostwerk	Abfallaufgabe Mühlenauslaß		>28.000 500.000		
4 Kompostwerke	Anlieferung Handsortierung Rottehalle Entleerung der Boxen				38.300.00 0 600.000 70.000.00 0 266.000
6 Kompostwerke	Rottehalle Radlader- Fahrerkabine			1.100.000 9.800.000	
3 Wertstoffsortieranlagen	Annahmehalle Handsortierung Papierpresse		9.100 54.700 5.200	15.500 142.000 16.400	276.000 148.000 63.500
2 Wertstoffsortieranlagen	Halle/Aufgabe Förderband Sortierband, manuell	7.200 14.700	300 7.300	71.000 >84.000	
1 Kompostwerk a)	Leseband In der Rottehalle Vor dem Shredder		750 4.600 620	50.500 24.500 44.200	16.500 55.700 54.500

a) In der letzten Zeile wurden die von den o. g. Autoren selbst bestimmten Daten eingetragen (gerundet).

Die Tabelle zeigt, daß keine unmittelbare Übertragung von Daten von einer Anlage auf eine andere Anlage möglich ist. In Abhängigkeit von der Technologie und der Betriebsweise der Anlage treten sehr unterschiedliche, teilweise sehr hohe Keimbelastungen auf.

SCHMIDT (1994) stellte eine stark unterschiedliche Bioaerosol-Belastung bei der Kompostierung biogener Abfälle im Vergleich zur Müll-Klärschlamm-Kompostierung fest. Als Anzüchtbare Anzahl gemessen, wurden in den Bereichen Handsortierung oder Kompostaustrag bei der Behandlung biogener Abfälle in 3 Anlagen unterschiedliche, höchstens jedoch 6×10^5 KBE/m³ festgestellt. In der von SCHMIDT untersuchten Müll-Klärschlamm-Behandlungsanlage wurden dagegen die auch in der obigen Tabelle genannten, sehr hohen Keimbelastungen (bis 7×10^7 KBE/m³ !) gemessen. Die Messungen wurden dabei in einer Höhe von 140 cm über dem Boden in einer geschlossenen Halle durchgeführt, in der mittels Radlader umgesetzt wurde. Ob bei der betreffenden Anlage Maßnahmen gegen eine Austrocknung der Mieten getroffen wurden, ist unbekannt. Das Umsetzen bzw. der Transport mit Radlader wurde von mehreren Autoren als starke Emissionsquelle für Bioaerosole beschrieben.

ECKRICH et al. (1995) identifizierten und quantifizierten auch thermophile Aktinomyceten in den Bereichen einer Kompostierungsanlage. Die Aktinomyceten-Keimzahlen sind etwa um den Faktor 5 bis 10 geringer als die Anzahl der Gesamtbakterien oder auch der Schimmelpilze. KEMPF und KUTZNER (1996) führten diesbezüglich Messungen an verschiedenen Stellen von vier Kompostierungsanlagen durch. Ihre Ermittlungen konzentrierten sich auf thermophile Aktinomyceten und - als Vertreter der thermophilen Aktinomyceten, die als EAA-Erreger bekannt sind - auf *Saccharopolyspora rectivirgula* und *Saccharomonospora viridis*. Es wurden Anzüchtbare Anzahlen bis 230.000 KBE/m³ festgestellt, wobei der Anteil der EAA-Erreger in der Regel über 50 % lag. Hohe Aktinomyceten-Belastung trat z. B. im Anlieferungsbereich auf. Es wurde der Nachweis erbracht, daß bei Anlieferung nach einer vorangehenden Berieselung mit Wasser die Keimbelastung drastisch verringert wird.

MILLNER et al. (1980) stellt beim Umsetzen von Klärschlamm bei der Kompostierung in offenem System im Abstand von 3 bis 30 m zwischen 6.300 und 12.000 KBE/m³ fest (in Windrichtung). Die Windgeschwindigkeit betrug dabei im Mittel 3,1 m/s; die Umsetzung erfolgte mittels Frontlader. 15 Minuten nach Ende des Umsetzvorganges war die mikrobielle Belastung in Windrichtung wesentlich zurückgegangen.

LEBRUN (1979) stellte - ebenfalls für ein offenes System - nur geringe Anzüchtbare Anzahlen für *Aspergillus fumigatus* fest. Die Maximalwerte lagen bei 42 bzw. 60 KBE/m³. Die Ergebnisse sind nicht auf andere Kompostierungsanlagen übertragbar. MILLNER (1980) berichtet beim Umsetzen von Klärschlamm-Kompost in einem offenen System von Pilzbelastungen zwischen 2000 und 5230 KBE/m³. Die korrespondierenden Meßwerte (jeweils in Windrichtung) für *Aspergillus fumigatus* lagen zwischen 1.390 und 5.020 KBE/m³.

CLARK et al. (1984) untersuchten vier Kompostwerke (Müllkompost, Klärschlamm etc.) in Schweden. Entlade- und Umsetzvorgänge sowie Siebtrommel liefern hohe Belastungen an *Aspergillus fumigatus* in umhausten Bereichen. In der folgenden Tabelle wird die von CLARK et al. in geschlossenen Anlagenteilen ermittelte Keimbelastung dargestellt:

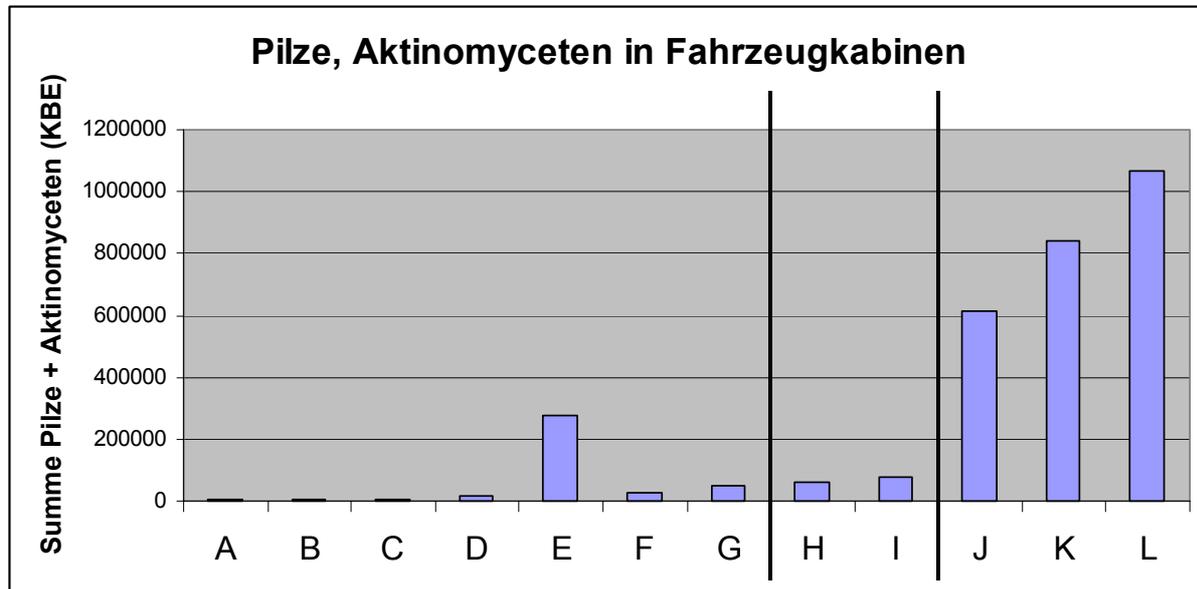
Tabelle 8: *Aspergillus fumigatus* in umhausten Bereichen verschiedener Anlagen nach CLARK et al.(1984).

Anlage/ Müll-KS- Kompostierung	Ort der Probenahme	Pro- ben	<i>Aspergillus fumigatus</i> 10^3 KBE/m ³	
			Mittelwert	Bereich
Stromstad	Kontrollraum	6	12	4,2 bis > 630
	Aufgabetrichter	6	> 640	380 bis > 1900
	Sortiertrommel	8	> 220	16 bis > 1200
Landskrona	Kontrollraum	4	10	3 bis 490
	Flachbunker	4	1,6	0,6 bis 3
	Materialbereich	8	19	19 bis > 1500
	Bioreaktor außer Betr.	2		7 bis 9
	Bioreaktor in Betrieb	2		20 / > 2600
	Trommelraum	3	21	12 bis 46
Borlange	Kontrollraum	3	0,5	0,4 bis 0,6
	Flachbunker	3	0,1	0,04 bis 0,18
	Materialbereich	6	1,5	0,58 bis 3,5
	Feinkompostabsiebung	3	85	51 bis 94
Gothenburg	Büros und Speiseraum	3	0,3	0,1 bis 0,4

Die Belastung des Rottegutes an *Aspergillus fumigatus* nimmt nach LEBRUN (1979) bei Rottetemperaturen über 60 °C innerhalb von wenigen Wochen um mehrere Zehnerpotenzen ab. Gleichzeitig kann jedoch die Austrocknung des Rottegutes bei der Behandlung die Freisetzung von Keimen in den Luftraum fördern, sodaß derzeit nicht beurteilt werden kann, ob mit fortschreitender Behandlungsdauer eine Verringerung der Gefährdung gegeben ist.

Weitere Daten aus Abfallbehandlungsanlagen werden auch bei ZESCHMAR-LAHL(1997), STEINBERG (1997) und SCHMIDT(1994) dargestellt. Schmidt nennt dabei eigene Messungen, sowie Daten aus der Literatur, nach denen Pilzkeimzahlen über 10^6 in mehreren Anlagen vorgefunden worden sind. Bei ZESCHMAR-LAHL (1997) werden unter anderem Meßergebnissen der deutschen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin bei der Hand-sortierung und aus Fahrzeugkabinen von Maschinen, die in Kompostierungsanlagen im Einsatz sind, dargestellt. Der deutliche Unterschied zwischen Fahrzeugkabinen mit und ohne Lüftungstechnische Einrichtungen zeigt, daß hier ein Nachholbedarf gegeben ist (siehe folgende Abbildung):

Abbildung 1: Anzüchtbare Anzahl (KBE) in Fahrzeugkabinen mit und ohne Lüftungstechnische Einrichtungen.



Daten aus: ZESCHMAR-LAHL und LAHL (1997)

Legende zur Abbildung:

- | | |
|---------------------|---|
| A, B, C, D, E, F, G | Radladerfahrer in 6 Anlagen, sowie 1 Fahrer eines Umsetzgerätes, ausgestattet mit Lüftungstechnischen Einrichtungen |
| H, I | Fahrer des Umsetzgerätes in 2 Anlagen, wenn die Kabinentür kurzfristig geöffnet wird |
| J, K | Radladerfahrer in 2 Anlagen, <u>ohne</u> Lüftungstechnische Einrichtungen |
| L | Fahrer eines Umsetzgerätes, <u>ohne</u> Lüftungstechnische Einrichtungen |

Aufgrund der Teilhabung von Pilzen und Aktinomyceten am aeroben Abbau organischer, biogener Stoffe sind in MBA-Anlagen analoge Belastungen zu erwarten, wenn die Fahrzeugkabinen nicht geschlossen ausgeführt und entsprechend ausgestattet sind. Für Unterschiede im Keimspektrum in der Atemluft zwischen Restabfall- und Grünabfallbehandlungsanlagen gibt es derzeit nur wenige, kaum aussagekräftige Hinweise. Eventuell treten aber bei Fäkalkeimen deutliche Unterschiede auf.

2.4 Bakterien und Schimmelpilze: Immissionen bei Abfallbehandlungsanlagen

EPSTEIN und EPSTEIN (1989) berichten von einer Kompostierungsanlage in Ontario Maximalwerte von 120 KBE/m^3 , bestimmt als *Aspergillus fumigatus*. Randbereiche dieser im offenen System betriebenen Anlage weisen dieselbe Größenordnung wie die natürliche Hintergrundbelastung auf.

Nach Untersuchungen von ECKRICH et al. (1995) sind schon im Abstand von 40 m im Lee eines Biofilters offener Bauweise nur mehr geringfügig erhöhte Keimkonzentrationen feststellbar (Bakterien, gramnegative Stäbchen, Schimmelpilze). Einschränkend ist festzuhalten, daß ECKRICH et al. Ihre Messungen für „erste orientierende“ Untersuchungen halten, aus denen keine Verallgemeinerung abzuleiten sei. Analoges gilt für Untersuchungen, die in Österreich von REINTHALER (1997 b) durchgeführt wurden, da die bei bestimmten meteorologischen Situationen und Betriebszuständen durchgeführten Messungen keine Schlüsse über die freigesetzten Staub- bzw. Bioaerosol-Frachten ermöglichen.

Bei Mülldeponien und einer Müllumladestation werden nach mehreren, bei EMMERLING und RÜGER (1995) zitierten Untersuchungen ab einer Entfernung von ca. 100 m vom Rand der Deponie keine eindeutig der Behandlungsanlage zugeordneten Keimimissionen beobachtet. Weiters führen Waldgebiete um die Anlage wahrscheinlich zu einer Verringerung der Keimbelastung.

Messungen in 5, 10, 20, 50, 100 und 500 m Entfernung im Lee von Kompostierungsanlagen lassen beim Umsetzen der Kompostmieten (Alter: 2 bis 4 Wochen, also noch biologisch sehr aktiv) eine Keimausbreitung bis auf mindestens 100 m Entfernung erkennen (BEFFA et al., 1993). Die Verringerung der Konzentrationen mit der Entfernung sind dabei allerdings erheblich. Am Kompostplatz wurden beim Umsetzen 10^6 bis 10^7 KBE/m^3 gemessen; in 100 m Entfernung im Lee 10^2 bis 10^3 KBE/m^3 , jeweils bestimmt als *aspergillus fumigatus*. Diese Werte repräsentieren auch gleichzeitig die Anzüchtbaren Pilze, da der Anteil von *aspergillus fumigatus* (Anzüchtbar) an der Pilzflora in diesem Fall bis zu 90 % betrug. Kontrollmessungen ohne Umsetzen ergaben selbst am Kompostplatz nur geringe Keimbelastungen.

Auch offene Biofilter wurden als mögliche Quellen für Keimemissionen in der letzten Zeit mehrmals diskutiert. Ausführlich mit Keimemissionen bei der Verwendung von Biofiltern hat sich PELIC-SABO (1998) beschäftigt. Die Zahl der an der Emissionsquelle emittierten Bakterien wird mit „etwa 10^2 bis 10^4 KBE/m^3 “ angegeben; die Anzüchtbaren Pilze sollen etwa dieselbe Größenordnung erreichen. Im Allgemeinen wird das Umsetzen von Mieten im Freien eine wesentlich größere Quellenstärke für Keimemissionen aufweisen als ein offener Biofilter, insbesondere wenn man durch entsprechende Dimensionierung die Strömungsgeschwindigkeit im Filter nicht zu groß werden läßt.

Wiederum ist zu beachten, daß alle vorhandenen Immissionsmeßwerte von der Meteorologie und jeweiligen Geländeform, von der Bodenfeuchtigkeit, sowie vom Bewuchs des Geländes abhängig sind. Entscheidend ist auch die Windgeschwindigkeit am Tag der Messung. Beispielsweise wurden nach einer Sturmnacht bis zu 46.000 KBE/m^3 an anzüchtbaren Mikroorganismen festgestellt (JAGER und ECKRICH, 1996).

Eine Evaluierung potentieller Beeinträchtigungen bzw. Gefährdungen wäre erst nach einer umfassenden Überprüfung von Ausbreitungsmodellen für staubgebundene Schadstoffe bzw. Bioaerosole möglich (siehe auch Abschnitt 1.5.3 „Expositionspfade“). Diese Überprüfung

übersteigt jedoch den Rahmen der gegenständlichen Literaturstudie. Auf die Darstellung weiterer Immissionsmeßwerte wird aus diesem Grund hier verzichtet.

Schwierig ist auch die Bewertung der Bioaerosol-Immissionen vor dem Hintergrund einer bereits vorhandenen Grundbelastung. Die Grundbelastung der Außenluft unterliegt einem jahreszeitlichen Verlauf, und es wäre ferner zu bedenken, daß unter ungünstigen Betriebsbedingungen die Anlage selbst (und Staubemissionen aus windstarken Tagen vor der Probenahme) die Ursache für eine erhöhte Grundbelastung im Umfeld der Anlage sein kann. Wahrscheinlich ist die Datenlage für eine Bewertung einer möglichen Immissionsbelastung durch Bioaerosole derzeit noch nicht ausreichend (ZESCHMAR-LAHL und LAHL, 1997).

2.5 Viren und andere Krankheitserreger

Über das Vorkommen von Viren und anderen Krankheitserregern in der Atemluft bei Abfallbehandlungsanlagen liegen nur wenige Daten vor. PFIRRMANN (1994) hat in zwei von drei Kompostierungsanlagen im Anlieferungsbereich regelmäßig Enteroviren und Herpes-simplex-Viren nachgewiesen. Die Konzentrationen im Anlieferungsbereich der Bioabfallbehandlung betragen ca. 40 bis 70 Enteroviren pro m³. Viren sind auch im Bunkerbereich von Müllverbrennungsanlagen in der Luft nachweisbar. Der alleinige Nachweis von pathogenen Viren in Aerosolen und die wenigen vorhandene Meßwerte lassen jedoch noch keine Rückschlüsse auf eine mögliche Gesundheitsgefährdung zu (KÄMPFER und WEISSENFELS, 1997).

Die Anwesenheit von anderen Krankheitserregern, z. B. Humanendoparasiten, in Stäuben bei Abfallbehandlungsanlagen ist wahrscheinlich; Meßwerte dazu waren dem Autor dieses Berichtes jedoch nicht bekannt.

3 Grundlagen zur Risikobewertung

3.1 Pathogenität

Die Medizin unterscheidet vereinfachend „obligate“ und „fakultativ pathogene“ Krankheitskeime. Obligat pathogene Keime sind solche, die bei jedem Menschen, auch bei einem Gesunden, eine Erkrankung bewirken können, es sei denn, der betreffende ist dagegen geimpft. Fakultativ pathogene Keime dagegen können beim gesunden Menschen auf Haut, Schleimhäuten oder in Organen vorhanden sein, ohne daß der Betreffende erkrankt. Erst wenn in irgendeiner Form eine Schwächung eintritt oder der Keim in einen anderen Bereich des Körpers übertragen wird, kann der fakultativ pathogene Keim eine Infektion auslösen. Solche Infektionen treten also primär bei Personen mit geschwächter Abwehr, etwa Leukämie- oder AIDS-Kranken oder bei Patienten, die nach einer Organtransplantation immunsuppressive Medikamente einnehmen müssen, häufiger auf. Auch starke organische Überlastung und/oder starke psychische Belastungen führen zu einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber fakultativ pathogenen Keimen.

In der Gesamtbevölkerung sind virale Erkältungskrankheiten, die meistens harmlos verlaufen, die häufigste Form der Atemwegsinfektion (Schnupfen, Heiserkeit, Halsschmerzen, Husten). Diese harmlos verlaufenden Virusinfektionen werden nicht selten durch bakterielle Infektionen verkompliziert. Man nennt dies in der Fachsprache der Medizin „Bahnung“. Eine virale Infektion bei der Behandlung von (Rest-)Müll erscheint nach HARTINGER (1995) unwahrscheinlich. Eine Bahnung nach einer auf anderem Wege erworbenen viralen Infektion kann aber die Voraussetzung für eine bakterielle Erkrankung bilden.

Nach HARTINGER wird insbesondere (nebst anderen) folgenden Mikroorganismen eine Infektionsgefahr in bezug auf Atemwegserkrankungen zugeschrieben:

Tabelle 9: Infektionsgefahren bezüglich Atemwegserkrankungen

Organismengruppe mit Infektionsgefahr für den Menschen	Kommentar zur Infektionsgefahr, nach HARTINGER (1995)
Legionellen	Aerosolbildung erforderlich
Kryptokokken	Wurden vor allem in Taubenkot nachgewiesen. HIV-positive und immunsuppressiv behandelte Personen sind potentiell gefährdet
Schimmelpilze	Infektion möglich, z. B. durch <i>Aspergillus fumigatus</i>
Aerobe Sporenbildner	Allgegenwärtig. Eine Gefährdung ist nicht nachgewiesen und auch nicht anzunehmen
Nocardien	Personen, die besonders anfällig sind, könnten über Staub eine Infektion erwerben

Weitere Infektionsgefahren bestehen durch Erreger, die andere als Atemwegserkrankungen verursachen, z. B. Salmonellen und durch Epidermophyten (Haut- und Nagelpilze). Verschiedene Pilze und Bakterien können auch die Schleimhäute befallen.

Nach der EG-Richtlinie 90/679/EWG „Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch biologische Arbeitsstoffe“ werden vier Risikogruppen an „biologischen Arbeitsstoffen“ unterschieden:

Tabelle 10: Biologische Arbeitsstoffe - Gruppeneinteilung nach EG-Richtlinie 90/679/EWG

Gruppe 1	Biologische Arbeitsstoffe, bei denen es unwahrscheinlich ist, daß sie beim Menschen eine Krankheit verursachen
Gruppe 2	Biologische Arbeitsstoffe, die eine Krankheit beim Menschen verursachen können und eine Gefahr für Arbeitnehmer darstellen können; eine Verbreitung des Stoffes in der Bevölkerung ist unwahrscheinlich; eine wirksame Vorbeugung und Behandlung ist normalerweise möglich.
Gruppe 3 Und Gruppe 4	Biologische Arbeitsstoffe, die eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen und eine ernste Gefahr für Arbeitnehmer darstellen können.

Diese Einteilung nach Risikogruppen ist speziell für den Umgang mit pathogenen Bakterien- und Virenkulturen in Laboratorien und in biotechnologischen Anwendungen, bei denen Reinkulturen verwendet werden, von größerer Bedeutung. Die Abwasserbehandlung und auch die Abfallbehandlung wird zwar im Anhang der Richtlinie ausdrücklich erwähnt, ist jedoch aufgrund der großen Artenvielfalt der betreffenden Abluft- und Abwasserströme nur in einem komplexeren, über die EU-Richtlinie hinausgehenden System der Klassifizierung einzustufen.

In Artikel 2 der Richtlinie werden die Biologischen Arbeitsstoffe als natürliche und genetisch veränderte Mikroorganismen einschließlich Zellkulturen und Humanendoparasiten definiert, die Infektionen, Allergien oder toxische Wirkungen hervorrufen können. Die Definition des Begriffs „Mikroorganismus“ ist so gefaßt, daß Viren und Viroide, nicht jedoch Plasmide und freie DNA eingeschlossen sind.

Die Erreger der Gruppen 3 und 4 sind durchaus selten, oder auch primär von Interesse für Laboratorien, die mit infektiösem Material hantieren. Von Bedeutung für die Abfallwirtschaft ist die Einstufung folgender Gattungen in die Gruppe 2 (gemäß Änderungsrichtlinie 93/88/EWG):

- *Salmonella enteritidis* (Bakterien)
- *Aspergillus fumigatus* (Pilze)
- *Candida albicans* (Hefepilze)

Von den genannten Gattungen sind in Restmüll vor allem Aspergillen und Candida-Pilze mit hoher Kolonienzahl vorhanden. Eine Infektionsgefahr ist nicht auszuschließen. Auf allergische Reaktionen durch *Aspergillus fumigatus* wird im folgenden Abschnitt noch eingegangen.

3.2 Allergische Reaktionen, OTDS, Mycotoxine, Endotoxine

Gegenwärtig sind ca. 10 bis 20 % der Bevölkerung in Europa auf verschiedene Stoffe überempfindlich (allergisch); es werden steigende Zahlen prognostiziert.

Häufige Allergene in bezug auf den Expositionspfad „Luft“ sind:

- Kot der Hausstaub-Milbe (ca. 50 % der Fälle an respiratorischen Allergien)
- Pollen (Blütenpollen)
- Tierische Antigene (z. B. Allergien gegen Katzenhaare)
- Pilzsporen

Als Allergie wird eine Überempfindlichkeitsreaktion des Immunsystems, hervorgerufen durch Antigene tierischen, pflanzlichen und mikrobiellen sowie chemischen Ursprungs bezeichnet. Nach der Art der Symptome unterscheidet man vier Typen von Allergien (I, II, III und IV). Durch Pilzsporen können Allergien des Typs I und III hervorgerufen werden:

Tabelle 11: Allergien

Allergie-Typ	Symptome z.B.	Krankheitsverlauf
Typ I = Soforttyp-Allergie	allergische Rhinitis = „Heuschnupfen“ Konjunctivitis = Rötung der Augen, Augentränen Allergisches Asthma	Tritt sofort auf. Reversibel: Symptome klingen beim Meiden des Al- lergens rasch wieder ab.
Typ III = Exogen allergische Alveolitis (EAA) = „Farmerlunge“ = „Holzarbeiterlunge“ = „Malzarbeiterlunge“ = „Käsewäscherlunge“ etc.	Grippeähnlich, Fieber, Husten Atemnot	Um Stunden verzögert. Im allgemeinen reversibel, aber irreversible Schäden sind möglich.

Allergien vom Typ I sind relativ häufig und treten schon bei verhältnismäßig geringen Keimbelastungen in der Luft auf.

Allergien vom Typ III (EAA) werden durch langanhaltende, extreme Luftbelastung durch kleine, alveolengängige Partikel ausgelöst. Im Unterschied zu Allergien vom Typ I treten die Symptome um Stunden verzögert auf. Längerer Krankheitsverlauf kann im Fall von EAA irreversible Schäden und Arbeitsunfähigkeit nach sich ziehen. Bei längerem Kontakt mit dem Antigen kommt es zur Lungenfibrose, die schlimmstenfalls eine Rechtsherz-Insuffizienz nach sich ziehen kann (RAKOSKI, 1995).

Häufige Auslöser sind neben einigen Bakterienarten und chemischen Stoffen die Schimmelpilze der Gattungen *Aspergillus* und *Penicillium*, die z. B. bei in feuchtem, angerotteten Heu oder Stroh, in Kompost, aber auch in feuchtem Holzstaub vorkommen. Auch Klimaanlage und Luftbefeuchter können (bei schlechter Wartung) Ursachen für eine Pilzbelastung der Luft sein. Nach MALMBERG, 1993 (zit. in GÖTTLICH, 1996) beträgt die Häufigkeit der EAA in der Landwirtschaft in Skandinavien 2 bis 4 Fälle pro Farmer-Kollektiv von 10.000 Bauern. Höhere Prozentsätze in der Landwirtschaft werden von RAKOSKI (1995) genannt, doch diese beziehen sich auf Tätigkeiten mit hoher Exposition.

In der ehemaligen DDR wurden EAA-Fälle zentral registriert. Eine statistische Auswertung ergab, daß 80 % der Erkrankungen im Zeitraum zwischen 1975 und 1985 auf Vogelhaltung zurückzuführen ist. Der Anteil der „Farmerlungen“, also allergischer Atemwegserkrankungen

in der Landwirtschaft betrug ca. 9 %, Schimmelpilze wurden in ca. 8 % der Fälle als auslösendes Agens genannt (KÄMPFER und WEISSENFELS, 1997).

Auch Bakterien der Aktinomycceten-Gruppe können EAA auslösen (RAKOSKI, 1995). Als Schwellenwerte für die Auslösung von EAA durch thermophile Aktinomycceten wird der Bereich zwischen 10^8 und 10^{10} KBE/m³ genannt. Die in Abfallbehandlungsanlagen und Kompostwerken gemessenen Werte für thermophile Aktinomycceten liegen deutlich unter diesen Anzuchtbaren Anzahlen (KEMPF und KUTZNER, 1994).

- Endotoxine

Verschiedene Zellwandbestandteile gram-negativer Bakterien rufen bereits in geringsten Mengen (z. B. 0,2 ng/kg) beim Menschen Fieber und bei höherer Dosierung auch andere pathophysiologische Wirkungen hervor (STEINBERG, 1997). Diese Zellbestandteile, Endotoxine genannt, bestehen aus Lipopolysacchariden (LPS), aber auch aus anderen Zellwandbestandteilen. Endotoxine werden beim Absterben und der Zersetzung (Autolyse) gram-negativer Bakterien freigesetzt und sind bei Temperaturen bis ca. 60 °C stabil.

Die Festlegung einer zulässigen Konzentration für Endotoxine ist ebenfalls umstritten. Zu beachten ist hierbei, daß die gewöhnlich verwendete Prüfmethode zur Bestimmung von Endotoxinen, der sogenannte LIMULUS-Test, bei der Anwesenheit von Dextranen, Peptidoglycanen, sowie bei gewissen Proteinen und Polynucleotide zu hohe Werte vortäuscht. Der LIMULUS-Test wird als „sehr empfindlich, jedoch mit geringer Spezifität“ eingestuft (KÄMPFER und WEISSENFELS, 1997).

Der im LIMULUS-Test bestimmte Endotoxin-Konzentration wäre eine Parameter zur Charakterisierung der Enterobakteriaceen-Belastung, wenn ein gute Korrelation zwischen Enterobakteriaceen-Gehalt und Endotoxin-Konzentration gegeben ist. Die diesbezüglichen wissenschaftlichen Untersuchungen kommen jedoch zu widersprüchlichen Aussagen (Siehe dazu die bei KÄMPFER und WEISSENFELS, 1997, zitierten Arbeiten).

Ungeachtet dessen hat man versucht, Überwachungswerte für die Abfallbehandlung bzw. -verwertung festzulegen. Bisher liegen folgende Vorschläge bzw. Empfehlungen für die Begrenzung der Endotoxin-Konzentration der Atemluft am Arbeitsplatz vor (nach JAGER et al., 1996):

Dänischer Arbeitsumweltdienst, 1990.....	0,1 µg/m ³
Niedersächsisches Sozialministerium, 1994.....	0,1 µg/m ³
Rheinland-pfälzisches Landesamt für Umweltschutz, 1994.....	0,1- 0,2 µg/m ³

- Mycotoxine, ODTS

Während Endotoxine als Zellwandbestandteile gram-negativer Bakterien vorkommen, sind Exotoxine dagegen Stoffwechselprodukte oder Enzyme, die von Pilzen und Bakterien produziert und teilweise aktiv ausgeschieden werden. Einzelne Vertreter dieser Stoffgruppen sind, wenn man sie isoliert und anreichert, hoch toxisch. Die von Pilzen gebildeten Stoffe (Mycotoxine) haben teilweise Abwehrfunktion gegenüber anderen Organismen (z. B. Penicillin). Bisher sind ca. 200 Mycotoxine bekannt (SEIDL, 1995). Daraus folgt, daß die Analyse der Mycotoxine in gemischten Pilzkulturen oder in Bioaerosolen schwierig ist, ebenso auch die Bewertung der Wirkungen. Eine Gefahr außerhalb der Abfallbehandlung und Lebensmittel-

industrie besteht bei Mycotoxinen vor allem durch die Aufnahme verschimmelter Lebensmittel.

Grundsätzlich ist bei verschiedenen Mycotoxinen auch eine unterschiedliche Dosis-Wirkungs-Charakteristik zu erwarten. Penicilline schädigen den menschlichen Organismus bei begrenzter Dosierung bekanntlich nur in seltenen Ausnahmefällen, für krebserzeugende Mycotoxine (z. B. Aflatoxine) können dagegen nach den Axiomen der Arbeitsmedizin keine wirkungsfreien Dosen angegeben werden. Aus dieser Sicht ist es fraglich, ob Richt- oder Grenzwerte für Mycotoxine festgelegt werden können.

Oft können Pilze nicht eindeutig als Verursacher von Atemwegs- und Lungenkrankheiten identifiziert werden, sodaß unterstellt wird, daß synergistische Wirkungen zwischen verschiedenen lebenden Organismen, Enzymen und sonstigen Zellbestandteilen (auch toter Zellen) die Ursachen für die Erkrankung darstellen. Dies ist z. B. bei der sogenannten „*pulmonalen Mykotoxikose*“ der Fall. Die pulmonale Mykotoxikose wurde erstmals für das Entladen von verschimmeltem Heu aus Silos beschrieben. Ob die Symptome der pulmonalen Mykotoxikose den im verschimmelten Heu enthaltenen Mycotoxinen zuzuschreiben ist, ist derzeit nicht ausreichend geklärt (GÖTTLICH, 1996). Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom „*organic dust toxic syndrome (ODTS)*“ Die Symptome der ODTS sind wiederum Fieber, grippeähnliche Symptome und Müdigkeit. Aus immunologischer Sicht kann als Ursache auch eine Überforderung des Immunsystemes postuliert werden.

Auch die Unterscheidung von Allergie des Typs I und III und Entzündungen, die durch die in toten Zellbestandteilen enthaltenen Myco- und Endotoxine verursacht werden, ist nicht in jedem Fall eindeutig.

- Beta 1,3-D-Glucane

Seit neuestem werden auch andere Zellbestandteile als krankheitsauslösende Faktoren diskutiert. Dazu gehören die von Pilzen erzeugten beta-1,3-D-Glucane (KÄMPFER und WEISENFELS, 1997).

3.3 Expositionspfade

Die Übertragung bzw. Aufnahme von Krankheitserregern und Schadstoffen kann auf verschiedenen Wegen erfolgen. Grundsätzlich kann dabei unterschieden werden:

- Ingestion: Aufnahme über die Nahrung, Trinkwasser oder Speichel
- Inhalation: Aufnahme über die Atemwege
- Inokulation: Eindringen durch Verletzung
- Hautkontakt: Aufnahme über Haut und Schleimhäute

Der wichtigste Expositionspfad für Arbeitnehmer ist der Luftpfad, also die Inhalation. Die Ausbreitung von Stäuben erfolgt in Abhängigkeit von der Korngröße. Feinste Stäube und Aerosole breiten sich in Arbeitsräumen gleichmäßig aus. Größere Stäube neigen zur Sedimentation sowie Deposition und stellen damit vor allem in unmittelbarer Nähe der Staubquelle und in räumlich unter der Staubquelle gelegenen Bereichen eine Gefahrenquelle dar.

Auch für die Anrainer wird als Expositionspfad primär der Luftweg zu betrachten sein. Im Gegensatz zur Ausbreitung von Schadstoffen bei Industrieanlagen und Kraftwerken kann die

Staubimmission bei MBA-Anlagen mit offenen Mietenrottesystemen kaum mit der erforderlichen Genauigkeit abgeschätzt werden. Immissionsprognosen sind nach MANIER (1994) nicht unproblematisch, da sie u. a. von einem räumlich konstanten Windfeld ausgehen, was aber kaum realistisch ist. Die Quellstärke läßt sich kaum angeben; stoßartige Emissionen bei offenen Flächen bzw. bei Rotteflächen unter Dach lassen sich kaum durch Ausbreitungsmodelle abschätzen. Bei geschlossenen oder vollständig umhausten MBA-Anlagen kann die Quellstärke einerseits (durch Staubfilter etc.) wesentlich reduziert werden; andererseits ist hier auch die Ermittlung einer Quellstärke in bezug auf die enthaltenen mikrobiellen Frachten möglich.

Selbst wenn die Quellstärke bekannt ist, wird die Abschätzung von Keimimissionen durch klimatische und atmosphärische Einflüsse erschwert. ECKRICH und JAGER (1996) erwähnen in diesem Zusammenhang die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Strahlungsintensität sowie atmosphärische Schadstoffe wie bodennahes Ozon, Stickoxide, Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid, die möglicherweise einen Einfluß auf die Überlebensrate beim atmosphärischen Transport haben.

Ausbreitungsmodelle gehen weiters von bestimmten Setzungsgeschwindigkeiten der Keime bzw. Pilzpartikel aus. Doch gerade hier besteht eine erhebliche Unsicherheit: Die Partikel, die als Träger für keimfähige Organismen fungieren, sind nämlich teilweise erheblich größer als die Organismen selbst. Geht man von der Größe der Organismen selbst aus, dann ist die Setzungsgeschwindigkeit sehr klein, z. B. etwa 0,03 cm/s (siehe z. B. bei STARK et al., 1991). Doch dürfte die Mehrzahl der Organismen an der Oberfläche größerer Partikel haften. Damit kann auch erklärt werden, warum nach Abschalten bestimmter Aggregate in einer Abfallbehandlungsanlage schon nach 15 Minuten weitaus geringere mikrobielle Belastungen an Arbeitsplätzen beobachtet werden (MILLNER et al., 1980).

ECKRICH und JAGER (1996) zitieren mehrere Untersuchungen - auch aus der Massentierhaltung - die aufzeigen, daß die Keimbelastungen im offenen Gelände schon in geringer Distanz zur Quelle in einem Konzentrationsbereich liegt, der der ortsüblichen Hintergrundkonzentration entspricht. Allgemeingültige Aussagen über einzuhaltenen Mindestabstände aus hygienischer Sicht sind jedoch auch in der Massentierhaltung nicht möglich.

Innerhalb der Anlage - also für die Arbeitnehmer - werden neben dem Luftpfad auch noch folgende Expositionspfade zu beachten sein:

- Aufnahme bei Berührung, durch die Haut und durch Schleimhäute
- Aufnahme durch den Verdauungstrakt (Essen, Trinken, Rauchen)
- Stich- und Schnittverletzungen
- Exposition durch „belebte Vektoren“

Grundsätzlich ist ein Transport von Krankheitserregern auch durch sogenannte belebte Vektoren möglich. Belebte Vektoren sind z. B.:

Frucht- oder Essigfliegen (Drosophila)
Goldfliegen
Fliegen im engeren Sinne (Musciden und Calliphoriden)
Ohrwürmer
Schaben
Speckkäfer
Vögel
Mäuse und Ratten

Der Transport ist jedoch unwahrscheinlich, insbesondere wenn das Eß- und Trinkverbot am Arbeitsplatz strikt beachtet wird. Die Vermehrung von Schaben und Ratten ist durch entsprechende Maßnahmen zu bekämpfen.

3.4 Bewertung der Gesundheitsgefährdung anhand von Fallstudien in der Literatur

Wie bereits erwähnt, können in Abhängigkeit von der technischen Ausstattung und Betriebsweise der Anlagen um Zehnerpotenzen unterschiedliche Keimbelastungen an Arbeitsplätzen auftreten. Weiters ist immer zu beachten, daß verschiedene Anlagen variable Abfallströme behandeln. Der Grad der Einkapselung und Ablufferfassung hat einen entscheidenden Einfluß auf die Keimbelastung am Arbeitsplatz.

MALMROS et al. (1992) haben an Arbeitern an einer dänischen Sortieranlage asthmatische Beschwerden festgestellt. Bei 8 von 15 Arbeitern, die einer starken Staubbelastung ausgesetzt waren, traten innerhalb von 5 bis 12 Monaten ein Asthma bronchiale auf, ein weiterer Arbeiter litt an chronischer Bronchitis. Nach der Aufgabe ihrer Tätigkeit klagten sechs der genannten acht Arbeiter auch nach längerer Zeit (2 Jahre) noch über Asthma bei körperlicher Belastung. Diese sechs Arbeiter und ein weiterer wurden als Berufskranke anerkannt und entschädigt. Zur Technik dieser Anlage ist anzumerken, daß eine Primär-Zerkleinerung, ein Trommelsieb und eine Hammermühle in den umhausten Bereichen vorhanden waren. Offensichtlich waren also mehrere Staubquellen vorhanden, die ohne einer ausreichenden Ablufferfassung und ohne Einkapselung zu einer massiven Staubbelastung in den Arbeitshallen führten.

Übelkeit, Kopfschmerzen und Durchfall traten bei 4 von 11 Arbeitern auf, die in einem schwedischen Müllklärschlamm-Kompostwerk in den 70er Jahren im Aufgabebereich und beim Auslaß der Mühle tätig waren. In diesem Bereich wurden hohe Konzentrationen an Fäkalkeimen in der Luft festgestellt (LUNDHOLM und RYLANDER, 1980 zitiert in EMMERLING und RÜGER, 1995 und POULSEN et al., 1995). LUNDHOLM und RYLANDER halten einen Zusammenhang mit gram-negativen Bakterien für sehr wahrscheinlich, da ähnliche Symptome auch bei Arbeitern in Kläranlagen, die Abwasser-Aerosolen ausgesetzt sind, festgestellt worden sind.

Bei Arbeitern der Abfallsammlung wurde eine höhere Wahrscheinlichkeit gastrointestinaler Erkrankungen (Übelkeit, Durchfall) festgestellt als in einer Kontrollgruppe (IVENS et al., 1996). Bei Arbeitern in Kompostwerken konnte IVENS jedoch keine signifikante Erhöhung der Erkrankungswahrscheinlichkeit bei Übelkeit und Durchfall beobachten.

Über weitere medizinische Studien zur Gesundheitsgefährdung bei Kompostwerken und Abfallbehandlungsanlagen berichten POULSEN und weitere Autoren in umfassenden Reviews (POULSEN et al., 1995).

Einige Studien kommen zu der Aussage, daß bei Beschäftigten in Abfallbehandlungs- bzw. -verwertungsanlagen keine erhöhte Erkrankungshäufigkeit (gemessen als Summe der Krankenstände) vorliegt. Auch POULSEN zitiert eine derartige Studie. Hierbei ist allerdings zu beachten, daß die Anzahl der Krankenstandstage pro Jahr noch keinen eindeutigen Hinweis auf spezifische hygienische Belastungen zuläßt.

Nach GRÜNER (1996 a und 1996 b) wurden deutliche Unterschiede zwischen Sortierarbeitern (welche in der Wertstoffsartierung tätig sind) und Deponiearbeitern festgestellt. Bei Sortierarbeitern bzw. -arbeiterinnen waren Hauterkrankungen (Rosacea, Hautjucken, seltener auch Abszesse) und Konjunktivitis häufiger anzutreffen als bei Deponiearbeitern. Die Hepatitisserologie zeigt ferner, daß die Wertstoffsartierer häufiger mit Hepatitis B in Berührung gekommen waren, denn der betreffende Antikörper war deutlich häufiger anzutreffen. Sowohl Deponiearbeiter als auch Wertstoffsartierer waren zu über 50 % gegen Hepatitis A immun, obwohl nur 3 der insgesamt 157 Personen geimpft waren. GRÜNER spricht in diesem Zusammenhang von der Möglichkeit einer ständigen Überlastung der immunologischen Abwehr (overload-Syndrom). Das subjektive Gefühl des Unbehagens, das viele der Arbeiter(innen) haben und seine Ursache in ständig aktiver körpereigener Abwehr haben kann, wird auch durch Lärm, Belastungen der Schultergelenke, monotone Arbeit, Kälte, Hitze, Gestank etc. verstärkt.

Nach GRÜNER (1997) wurden bei Kompostwerksarbeitern erhöhte IgA- und IgE-Antikörpertiter gegen Schimmelpilze oder thermophile Aktinomyzeten gemessen. Ebenso findet auch REINTHALER (1997) bei österreichischen Kompostwerksarbeitern erhöhte Ig-Werte.

Die Veröffentlichung von Daten über Haut- und Konjunktivitis-Erkrankungen bei Arbeitnehmern in Deponien und Wertstoffsartieranlagen durch das deutsche Bundesamt für Arbeitsschutz steht unmittelbar bevor; ein Zusammenhang dieser Erkrankungen mit der Sortiertätigkeit ist anzunehmen (GRÜNER, 1997).

Nach den Untersuchungen der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, die in 5 Sortier- und einer Kompostieranlage (Müllkompost) verschiedene Luftkeim- und Depositionsmessungen durchgeführt hat, werden in Nasenabstrichen und auf den Haaren von Arbeitern, die in staubbelasteten Bereichen tätig sind, häufig Keime aus der Familie Enterobacteriaceae und Enterokokken gefunden (EMMERLING und RÜGER, 1995). Die 36 im Rahmen dieser Untersuchung gezogenen Stuhlproben waren dagegen frei von pathogenen Keimen.

Auch die in Abschnitt 1.5.2 erwähnten allergischen Reaktionen, die bisher primär für Arbeitsplätze außerhalb der Abfallwirtschaft beschrieben wurden, dürfen nicht vergessen werden.

Zur Frage der Gesundheitgefährdung durch Keimemissionen aus Bioabfall-Kompostierungsanlagen liegt eine Stellungnahme des hessischen Landtages (28.5.1996) vor, nach der Hinweise aus der Bevölkerung über mögliche Gesundheitsgefährdungen durch zusätzliche Keimemissionen nicht bestätigt werden können (PELIC-SABO, 1998).

3.4.1 Bewertung des Infektionsrisikos nach Hautverletzungen

Unabhängig von den luftgetragenen Keimemissionen bestehen auch durch den Restmüll selbst Infektionsgefahren, z. B. durch Hautverletzungen. Diese müssen gesondert bewertet werden; das Risiko ist nicht vernachlässigbar. Nach MÜLLER (1996) heilen oberflächliche Verletzungen durch die hohe Anzahl von Bakterien und Pilzen bei Kontakt mit „Deponie- oder Rottematerial“ weniger gut als beispielsweise in der metallverarbeitenden Industrie oder bei Unfällen im Büro. Ein höheres Infektionsrisiko wie vergleichsweise in der Landwirtschaft oder im Gartenbau bestünde jedoch bei Verletzungen nicht. Bei tieferen Verletzungen schützen Impfungen gegen Tetanus und Desinfektion der Wunden gegen Gasbrand und Gasödem.

3.4.2 Risiken durch Immissionen bei offenen Anlagen

Die mikrobiell bedingten Risiken für die Anrainer von Kompostierungs- und Restmüllbehandlungsanlagen durch Mikroorganismen werden in der Literatur fast durchgehend als gering eingestuft (REINTHALER, 1997 b, KÄMPFER und WEISSENFELS, 1997, PELIC-SABO, 1998). Nach KÄMPFER und WEISSENFELS ist der bisher einzige bekannte Fall einer schweren Atemwegserkrankung ein an Asthma leidender Anrainer, der in nur 75 m Entfernung von einer offenen Kompostierungsanlage wohnte. Weitergehende Untersuchungen über das Ausbreitungsverhalten von Bioaerosolen und die Verifikation von Ausbreitungsmodellen fehlen jedoch derzeit.

REINTHALER (1997 b) kommt nach mehreren Messungen im Umfeld von Kompostierungsanlagen in Österreich zu der Aussage, daß bei geordneter Betriebsführung ab einer Entfernung von ca. 150 m keine erhöhten Keimbelastungen auftreten. Im Zusammenhang mit mangelhafter Betriebsführung und der möglichen Anrainerschaft von Kranken- und Heilanstalten sollten aber (nach REINTHALER) größere Abstände (z. B. > 1 km) in Erwägung gezogen werden.

Zu beachten sind jedenfalls Gesundheitsrisiken bei der Behandlung von Restmüll, die durch flüchtige (insbesondere flüchtige xenobiotische) Stoffe und Stoffwechselprodukte existieren können, jeweils in Abhängigkeit vom vorhandenen Filtersystem und von der Anlagengröße und Entfernung zur Anlage.

Keinesfalls darf eine MBA-Anlage eine Stoffsenke für gefährliche Abfälle aus Gewerbe und Industrie darstellen.

3.4.3 Zusammenfassung der Bewertungen

Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß hygienische Risiken bei der mechanisch-biologischen Behandlung vorhanden sind, aber auch, daß diese Risiken bei entsprechender Planung der Anlagen und bei einer staub-vermeidenden Betriebsweise minimiert werden können. Eine nähere Definition der Gesundheitsrisiken und der erforderlichen Maßnahmen ist in Österreich durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales in Vorbereitung.

3.5 Vorschläge für Grenzkonzentrationen in der Literatur

Über mögliche Grenzwerte zur Überwachung von Lüftungstechnischen Anlagen wird derzeit in Deutschland und auch international rege diskutiert. Richt- bzw. Grenzwerte wurden z. B. von RYLANDER (1994) und LASI (1995) vorgeschlagen.

RYLANDER (1994) schlägt folgende Grenzkonzentrationen für Organismengruppen vor (zitiert in ECKRICH et al., 1995):

Tabelle 12: Vorschläge für Grenzkonzentrationen

	Vorschläge für Grenzkonzentrationen			
	Aktinomyceten	Gramnegative Stäbchen	Schimmelpilze	Endotoxine
Toxische Pneumonitis	-----	10^5 KBE/m ³	10^7 KBE/m ³	1 µg/m ³
Atemwegs-entzündungen	-----	10^3 KBE/m ³	10^5 KBE/m ³	0,02 µg/m ³
Sensibilisierung	10^8 KBE/m ³ bis 10^{10} KBE/m ³	-----	-----	-----

Nach LASI (1995) werden 10^4 KBE/m³ anzüchtbare Keime und eine Endotoxin-Konzentration von 0,1 µg/m³ als „vorläufige Orientierungswerte“ vorgeschlagen (siehe auch Abschnitt 4.2). Dieselben Vorschläge sind auch in einer technischen Richtlinie des Ministeriums für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt in Thüringen enthalten, die unlängst veröffentlicht wurde (siehe Abschnitt 4.3).

PIPKE (1996 b) schlägt folgende anschauliche Einteilung der Expositionen vor:

Tabelle 13: Bewertung der Expositionen, nach PIPKE

Exposition (KBE/m ³)	Wirkung
niedrig (< 10^4)	im allgemeinen keine
mittel (10^4 - 10^6)	gesundheitliche Wirkung bei mehrjähriger Exposition wenig untersucht
hoch (> 10^6)	gesundheitliche Wirkung nachweisbar

Die angegebenen Intervalle bzw. Einstufungen gelten für Abfallbehandlungsanlagen, nicht jedoch allgemein für Arbeitsplätze. Eine Unterscheidung in verschiedene Organismengruppen wurde dabei nicht vorgenommen.

Zur Frage der Festlegung von Richtwerten für den Arbeitnehmerschutz sagt PIPKE wörtlich:

„Bis zur Klärung der gesundheitlichen Relevanz mittlerer Expositionen besteht im Sinne des präventiven Arbeitsschutzes die Verpflichtung zur Minimierung der Exposition durch technische und organisatorische Maßnahmen“.

Die Methodik der Bestimmung der „Anzüchtbare Anzahl“ ist noch festzulegen, wobei davon auszugehen ist, daß möglichst viele vermehrungsfähige Organismen, zumindest jedoch viele Gruppen der Bakterien (inklusive thermophile Aktinomyceten) und Pilze erfaßt werden sollen.

STEINBERG (1997) weist in seiner Bewertung der biologischen Belastung am Arbeitsplatz von biologischen Abfallbehandlungsanlagen darauf hin, daß wegen der jahreszeitlichen Schwankungen der Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien Meßkampagnen über alle Jahreszeiten hin durchgeführt werden sollen.

Vielleicht sind die jahreszeitlichen Schwankungen auch die Ursache dafür, daß bislang kaum Korrelationen zwischen Keimkonzentrationen am Arbeitsplatz und Erkrankungen nachgewiesen werden können. Richt- oder Grenzwerte können schon deshalb eine Arbeitsplatzbeschreibung bei der Bewertung der Gesundheitsgefährdung nicht vollständig ersetzen.

3.5.1 Gesamtstaub und Feinstaub als Parameter zur Begrenzung der Emissionen

Als weitere Parameter zur Begrenzung der biologischen Belastung in Abfallbehandlungsanlagen werden der Feinstaub- und/oder Gesamtstaubgehalt der Atemluft diskutiert. Die Grenzwerte der österreichischen MAK-Werte-Liste sind jedenfalls einzuhalten.

In Österreich wird Feinstaub und Gesamtstaub folgendermaßen begrenzt:

Parameter	Jahresmittelwert	Stundenmittelwert (SMW) oder Tagesmittelwert (TMW)
Gesamtstaub	15 mg/m ³	SMW: 30 mg/m ³ , darf 2 mal pro Arbeitstag erreicht werden, sofern der TMW von 15 mg/m ³ nicht überschritten wird.
Feinstaub	6 mg/m ³	SMW: 12 mg/m ³ , darf 2 mal pro Arbeitstag erreicht werden, sofern der TMW von 6 mg/m ³ nicht überschritten wird.

Quelle: MAK-Werte-Liste 1995.

Diese Staubwerte sind bei umhausten oder geschlossenen, mit Abluffterfassung versehenen Anlagen erreichbar (einzuhalten). Dies zeigen z. B. Messungen des niederländischen Arbeitssinspektorats in mehreren GICOM-Tunnelrotteanlagen. Nach einer Einhausung und Abdeckung kritischer Aggregate, wie Trommelsiebe, Förderbänder etc. wurde ein Staubwert von 5 mg/Nm³ unterschritten (n. n., 1997).

4 Vorschläge für Anforderungen an den Arbeitnehmerschutz

In den folgenden Unterabschnitten werden einige Vorschläge aus der Literatur dargestellt. Darüber hinaus werden ergänzende Empfehlungen für technische Anforderungen z. B. für die Abluftfassung und den Umsetzungsvorgang, in den Abschnitten 4.5.1 bis 4.5.6 und 5 präsentiert.

4.1 Verzicht auf manuelle Sortierung für Restmüll

Wie bereits erwähnt, hat die österreichische Bundesarbeitskammer gefordert, ein Verbot der händischen Sortierung anzustreben (GLATZ, 1994). Diese Forderung muß in Abhängigkeit von der Art des Materiales und der Entsorgungsstrategie (Verwertung, Behandlung....) differenziert betrachtet werden.

Diskussion bezüglich Restmüll:

Restmüll wird derzeit bei einigen österreichischen MBA-Anlagen fallweise manuell sortiert. Bei neueren Anlagen in Deutschland wird zwar hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, nicht jedoch Restmüll händisch sortiert (Ausnahme: Siebrest > 80 mm in Erbsenschwang wird am Sortierband „gesichtet“).

Bei einem Großteil der österreichischen Anlagen werden verhältnismäßig geringe Altstoffmengen aussortiert (auch prozentuell, bezogen auf den Anlageninput), sodaß eine Verringerung der abzulagernden Mengen nicht als stichhaltige Begründung für eine manuelle Sortierung angesehen werden kann. Weiters kann ein wesentlich verringerter Schadstoffgehalt im Rottegut auch bei einer aufwendigen Sortierung (bei mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen) nicht erwartet werden.

Die manuelle Sortierung bringt damit nur potentielle Belastungen für den Arbeitnehmer mit sich, und es wird gleichzeitig nur eine verhältnismäßig geringe Schadstoffentfrachtung und Verringerung der abzulagernden Menge erreicht. Die händische Sortierung von Restmüll ist somit abzulehnen. Restmüll soll ausschließlich maschinell, nicht jedoch manuell, aufbereitet werden. Dies gilt nicht zwingend für verwertbare Altstoffe und hausmüllähnlichen Gewerbeabfall (hmGA). HmGA kann häufiger als Restmüll Störstoffe für die Abfallbehandlung enthalten, oder auch verwertbare Altstoffe. Eine manuelle Sortierung von hmGA kann damit zweckmäßig sein, muß aber unter Einhaltung von entsprechenden Anforderungen an den Arbeitnehmerschutz durchgeführt werden (siehe folgende Abschnitte). Die thermische Behandlung von hmGA würde jedenfalls hygienische Probleme bei der Abfallbehandlung wesentlich reduzieren.

4.2 Ausstattung von Fahrzeugkabinen

Eine Ausstattung von Fahrzeugkabinen mit Lüftungstechnischen Einrichtungen (Belüftung, Klimatisierung, Feinstaubfilter....) ist nach den bei ZESCHMAR-LAHL und LAHL (1997) genannten Daten jedenfalls erforderlich.

4.3 Leitlinien (1995) des Länderausschusses für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik; Anforderungen an Wertstoffsortieranlagen in Niedersachsen

Das Niedersächsische Sozialministerium hat im Juni 1994 eine informative Broschüre „Anforderungen an sichere Arbeitsplätze in Wertstoffsortieranlagen“ herausgegeben. Die Broschüre enthält Empfehlungen für den Bau, die Anlagentechnik und den Betrieb von Sortieranlagen, wobei hier primär an die Sortierung von Altstoffen gedacht wurde, inklusive der Sortierung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle, und für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen.

Auf Basis der Empfehlungen des Niedersächsischen Sozialministeriums wurde dann vom „Länderausschuß für Arbeitssicherheit und Sicherheitstechnik (LASI)“ der Entwurf „*Leitlinien des Arbeitsschutzes in Wertstoffsortieranlagen*“ erstellt. Damit wurde nicht nur den Betreibern von Sortieranlagen, sondern auch den Verwaltungsbehörden des Gesundheits- und Arbeitsschutzes eine Grundlage zur Verfügung gestellt, die in Zukunft ein in ganz Deutschland einheitliches Handeln ermöglichen soll.

Der Entwurf der „*Leitlinien des Arbeitsschutzes in Wertstoffsortieranlagen*“ wurde im Juli 1995 herausgegeben (ISBN 3-89277-182-0). Bezugsquelle:

Länderausschuß für Arbeitssicherheit
und Sicherheitstechnik
Redaktion: Dr. Michael Au
Hess. Ministerium für Frauen, Arbeit
und Sozialordnung
Dostojewskistr. 4
D - 65187 Wiesbaden

In der folgenden Tabelle 14 wurden die Inhalte der beiden genannten Leitlinien bzw. Empfehlungen gegenübergestellt. Weiters wurden Bezüge zum österreichischen Arbeitnehmer(innen)schutzgesetz (ASchG) hergestellt.

Dabei wurde die folgende Gliederung der „*Leitlinien des Arbeitsschutzes in Wertstoffsortieranlagen*“ beibehalten:

- 1) Einleitung
- 2) Anlieferung
- 3) Sortierung
- 4) Presse / Lagerung
- 5) Hygieneeinrichtungen / Hygieneorganisation
- 6) Persönliche Schutzausrüstung
- 7) Reinigung / Instandhaltung
- 8) Arbeitsmedizinische Vorsorge / Beschäftigungseinschränkungen

Mit Punkten („.....“) wurde gekennzeichnet, wo der Text für diese Gegenüberstellung gekürzt bzw. unvollständig wiedergegeben wurde.

Tabelle 14: „LASI“-Leitlinien (Entwurf, 1995) und Anforderungen gemäß Niedersächsischem Sozialministerium (1994)

Leitlinien des Arbeitsschutzes in Wertstoffsortieranlagen; LASI, Juni 1995	Anforderungen an sichere Arbeitsplätze in Wertstoffsortieranlagen; Niedersächs. Sozialministerium, 1994	Bezug zum AschG
<u>1) Allgemeines</u> Die „Leitlinien“ und „Anforderungen“ decken sich in vielen Wesentlichen Punkten		Österr. AschG, 1994
<u>2) Anlieferung</u>		
Die Anlage ist so zu dimensionieren, daß der Anlieferungsbereich und die Lagerung von loseem Verpackungsabfall mit in die Sortierhalle einbezogen werden. Anlieferungs- und Sortierbereich sind möglichst baulich voneinander zu trennen.	Die Anlage ist so zu dimensionieren, daß der Anlieferungsbereich und die Lagerung von loseem Verpackungsabfall in die Sortierhalle einbezogen werden. Die Bereiche Anlieferung, Sortierung, Ballenpresse / Wertstofflager sind jeweils in baulich abgetrennten Hallenabschnitten zu installieren.	
Verwendung von Aufreißautomaten für in Säcken angeliefertes Sortiergut. Vom Aufreißautomaten nicht geöffnete Säcke können durch ein Rückführband oder Abwurf in einen Sammelcontainer erneut der maschinellen Öffnung zugeführt werden.	<i>Ähnlicher Text</i>	
Flurförderfahrzeuge und Erdbaumaschinen (Radlader, Gabelstapler) im Bereich der Halle müssen über eine geschlossene klimatisierte Kabine verfügen. Die Atemluft in der Kabine muß gesundheitlich zuträglich sein. Dazu kann die Atemluft mit Schwebstofffiltern der Klasse S filtriert, oder die Kabine mittels Druckluftflaschen fremdbelüftet werden.	<i>ähnlicher Text,</i> Schwebstofffilter Klasse S sind zu verwenden.	§ 22 Abs.3
Für dieselbetriebene Fahrzeuge ist die TRGS - „Dieselmotoremissionen“ - zu beachten. Bei Neuanschaffungen ist zu prüfen, ob Elektrofahrzeuge eingesetzt werden müssen. <i>(im Bereich der Halle)</i>	Dieselgetriebene Fahrzeuge müssen über einen Rußfilter verfügen. Die besonderen Schutzmaßnahmen zur Verringerung von Emissionen an Ladestellen sind einzuhalten. <i>(im Bereich der Halle)</i>	§ 22 Abs.3, § 23 Abs.3
Ausreichende Beleuchtung: 100 lux	Ausreichende Beleuchtung: 100 lux	§ 21 Abs.2
Die Betriebsabläufe sind so zu gestalten, daß außer zur Fahrzeugeinweisung und Reinigung / Instandhaltung Arbeitsplätze im Anlieferungsbereich ausgeschlossen werden.	<u>Ständige</u> Arbeitsplätze im Anlieferungsbereich auszuschließen.....	

Leitlinien des Arbeitsschutzes in Wertstoffsortieranlagen; LASI, Juni 1995	Anforderungen an sichere Arbeitsplätze in Wertstoffsortieranlagen; Niedersächs. Sozialministerium, 1994	Bezug zum AschG
Durch geeignete Maßnahmen ist sicherzustellen, daß eine Verunreinigung der Fahrzeugkabine so weit wie möglich vermieden wird	<i>(keine Angaben)</i>	
Die Zwischenlagerung des Verpackungsabfalls vor der Sortierung ist so zu organisieren, daß Bereiche vermieden werden, in denen der Verpackungsabfall längere Zeit unsortiert bleibt.so zu organisieren, daß kein Lagerbereich mit längerer Verweilzeit entsteht.	
Bei der Lagerung von losem Verpackungsabfall in Bunkern sind brandschutztechn. Maßnahmen zu treffen: Fluchtwege sind einzurichten, geeignet zu beleuchten und freizuhalten. Ein Flucht- und Rettungsplan muß der erhöhten Brandlast Rechnung tragen.	<i>ähnlicher Text, ergänzt durch:</i> Fluchtwege sollten in der Luftlinie gemessen nicht länger als 25 m sein.	§ 21 Abs.4, § 25
Es besteht eine erhöhte Unfallgefahr durch rückwärtsfahrende Anlieferungsfahrzeuge. Fahrzeuge ohne Rückraumüberwachungseinrichtung (z.B. Rangiereinrichtung n. DIN 75031) sind von geeigneten Personen einzuweisen.	<i>ähnlicher Text</i>	§ 21 Abs.3
3) Sortierung		
Für die Handsortierung ist ein geschlossener, beheizbarer Arbeitsraum (Sortierkabine) mit Blickverbindung nach außen einzurichten. Anforderungen (<i>gekürzt</i>): Selbstschließende Türen..... Klappen, Lamellenöffnungen etc. für den Abwurf und das Sortierband..... nicht brennbare Konstruktion..... Sicherheitsglas..... Fluchtwege von jeder Bandseite.....	Für die Handsortierung ist ein geschlossener, beheizbarer Arbeitsraum (Sortierkabine) mit Blickverbindung nach außen einzurichten. Anforderungen (<i>gekürzt</i>): selbstschließende Türen..... Klappen, Lamellenöffnungen etc. für den Abwurf und das Sortierband..... Ohne Keimbelastung erreichbar.....	§ 21 Abs.4; § 22
Die mechanische Vorsortierung (z.B. Siebtrommel, Rüttelsieb) ist außerhalb der Sortierkabine zu installieren. Eine Kapselung und getrennte Absaugung sind vorzusehen.	<i>ähnlicher Text</i>	§ 22 Abs.3

Leitlinien des Arbeitsschutzes in Wertstoffsortieranlagen; LASI, Juni 1995	Anforderungen an sichere Arbeitsplätze in Wertstoffsortieranlagen; Niedersächs. Sozialministerium, 1994	Bezug zum AschG
Überbandmagnete sind außerhalb der Sortierkabine einzubauen. Ihr Gefährdungsbereich ist zu kennzeichnen. Die Grenzwerte für die Exposition durch magnetische Gleich- und Wechselfelder am Arbeitsplatz sind einzuhalten. Vorsicht bei Trägern von Herzschrittmachern und Metallimplantaten.....	Überbandmagnete sind außerhalb der Sortierkabine einzubauen. Ihr Gefährdungsbereich ist zu kennzeichnen.	§ 66 Abs.2
An der Übergangsstelle von Steigband zum Sortierband sollten Fallhöhen minimiert werden. Fallhöhen innerhalb der Sortierstrecke sind auszuschließen.	Fallhöhen der Transportbänder sind zu minimieren. Fallhöhen innerhalb der Sortierstrecke sind auszuschließen.	§ 22 Abs.3
Die aussortierten Wertstoffe sind in geschlossenen Vorrichtungen (...) zu sammeln. Eine lose Schüttung unterhalb der Sortierkabine ist auszuschließen.	<i>gleicher Text</i>	§ 22 Abs.3, § 64 Abs.2
Einbau einer technischen Lüftung, welche die Zufuhr ausreichend gesundheitlich zuträglicher Atemluft bewirkt und ausgeglichene klimatische Verhältnisse gewährleistet (DIN 1946, Teil 2- Raumluftechnik)..... Keine Zugluft..... Vorläufige Orientierungswerte für die <u>Luftqualität</u> : Kolonienbildende Einheiten: <u>< 10.000 KBE / m³</u> <u>Endotoxine < 0,1 µg / m³</u> <i>Meßstrategie und Meßverfahren wurde noch nicht festgelegt.</i>	<i>Ähnlicher Text</i> 10.000 KBE / m ³ zur Überprüfung der Wirksamkeit Lüftungstechnischer Maßnahmen und Endotoxine < 0,1 µg/ m ³ als Orientierungswert <i>Meßstrategie und Meßverfahren wurde noch nicht festgelegt.</i>	§ 22 Abs.3, § 40 Abs.4 § 40 Abs.6 § 41 Abs.2
<i>keine Angabe</i>	Filtration der Luft: Ein Rückhaltevermögen von 99,997 % nach DIN 24.184 wird gefordert.	
Für die Sortierplätze wird ein Greifraum von 60 cm zugrundegelegt (Steharbeitsplätze); die Breite des Sortierbandes sollte bei beidseitiger Sortierung 1 m nicht überschreiten. Es sollten höhenverstellbare Podeste verwendet werden, die von den Beschäftigten individuell entsprechend ihrer Körpergröße eingestellt werden können.	<i>Ähnlicher Text</i>	§ 34, § 35, § 61

Leitlinien des Arbeitsschutzes in Wertstoffsartieranlagen; LASI, Juni 1995	Anforderungen an sichere Arbeitsplätze in Wertstoffsartieranlagen; Niedersächs. Sozialministerium, 1994	Bezug zum AschG
Sortierplätze sollen als kombinierte Steh- und Sitzarbeitsplätze ausgestattet werden. Auf einen ausreichenden Knieraum und geeignete Sitzmöbel ist zu achten.....	<i>keine Angaben</i>	§ 60 Abs.3, § 61
In vorhandenen Anlagen sind Stehhilfen bereitzuhalten.	<i>Keine Angaben</i>	
Mindestbeleuchtungsstärke über dem Sortierband: 500 lux	Nennbeleuchtungsstärke über dem Sortierband: 500 lux	§ 21 Abs.2
<i>keine Angaben über Lärmschutz</i>	Lärmquellen sind konstruktiv zu vermeiden und einzuhausen.	§ 65
Die Kanten des Sortierbandes sind mit einem als Anlagefläche geeignetem Material (stoßdämpfend, leicht zu reinigende Oberfläche) abzupolstern. Kältebrücken.....sind auszuschließen.	<i>Ähnlicher Text</i>	§ 66 Abs.2
<i>keine Angaben</i>	Eine kontinuierliche Bandreinigung ist vorzusehen.	
Die Bepackung des Sortierbandes sollte zu einer einlagigen Verteilung des Verpackungsabfalls führen.	Eine einlagige Verteilung des Verpackungsabfalls ist anzustreben.	
Die Sortierbandgeschwindigkeit sollte 10 m/min nicht überschreiten.	Die Sortierbandgeschwindigkeit sollte im Bereich 4 bis 10 m/min liegen.	
Pro Beschäftigten sollten maximal 2 Abwurfgeschächte bedient werden.	<i>Keine Angaben</i>	
Bei beidseitiger Sortierung sollten die Beschäftigten die Möglichkeit haben, die Bandseite zu wechseln.	<i>Ähnlicher Text</i>	§ 60 Abs.2
4) Presse / Lagerung		
Die Ballenpresse ist außerhalb der Sortierkabine zu installieren. An Einfüllöffnungen und Austragsstellen ist austretender Staub abzusaugen. Der Lagerbereich ist von der Sortierhalle baulich zu trennen.	<i>siehe 2) Anlieferung, erste Zeile</i>	§ 35, § 36
<i>.....(nicht relevante Bestimmung über Abtransport der Restmüllfraktion)</i>	<i>gleicher Text</i>	
Eine ausreichende Beleuchtung für Personen und Fahrzeuge muß vorhanden sein. Nennbeleuchtungsstärke 100 lux.	<i>ähnlicher Text</i>	§ 21 Abs.2
Da eine besondere Brandgefährdung durch Papier und Kunststoffe nicht auszuschließen ist, sollten die Rettungswege nicht länger als 25 m sein.	<i>ähnlicher Text, der sich aber auf den Anlieferungsbereich bezieht</i>	§ 25

Leitlinien des Arbeitsschutzes in Wertstoffsortieranlagen; LASI, Juni 1995	Anforderungen an sichere Arbeitsplätze in Wertstoffsortieranlagen; Niedersächs. Sozialministerium, 1994	Bezug zum AschG
Lagerbereiche für PVC-Materialien sind speziell zu kennzeichnen.	<i>gleicher Text</i>	§ 25
<u>5) Hygieneeinrichtungen / Hygieneorganisation</u>		
Für Schutz- und Straßenkleidung ist ein Schwarz-Weiß-System zur getrennten Aufbewahrung einzurichten. Die Bereiche sind über einen Waschraum mit Duschen zu verbinden.	<i>ähnlicher Text</i>	§ 27, § 28, § 30
Bei der Arbeit ist Essen, Trinken und Rauchen verboten.	Mit Ausnahme des Pausenraumes ist Essen, Trinken und Rauchen im gesamten Arbeitsbereich zu verbieten.	§ 27, § 28, § 30,
An den Zugängen zu Pausenräumen sind Waschgelegenheiten einzurichten. Pausenräume dürfen nur nach Passage der Schwarz-Weiß-Anlage und Ablegen der Schutzkleidung betreten werden.	Pausenräume dürfen aus dem Anlieferungs-, Sortier- und Lagerbereich nur nach Passage des Schwarz-Weiß-Systems betreten werden. <i>sonst gleicher Text</i>	§ 27, § 28, § 30
Der Betreiber hat eine Betriebsanweisung zu erstellen.....	<i>ähnlicher Text</i>	
<u>6) Persönliche Schutzausrüstung</u>		
Im gesamten Arbeitsbereich sind mindestens Berufsschuhe der Kategorie 03 nach DIN EN 347 zu tragen.	Im gesamten Arbeitsbereich sind Schutzschuhe zu tragen.	§ 69, § 70, § 71
Bei der Sortierung sind Handschuhe zu tragen, die einen sicheren Schutz vor Stichverletzungen bieten und die Atmungsaktivität der Haut nicht beeinträchtigen. Erfordert es die Arbeiten, sind Gehörschutz, Augenschutz und Atemschutz zu tragen.	Je nach Anforderung durch die anfallenden Arbeiten ist geeignete Schutzausrüstung (.....) zu tragen.	§ 69, § 70, § 71
Beschäftigte, die sich im Anlieferungsbereich bewegen, müssen Warnkleidung nach DIN EN 471 und Atemschutz tragen: Partikelfiltergerät mit Gebläse und Helm oder Haube TH3P, oder bei kurzzeitigen Arbeiten: - Halb/Viertelmaske mit P3 Filter - partikelfiltrierende Halbmaske FFP3 („Feinstaubmaske“)	Arbeitnehmer, die sich im Anlieferungsbereich bewegen, müssen Warnkleidung nach DIN 30.711 tragen. <i>Ein Aufenthalt im Anlieferbereich ist nicht vorgesehen.</i>	§ 69; §70; § 71; § 22 Abs.3

Leitlinien des Arbeitsschutzes in Wertstoffsortieranlagen; LASI, Juni 1995	Anforderungen an sichere Arbeitsplätze in Wertstoffsortieranlagen; Niedersächs. Sozialministerium, 1994	Bezug zum AschG
Schutzkleidung wird vom Betreiber gestellt und gereinigt. Sie sollte den ganzen Körper bedecken und mindestens 2 mal pro Woche gewechselt werden.	<i>Ähnlicher Text</i>	§ 69, § 70, § 71
<u>7) Reinigung / Instandhaltung</u>		
Der Hallenboden ist täglich zum Ende des Arbeitstages vorzugsweise mit einer Kehrmaschine und/oder geeigneten Industriestaubsaugern zu reinigen. Eine Handreinigung mit dem Besen ist zu unterlassen.	<i>Ähnlicher Text</i>	§ 22 Abs.3
In der Sortieranlage ist eine zentrale Staubsauganlage einzurichten.	<i>Keine Angaben</i>	§ 22 Abs.3
Für Reinigungs- und Instandhaltungsarbeiten, bei denen mikrobiell belastete Aerosole entstehen und Staub aufgewirbelt wird (z.B. Filterwechsel an Lüftungstechnischen Anlagen) ist Atemschutz zu tragen: Partikelfiltergerät mit Gebläse und Helm oder Haube TH3P, <i>oder</i> bei kurzzeitigen Arbeiten: - Halb/Viertelmaske mit P3 Filter - partikelfiltrierende Halbmaske FFP3	<i>ähnlicher Text:</i> Atemschutz der Schutzstufe P3	§ 43 Abs.3, § 22 Abs.3
Die Lüftungstechnischen Anlagen sind abweichend von § 53 (2) ArbStättV einmal jährlich zu warten.	Die Lüftungstechnischen Anlagen sind abweichend von § 53 (2) ArbStättV mindestens einmal jährlich zu warten und halbjährlich zu prüfen.	
Fahrzeugkabinen sind regelmäßig zu reinigen.	<i>keine Angaben</i>	
Die Filter an Fahrzeugkabinen mit Filtration der Atemluft sind nach Herstellerangaben regelmäßig zu wechseln.	<i>ähnlicher Text.</i>	
<u>8) Arbeitsmedizinische Vorsorge / Beschäftigungseinschränkungen</u>		§ 49 bis § 59
In diesen Punkten bestehen teilweise Unterschiede zwischen den „Leitlinien“ und den „Anforderungen“, z.B. beim Parametern der Vorsorgeuntersuchungen, bei gesundheitlichen Bedenken von erkrankten Personen und vor allem bei Beschäftigungseinschränkungen		
<i>Es werden keine Beschäftigungseinschränkungen werden explizit genannt, jedoch gesundheitliche Bedenken</i>	Beschäftigungseinschränkungen für werdende Mütter, stillende Mütter und Jugendliche beim Umgang mit Verpackungsabfall.	§ 103

Bei der Betrachtung der in Tabelle 14 dargestellten Vorschläge für Anforderungen darf nicht vergessen werden, daß als Geltungsbereich primär die Abfallsortierung vorgesehen ist. Für den Fall der manuellen Sortierung von Restmüll können die genannten Maßnahmen jedoch in vielen Punkten analog angewendet werden.

4.4 Leitlinien für den Arbeitsschutz in biologischen Abfallbehandlungsanlagen (1997)

Die im vorhergehenden Abschnitt genannten Anforderungen betreffen primär die Sortierung von Abfällen. Für die biologische Behandlung generell (Kompostierung und MBA) wurden vom Länderausschuß für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik 1997 die „Leitlinien für den Arbeitsschutz in biologischen Abfallbehandlungsanlagen“ herausgegeben, die sich mit praktisch allen Aspekten des Arbeitsschutzes in diesen Anlagen beschäftigen. Diese Leitlinie – wie übrigens auch die Arbeit von FUCHS und MAURER (1998) – enthält detaillierte Vorschläge zum gesamten Arbeitnehmerschutz. Im Gegensatz dazu beschäftigt sich der hiermit vorliegende Bericht primär mit Hygienefragen. Im Überblick sei daher nur das Inhaltsverzeichnis der LASI-Leitlinie (1997) hier dargestellt:

Inhaltsverzeichnis der LASI-Leitlinie (1997):

- 1) Einführung
 - 2) Anwendungsbereich
 - 3) Begriffsbestimmung
 - 4) Allgemeine Anforderungen
 - 4.1) Techn. Anforderungen, Fahrzeuge und Steuerstände
 - 4.2) Atemluft
 - 4.3) Anforderungen an die Qualität des Bioabfalls
 - 5) Verfahrensspezifische Anforderungen
 - 5.1) Anlieferung
 - 5.2) Sortierung
 - 5.3) Zerkleinern / Mischen / Beschicken
 - 5.4) Rotte
 - 5.5) Gärung
 - 5.6) Mischen / Sieben / Abpacken
 - 6) Hygieneeinrichtungen / Hygieneorganisation / Betriebsanweisungen
 - 7) Persönliche Schutzausrüstung
 - 8) Reinigung / Instandhaltung / Abluftreinigung
 - 9) Betriebsärztliche und sicherheitstechnische Betreuung / Beschäftigungsbeschränkungen
 - 10) Überprüfung der Atemluft an den Arbeitsplätzen
- Anhang 1): Richtlinie für die arbeitsmedizinische Vorsorge
 Anhang 2): Empfehlungen für technische Maßnahmen zu Sortierarbeitsplätzen in Kompostierungsanlagen
 Anhang 3): Literaturverzeichnis.

Speziell zu erwähnen ist, daß die LASI-Leitlinie (1997) für Flurfahrzeuge, Steuerstände, Radlader und fahrbare Umsetzgeräte eine geschlossene, klimatisierte Kabine mit geeigneter Filterkabine oder Druckluftversorgung fordert. Weitere wichtige Forderungen sind eine weitestgehende Kapselung der Intensivrotte, eine Erfassung der Abluft an diversen Stellen der Anlage, und Ableitung der Luft über ein Abluftreinigungssystem.

Als Maßstab für die Überwachung der Atemluft wurde eine Anzählbare Anzahl von 5.000 KBE Schimmelpilzen /m³ vorgeschlagen, wobei gleichzeitig dieser Wert als „Orientierungswert“ und die Festlegung als eine „vorläufige“ bezeichnet wurden.

4.5 Anforderungsprofil an MBA-Anlagen in Thüringen

Das „Anforderungsprofil an Anlagen zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung“ wurde als Technische Richtlinie des Thüringer Ministeriums für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt im Februar 1997 erlassen. Man kann davon ausgehen, daß dabei die weiter oben genannte „LASI- Leitlinie“ und die Niedersächsischen Empfehlungen berücksichtigt wurden. Die Anforderungen in der Thüringer Richtlinie sind im Gegensatz zu den in Abschnitt 4.2 genannten Leitlinien spezifisch für die Situation von MBA-Anlagen zugeschnitten. Somit ist es sinnvoll, diese Anforderungen - soweit sie sich auf Hygienefragen beziehen, ebenfalls hier darzustellen. Der Leser dieses Literaturauszuges wird gebeten, den vollständigen Text in der Thüringer Richtlinie (1997) nachzuschlagen. Punkte (.....) weisen wiederum auf ein unvollständiges Zitat des jeweiligen Absatzes hin.

Tabelle 15: Auszug aus der Thüringer Richtlinie

Auszüge aus „Anforderungsprofil an Anlagen zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung“ des Bundeslandes Thüringen (1997):**Bauliche und technische Maßnahmen im Anlieferungsbereich:**

Der Anlieferungs- und Aufgabebereich ist generell geschlossen zu gestalten und mit einer Fahrzeugschleuse zu versehen. Durch geeignete Lüftungstechnische Maßnahmen ist für eine gesundheitlich ausreichend zuträgliche Atemluft im Arbeitsbereich Sorge zu tragen.

Bei Anlieferungsbereichen, die mit Tiefbunker und Kranempore ausgerüstet sind, empfiehlt es sich, das Material ohne Zwischenlagerung direkt in den Tiefbunker aufzugeben. Dieser ist grundsätzlich mit Staubschürzen auszurüsten, um das beim Abkippenvorgang notwendige Personal vor Aerosolen zu schützen. Durch diese Maßnahme kann auf Radladerarbeiten, die eine Hauptursache für das Entstehen von Aerosolen darstellen, im Anlieferbereich verzichtet werden.

Maschinenhallen sind mit einer ausreichenden raumlufttechnischen Anlage auszurüsten.

Wird Abfall in Säcken oder anderen geschlossenen Behältern angeliefert, sind diese so zu öffnen und weiter zu verarbeiten, daß eine Gesundheitsgefährdung der Arbeitnehmer weitestgehend ausgeschlossen wird (z. B. Aufreißautomaten, Siebtrommeln).

Zerkleinerungsanlagen und Anlagen zur mechanischen Vorsortierung sind soweit wie möglich zu kapseln und abzusaugen.

Bauliche und technische Maßnahmen im Bereich der Störstoffauslese

Geschlossene Sortierbereiche sollten voll automatisiert werden, z. B. mit elektronisch steuerbaren Greifarmen, Überbandmagneten (Ständige Arbeitsplätze zur manuellen Sortierung sind nur in Sortierkabinen mit entsprechender Klima- und Lüftungstechnik zulässig !).

Der Sortierbereich ist mit einer raumlufttechnischen Anlage auszustatten, die ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft zuführt und ausgeglichene klimatische Verhältnisse gewährleistet.....

Als Filter sollen vor der Anlage Grobstaubfilter - möglichst Filterklasse G 4 (bisher EU 4) und nach der raumlufttechnischen Anlage Feinstaubfilter - möglichst der Filterklasse G 7 (bisher EU 7) nach DIN EN 779 installiert sein. Beim Umluftbetrieb muß diese über die zweite Filterstufe (Feinstaubfilter) zugeführt werden.

Der Luftstrom ist regelbar zu gestalten und so zu führen, daß Zugluft nicht auftritt und belastete Luft nicht in den Atembereich der Beschäftigten gelangt (VDI-RL. 3802).

Störungen der lufttechnischen Anlage müssen in geeigneter Weise signalisiert werden.

Bauliche und technische Maßnahmen im Rottebereich

Der Bereich der geschlossenen Vorrotte (Anmerkung: gemeint ist die Hauptrotte) ist baulich von anderen Arbeitsbereichen zu trennen.

Die Betriebsabläufe sind so zu gestalten, daß aufgrund der zu erwartenden Gesamtbelastung so wenig Arbeitnehmer wie möglich im Rottebereich eingesetzt werden und ständige Arbeitsplätze nicht vorhanden sind. Dies ist durch den Einsatz von Transportbändern und vollautomatischen Mietenwendeeinrichtungen möglich.

Es ist anzustreben, daß die Reinigung, Wartung und Instandhaltung an Maschinen außerhalb der Rottehalle durchgeführt werden (z. B. durch Herausfahren der Maschinen aus der Rottehalle)

Sollte ein zeitlich begrenzter Aufenthalt von Arbeitnehmern im Rottebereich unumgänglich sein, so ist für diese Zeit durch technische Maßnahmen dafür Sorge zu tragen, daß ausreichend gesundheitlich zuträgliche Luft zugeführt wird.....

Sollte ein zeitweises Arbeiten in diesen Bereichen (gemeint sind Anlieferung, Vorbehandlung und Rottebereich) unumgänglich sein, ist persönliche Schutzausrüstung, insbesondere Atemschutz der Schutzklasse P 3, zu tragen, wenn ein gesundheitliches Risiko besteht.

Durch geeignete Maßnahmen ist sicherzustellen, daß eine Verunreinigung von Fahrzeugkabinen vermieden wird.....

.....Störungen der lufttechnischen Anlagen sollten optisch (Strömungsindikatoren) und akustisch angezeigt werden.....

Besondere Hinweise

Zur Überprüfung Lüftungstechnischer Anlagen gelten vorläufig folgende Orientierungswerte:

Gesamtkeimzahl kolonienbildender Einheiten (KBE).....	10.000 / m ³
Endotoxine.....	0,1 µg / m ³

Im übrigen gelten die Grenzwerte gemäß TRGS 900.

Weiters enthält das „Anforderungsprofil an Anlagen zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung“ auch noch Abschnitte über Hygienemaßnahmen, arbeitsmedizinische Vorsorge, sicherheitstechnische Betreuung und Beschäftigungsbeschränkungen. Stichwortartig werden die Anforderungen dieser Abschnitte folgenderweise zusammengefasst:

- Schwarz-weiß-System für Arbeitskleidung.
- Waschgelegenheiten bei Zugängen zu Pausenräumen.
- Schutzkleidung erforderlich. Bekleidungswechsel mindestens 2 mal wöchentlich.
- Schutzhandschuhe.
- Atemschutz, Schutzstufe P3, falls erforderlich.
- Eß- und Trinkverbot am Arbeitsplatz.
- Tägliche Reinigung der Arbeitsbereiche.
- Arbeitsmedizinische Voruntersuchungen.
- Impfungen.
- Beschäftigungseinschränkungen, z. B. analog zum österreichischen Mutterschutzgesetz.
- Eine Fachkraft für Sicherheitstechnik ist zu bestellen.

4.6 Vorschläge für die Überwachungspraxis nach Lahl und Zeschmar-Lahl

Vorschläge für die Überwachung des laufenden Betriebes speziell im Hinblick auf die Bioaerosol-Belastung bei Abfallbehandlungsanlagen wurden z. B. auch von ZESCHMAR-LAHL und LAHL (1996) erstellt. Aus der zitierten Publikation wird folgende „Check-Liste“ für die Überwachung dargestellt.

Tabelle 16: „Check-Liste“ für die Überwachung nach ZESCHMAR-LAHL und LAHL (1996)

- Sind die hygienisch problematischen Bereiche (Freisetzung von Staub, Aerosolen und Keimen) weitgehend automatisiert und gekapselt ?
- Wie wird die Ausbreitung keimhaltiger Aerosole in der Luft am Arbeitsplatz vermieden ?
- Sind raumluftechnische Anlagen installiert ?
- Werden sie regelmäßig kontrolliert, gewartet und gepflegt ? Wie oft jeweils ?
- Verursachen sie Zugluft ?
- Werden die allgemeinen Hygieneregeln beachtet ?
- Gibt es eine Betriebsanweisung über die allgemeinen Hygieneregeln ?
- Ist die Betriebsanweisung auch für ausländische KollegInnen verständlich ?
- Werden Schutzmittel und Schutzkleidung zur Verfügung gestellt ?
- Besteht eine Betriebsanweisung über die Ausgabe von Schutzmitteln u. Schutzkleidung ?
- Werden in regelmäßigen Abständen Luftkeimmessungen durchgeführt ?
- Besteht ein Risiko eines direkten Haut- bzw. Schleimhautkontaktes mit den mikrobiell belasteten Arbeitsstoffen ?
- Sind Schwarz-Weiß-Bereiche eingerichtet ?
- Sind die Pausenräume auch ohne Passage durch Schwarz-Weiß-Ber. erreichbar ?
- Stehen ausreichend Atemschutzmasken (P 3) zur Verfügung ?
- Wird ein ausreichender Impfschutz empfohlen und kontrolliert ?
- Wird noch mit Druckluft gereinigt ?
- Wird noch von Hand mit Besen gereinigt ?
- Sind werdende oder stillende Mütter in Arbeitsbereichen mit erhöhter Keimbelastung beschäftigt ?
- Wurde vor Arbeitsaufnahme eine arbeitsmedizinische Erstuntersuchung durchgeführt ?
- Wurde die erste Nachuntersuchung nach 12 Monaten durchgeführt ?
- Werden jeweils 36 Monate nach der letzten arbeitsmedizinischen Untersuchung Nachsorgeuntersuchungen durchgeführt ?
- Treten unter der Belegschaft Erkrankungen oder Symptome auf, wie sie im Zusammenhang mit Keimbelastungen am Arbeitsplatz (z. B. ODTs) geschildert wurden ?
- Wurden diese Erkrankungen vom Betriebsarzt bzw. dem betreuenden betriebsärztlichen Dienst registriert und ggf. weitergemeldet ?
- Wird bei den arbeitsmedizinischen Untersuchungen insbesondere auch auf Atemwegs- und Hauterkrankungen geachtet ?

4.7 Ergänzende Hinweise für Maßnahmen zur Verringerung gesundheitlicher Risiken, insbesondere beim Umsetzen

4.7.1 Begrenzung der Standzeiten bei der Müllabfuhr, Maßnahmen bei der Zwischenlagerung unbehandelter Abfälle

Der Zusammenhang zwischen Standzeiten (Abfuhrintervallen) und der mikrobiellen Belastung verschiedener kommunaler Abfälle wurde von JAGER et al. (1991) untersucht. Bei einer vorsichtigen Übertragung der seinerzeit an Gesamtmüll und biogenen Abfällen gewonnenen Erkenntnisse auf die jetzige Restmüll-Zusammensetzung kommt man zu der Aussage, daß eine Verlängerung der Standzeit von einer auf zwei Wochen in einigen, aber nicht in allen Fällen eine Erhöhung der kolonienbildenden Einheiten nach sich zieht, eine Verlängerung auf mehr als zwei Wochen aber zusätzliche hygienische Risiken nach sich zieht. JAGER kommentiert die Ergebnisse nach einer neuerlichen Auswertung der Daten im Jahr 1996 folgendermaßen: *„Die Verlängerung von einer auf drei Wochen Standzeit ist dagegen unter dem Aspekt der Keimbelastung der Abfälle bezogen auf die untersuchten Keimarten deutlich kritischer zu sehen“*. Dieses Resultat ist aufgrund der exponentiellen Wachstumskurven von Mikroorganismen plausibel. Weiters ist auch bekannt, daß die (olfaktorische) Wahrnehmung von Stoffwechselprodukten, wie Schwefelwasserstoff, Buttersäure und Putrescin, bei der Erhöhung der Standzeiten der Behälter zunimmt. Bereits bei der Sammlung können - in Abhängigkeit von der Jahreszeit und Abfallart - unterschiedliche Anzuchtbare Anzahlen in der Luft in den Abfallbehältern auftreten (CONRAD M. et al., 1996).

Grundsätzlich ist aufgrund der Möglichkeit der Vermehrung und Ausbreitung von Mikroorganismen ein geringes Abfuhrintervall anzustreben. Auch die Lagerung unbehandelter Abfälle in Umladestationen oder innerhalb der MBA-Anlage soll daher keinesfalls über mehrere Wochen erfolgen. Unterteilte Bunker, bei denen eine Hälfte oder ein Drittel des Bunkers in regelmäßigen Zeitabständen (z. B. alle 3 bis 4 Tage) vollständig entleert wird, verhindern eine übermäßige Verpilzung und „Verkeimung“ der Abfälle im hinteren bzw. unteren Winkel des Bunkers.

4.7.2 Stabilisierung von Klärschlamm

Eine biologische Stabilisierung von Klärschlamm vor einer MBA wird immer dann zu empfehlen sein, wenn der Klärschlamm zwischengelagert werden soll, da es andernfalls zu Geruchsemissionen kommt. Aber auch hygienische Bedenken sprechen für eine Stabilisierung von Klärschlamm vor der mechanisch-biologischen Behandlung: In der Kläranlage selbst kann bei entsprechender technischer Ausstattung der Frischschlamm direkt hygienisiert werden. Dies geschieht meistens durch Faulung in Faultürmen oder durch Kalkzugabe. Beide Methoden führen zu einer weitestgehenden oder vollständigen Abtötung fäkaler Krankheitserreger (BAU, 1988 und PFUDERER, 1989).

Ein für die Landwirtschaft sicherlich hygienisch unbedenkliches Material wird durch Kalkung und anschließende Faulung über ca. 30 Tage erreicht (PFUDERER, 1989), oder auch durch Pasteurisierung. Die Kalkung vor der landwirtschaftlichen Verwertung gehört zu den anerkannten Regeln der Technik (TILTMANN, 1993); und wird wegen der Möglichkeit der Verbreitung der Keime über die Nahrungskette teilweise auch zusätzlich zur Klärschlamm-Faulung angewendet. Eine Pasteurisierung nach der Faulung ist nach BAU (1988) jedenfalls unzweckmäßig, da sich im pasteurisierten Faulschlamm Enterobakterien vermehren.

Eine Pasteurisierung oder mehrstufige Entkeimung von Klärschlamm vor der mechanisch-biologischen Behandlung kann nicht begründet werden, da auch Restmüll Fäkalkeime enthält, und eine landwirtschaftliche Nutzung der MBA-Reststoffe aus verschiedenen Gründen nicht in Frage kommt. Zu beachten ist auch, daß durch die Heißrotte (Intensivrotte) fast alle Klärschlamm-spezifischen Krankheitserreger abgetötet werden.

Zusammenfassend kann ausgesagt werden, daß eine Stabilisierung von Klärschlamm vor der mechanisch-biologischen Behandlung die biologischen Risiken am Arbeitsplatz der MBA-Anlage verringern kann; eine Pasteurisierung ist nicht erforderlich.

4.7.3 Temperaturverlauf bei der Rotte

In der ÖNORM S 2200 „Gütekriterien für Komposte aus biogenen Abfällen“, Ausgabe November 1993, wird im Abschnitt 6.1 gefordert:

„Um die geforderte Entseuchung des Kompostes zu erreichen, ist verfahrensmäßig sicherzustellen, daß sämtliches Rottegut dem exothermen Rotteprozeß über einen zusammenhängenden Zeitraum von 3 Tagen bei einem Wassergehalt von mindestens 40 % und bei einer Mindesttemperatur von 65 °C ausgesetzt wird. Rottegut, welches sich außerhalb der 65 °C-Zone befindet, muß durch entsprechende Maßnahmen in diese gebracht werden.“

Dies wird in der ÖNORM S 2200 vor allem in Hinblick auf die seuchenhygienische Relevanz der Anwendung von Kompost in der Landwirtschaft gefordert. Für die Vorbehandlung von Restmüll vor der Ablagerung kann diese Anforderung aber nicht gleichlautend übernommen werden. Zu beachten ist jedenfalls, daß die meisten infektiösen Mikroorganismen bei 60 °C bereits innerhalb von Minuten bis wenigen Stunden zuverlässig inaktiviert werden (HAUG, 1993). Die Geschwindigkeit der Inaktivierung ist dagegen bei 50 °C im allgemeinen bereits deutlich geringer. Eine „Heißrotte“ im thermophilen Bereich kann damit die Infektionsgefahren bei der anschließenden, weiteren Behandlung des Rottegutes verringern. Ein beschränktes Risiko (siehe Abschnitt 1.5.2) der Bildung von Bio-Aerosolen ist aber in jedem Fall auch nach einer Heißrotte gegeben, z. B. durch allergene Schimmelpilze und Endotoxine.

Für einen optimalen Abbau der organischen Substanz stehen bei modernen MBA-Technologien unterschiedliche Betriebsweisen im geschlossenen System zur Verfügung. Dabei wird aus rottetechnischen Gründen die Temperatur manchmal auch bei 55 °C oder 60 °C gehalten.

Ein ungewöhnlich niedriges Temperaturniveau am Anfang der Rotte weist im Allgemeinen auf verfahrenstechnische Fehler oder auf Hemmungen durch Schadstoffe hin, und geht meistens auch mit der Bildung übler Gerüche einher. Generell ergibt sich damit die Forderung, daß vor allem am Beginn der Hauptrotte eine Heißrotte mit Temperaturen um bzw. über 60 °C im gesamten Rottegut anzustreben ist. Der Enterobakteriaceengehalt kann bei ungünstigen Rottebedingungen und zu niedrigen Temperaturen (30-40 °C) noch merklich ansteigen (siehe z. B. RENSCH et al., 1997).

4.7.4 Umsetzen

Als Umsetzen bezeichnet man das Abtragen, die Durchmischung und das Neu-Aufsetzen des Rottegutes in einem Arbeitsgang.

Ohne Umsetzen kommt es in der Hauptrotte zur Bildung von Verpilzungen und Verkrustungen, die den Abbau wesentlich hemmen und zu einer ungleichmäßigen Luftversorgung führen. Wahrscheinlich gibt es ohne Umsetzen auch lokale Nährstoffmangelzustände und eine (ebenfalls lokale) Anreicherung von Salzen, die die Biologie beeinträchtigen. Es ist daher notwendig, in der Hauptrotte regelmäßig umzusetzen, um einen guten Rottefortschritt zu erzielen.

Umsetzen bedeutet immer auch eine Auflockerung des Rottegutes, und damit die Gefahr der Freisetzung von Staub und Mikroorganismen. Die vorhandenen technischen Systeme können eine lokale Staubentstehung nicht vermeiden, und sind daher vielfach mit Einrichtungen zur Minimierung von Staubemissionen ausgerüstet. Untersuchungen über die Wirksamkeit derartiger Einrichtungen sind jedoch derzeit nicht bekannt bzw. nur im Einzelfall vorhanden.

Im Überblick können folgende Systeme für das Umsetzen eingesetzt werden, und zwar sowohl für die MBA als auch für die Kompostierung (WIEMER und KERN, 1996, sowie diverse Firmenangaben):

Tabelle 17: Überblick über technische System zum Umsetzen des Rottegutes

Kurzbezeichnung	Beschreibung des Umsetz-Systemes
Traktorgezogene Kompostwender und Trommelbandumsetzer	Schnecken oder Rotierende Wellen mit Fortsätzen, montiert auf einem nicht selbstfahrenden, meist einachsigen Anhänger
Seitenumsetzer	Ähnlich wie traktorgezogene Kompostanwender, werden jedoch als Beiwagen-Maschinen neben der Zugmaschine montiert.
Radlader	Umschaufeln des Rottegutes mit der Baggerschaufel eines Radladers, Traktors oder Schaufelbaggers. Eine Sonderform ist eine fahrbare radladerartiges Gerät, bei dem die Ladeschaufel mit einer Fräswalze ausgestattet ist.
Fahrbare Mietenumsetzer	Mit Dieselkraftstoff oder Benzin betriebenes, zweiachsiges Fahrzeug oder Kettenfahrzeug mit großer Spurbreite. In der Mitte des Umsetzgerätes befindet sich eine rotierende Welle oder Schnecke, die das Rottegut umsetzt, während das Fahrzeug langsam die Miete entlang fährt. Nur für Zeilenmieten geeignet (d. h. für Dreiecks- oder Trapezmieten).
Rotierende, bewegliche Umsetzgeräte, „schienengebunden“ bzw. stationär	Meistens Schaufelräder (Becherwerke, Trogkettenförderer), die auf Schienen bzw. einer Kranbrücke über der Rottefläche beweglich montiert sind und den Abfall auf ein Förderband oder einen Kettenförderer werfen, von wo er weiterbefördert wird. Daneben gibt es weiters vertikale Wellen oder horizontale, mit Fortsätzen bestückte Räder, Walzen und Scheiben, die eine Auflockerung ohne Aufnahme des Rottegutes und damit einen meistens nur geringen Transport bewirken. Trogkettenförderer können zusätzlich mit Einrichtungen zur Zerkleinerung ausgestattet sein, z. B. bei längsgeteilten Zeilenmieten.
Schalenschürfwerke	Anheben des Rottegutes in becherartigen Schürfschalen auf ein Transportband, dann Abwurf des Rottegutes vom Transportband.
Umsetzen durch Transport, Mischen und neues Aufsetzen	Neben Schaufelrädern und Fahrzeugen (z. B. Radlader) kann das Abtragen des Rottegutes durch zahlreiche andere mechanische Einrichtungen erfolgen. Beispielhaft aufzuzählen sind hier: <ul style="list-style-type: none"> • Abtragen mittels Schleppnetz • Abtragen durch einen großen hydraulischen „Stempel“ • Abtragen durch Schubkeile am Boden des Rottetunnels Dabei kann das Rottegut gegen eine fix montierte, rotierende Welle gedrückt und dadurch aufgelockert werden, oder auch in den Aufgabetrog eines Schneckenförderers fallen. Die Durchmischung erfolgt in diesem Fall durch die Fallbewegung oder bei der anschließenden Förderung. Es kann aber auch ein Mischaggregat auf der Förderstrecke zwischen Abtragung und neuem Aufsetzen der Mieten eingeschaltet werden.
Fallbewegungen in Etagensystemen	Umsetzen durch vertikalen Transport in sogenannten Etagensystemen (näheres siehe Abschnitt 9.5.7)

Diese (in der vorangehenden Tabelle dargestellten) technischen Möglichkeiten des Umsetzens werden aus der Sicht des Emissions- und Arbeitnehmerschutzes folgendermaßen bewertet:

Traktorgezogene Kompostwender, Trommelbandumsetzer und Seitenumsetzer sind nur für kleine Kompostierungsanlagen, die mit geringem technischen Aufwand auskommen müssen, geeignet. Diese Geräte sind für den Einsatz in der mechanisch-biologischen Restmüllbehandlung auch aus mechanischen Gründen wenig geeignet.

Fahrbare Mietenumsetzer sind für die Anwendung im Freien (bzw. unter Dach) konzipiert. Sie können mit Einrichtungen zur Minimierung von Staubemissionen ausgestattet sein, z. B. Absaugung oder Sprühdüsen. Für die mechanisch-biologische Abfallbehandlung ist primär der Einsatz in der Nachrotte zu erwägen. In diesem Fall müssen gleichzeitig Maßnahmen gegen die Austrocknung der Mieten getroffen werden, da trotz technischer Einrichtungen zur Minimierung der Staubemissionen bei trockenem Rottegut Staubfahnen unvermeidbar sind. Beim Umsetzen im Freien bzw. unter Dach sollten weiters auch Lärmemissionen berücksichtigt werden. Kleinere fahrbare Geräte werden mit geräuscharmem Elektroantrieb angeboten.

Schalenschürfwerke neigen wegen der großen Fallhöhen an der Abwurfstelle zu größerer Staubentwicklung und dürften daher nicht geeignet sein, wenn dieses Problem nicht inzwischen behoben werden konnte.

Das Umsetzen mit Radlader ist eine der gravierenden Emissionsquellen für Staub- und Keimemissionen und sollte daher bei der Restmüllbehandlung nach Möglichkeit unterlassen werden. In einer Übergangsphase sollten Radlader rasch mit Radladerkabinen und den entsprechenden Filtern für eine zuträgliche Atemluft in der Radladerkabine ausgestattet werden. Als Filter werden Schwebstofffilter der Klasse S oder Aktivkohlefilter empfohlen (GRÜNER, 1997). Die Kabine muß klimatisiert sein und häufig gereinigt werden. Das gilt auch für kleinere Kompostierungsanlagen (für biogenen Abfall), denn für diesen Anwendungszweck kann das Umsetzen mit Radlader im Freien bzw. unter Dach durchaus in Frage kommen.

Rotierende, bewegliche Umsetzgeräte sind ideal für das Umsetzen von Zeilen- oder Flächenmieten in Hallen, da sie z. B. von einer Steuerwarte aus, die gesondert belüftet wird, bedient werden können. Daher sind diese Umsetzgeräte nicht immer mit Einrichtungen für die Erfassung der beim Umsetzen freigesetzten Emissionen ausgestattet. Die Rottehalle darf in diesem Fall nicht als ständiger Arbeitsplatz verwendet werden, wenn nicht eindeutig nachgewiesen werden kann, daß aufgrund der Belüftung der Rottefläche eine ausreichende Erfassung der Emissionen gegeben ist. Bei Druckbelüftung in der Hauptrotte wird die Rottehalle keinesfalls als ständiger Arbeitsplatz geeignet sein.

Rotierende, bewegliche Umsetzgeräte können ferner auch in geschlossenen Intensivrottesystemen verwendet werden. Dies bedeutet eine weitestgehende Vermeidung der Emissionen, jedoch einen sehr großen technischen Aufwand (z. B. ausreichend korrosionsfeste Ausführung). Die Betriebssicherheit eines derartigen Rottesystemes (derzeit nur ein Anbieter bekannt) muß noch geprüft werden. Ähnliches gilt für die beweglichen mechanischen Teile von Etagen-Rottesystemen, die mit dem Abfall (Rottegut), Kondenswasser oder Rotteabluft in Berührung stehen.

Die Abtragung der Miete mittels Schleppnetz oder Schubkeilen am Boden ist aus der Sicht des Arbeitnehmerschutzes als besonders günstig einzustufen. Diese Formen des Umsetzens erlauben eine Verlagerung der Auflockerung in ein geschlossenes System bzw. eine lokale, ortsfeste Erfassung und Ableitung der Staubemissionen.

4.7.5 Wasserhaushalt der Mieten

Ob erhebliche Staubemissionen beim Umsetzen bzw. bei der Abtragung der Mieten auftreten oder nicht, hängt sehr stark vom Wassergehalt des Rottegutes ab. Wenn nicht regelmäßig befeuchtet wird, führt die Reaktionswärme des aeroben Abbaues in der Hauptrotte mit Sicherheit zur Austrocknung. Eine nicht beabsichtigte „Trockenstabilisierung“ ist zu vermeiden.

Es wird daher empfohlen, die Mieten in der Hauptrotte ein bis zweimal pro Woche umzusetzen und dabei jeweils die Feuchtigkeit durch eine kontrollierte Wasserzugabe einzustellen.

In der Nachrotte können Geotextilien (Vliese) oder Spezialfolien zur Regulierung des Wasserhaushaltes eingesetzt werden.

4.7.6 Geringe Fallhöhen beim Transport

Bei der Besichtigung einer der MBA-Anlagen in Österreich wurden Staubfahnen beobachtet, die daraus resultieren, daß der Restmüll nach der Aufbereitung und Homogenisierung mit Klärschlamm aus einer Höhe von 3 m auf die befestigte Fläche der Anlage fällt. Dieser Bereich wurde zwar mit Staubschürzen versehen, die jedoch den Staub nur unvollständig abhalten.

Es ist immer eine Minimierung der Fallhöhen beim Transport vorzunehmen. Diese Forderung ist auch in der einschlägigen Literatur mehrmals genannt.

4.7.7 Arbeitsmedizinische Vorsorge, Impfungen, Risikogruppen

Gemäß §6 Abs. 1 des Arbeitnehmer(innen)schutzgesetzes haben Arbeitgeber bei der Übertragung von Aufgaben an Arbeitnehmer deren Eignung in bezug auf Sicherheit und Gesundheit zu berücksichtigen. Es ist also eine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung erforderlich.

Nach KÄMPFER und WEISSENFELS (1997) besteht diese Vorsorgeuntersuchung aus einer Anamnese und zumindest aus einer allgemeinen körperlichen Untersuchung. In einer Eigen- und individuellen Familienanamnese sollen Krankheiten der Atemwege und der Haut, Störungen des Immunsystems, atopisch bedingte Krankheiten, und die Frage nach nebenberuflicher bzw. freizeittlicher landwirtschaftlicher Tätigkeit erfragt werden.

Neben einer allgemeinen körperlichen Untersuchung können im Einzelfall auch weitere Untersuchungen erforderlich sein, z. B. Lungenfunktionstests, Untersuchung von Hauterkrankungen (näheres siehe bei BITTIGHOFER, 1994).

Personen, bei denen ein erhöhtes Risiko für Atemwegsinfektionen besteht, sollten nicht bzw. nur im Bürotrakt bzw. Außendienst beschäftigt werden.

Nach HARTINGER (1995) gehören folgende Personen zu Risikogruppen für Atemwegsinfektionen:

- Personen mit chronischen Lungenerkrankungen (Asthma, chronische Bronchitis, zystische Fibrose)
- Immunsuppressiv behandelte Patienten
- HIV-positive Patienten
- Malignom-Patienten
- Alkoholiker
- Patienten mit unzureichend eingestelltem Diabetes mellitus

Personen, die diesen Risikogruppen angehören, sollten nicht in möglicherweise aerosolbelasteten Bereichen beschäftigt werden. Für die Beschäftigung von werdenden und stillenden Müttern und Jugendlichen sind die einschlägigen österreichischen Rechtsvorschriften zu beachten.

Weiters sind Impfungen zu empfehlen. MÜLLER (1996) betont, daß Arbeiter auf Deponien jedenfalls gegen Tetanus geimpft sein sollen. Die Tetanus-Impfung soll nach der Grundimmunisierung höchstens alle 10 Jahre, zumindest aber um das fünfzigste Lebensjahr aufgefrischt werden. Selbst bei Verletzungen sollte nur dann aufgefrischt werden, wenn die letzte Impfung mehr als 5 Jahre zurückliegt.

Als weitere Präventivmaßnahmen können folgende Impfungen empfohlen werden:

- Diphtherie
- Tetanus
- Kinderlähmung
- Hepatitis A
- Hepatitis B

4.7.8 Nachsorgeuntersuchungen

Die Nachsorgeuntersuchungen dienen der Kontrolle, ob allfällig arbeitsbedingte Gesundheitsveränderungen eingetreten sind. Für Nachsorgeuntersuchungen empfiehlt BITTIGHOFER (1994) folgende Fristen:

Erste Nachuntersuchung: Vor Ablauf von 6 Monaten.

Zweite Nachuntersuchung: Vor Ablauf von 24 Monaten.

4.7.9 Betriebsanweisung

Bei der Erstellung bzw. Ergänzung der Betriebsanweisung der MBA-Anlage sollen wenigstens folgende Punkte angesprochen werden (nach KÄMPFER und WEISSENFELS, 1997, ergänzt durch Vorschläge des Umweltbundesamtes):

- Das Essen, Trinken, Rauchen und Schminken ist in allen Arbeitsbereichen verboten.
- Vor dem Betreten von Pausenräumen oder beim Passieren einer Schwarz-Weiß-Schleuse sind das Gesicht, die Hände und Unterarme zu reinigen.
- Auf Bereiche, die nicht als ständiger Arbeitsplatz geeignet sind, ist hinzuweisen, wie auch auf das Tragen von entsprechender Schutzbekleidung für diese Bereiche bzw. für besondere Wartungsarbeiten.
- Das Öffnen und Schließen von Türen für eine Vermeidung von Falschluff ist zu regeln.
- Auf das Sicherheitssystem von Müll- und BRAM-Pressen ist hinzuweisen, eine Umgehung des Sicherheitssystems ist nicht zulässig.
- Hautverletzungen, auch kleine Verletzungen, sind sofort zu melden und durch Ersthelfer versorgen zu lassen.
- Außergewöhnliche Gesundheitsbeschwerden (z. B. Durchfall, Hautausschläge o. ä.), auch außerhalb der Arbeitszeit, sind zu melden.

Arbeitgeber haben gemäß § 12 Arbeitnehmer(innen)schutzgesetz, BGBl.450/1994 zur „ausreichenden Information“ der Arbeitnehmer über Gefahren für Sicherheit und Gesundheit sowie über Maßnahmen zur Gefahrenverhütung zu sorgen.

5 Vorschläge für die Ablufferfassung

Dieser Abschnitt beschreibt in stark gekürzter Form die möglichen Anforderungen an die Ablufferfassung, die sich sowohl aus der Sicht des Arbeitnehmerschutzes als auch für die Verringerung von Abluftemissionen ergeben. Nähere Angaben sind im UBA-Report „Grundlagen für eine Technische Anleitung zur mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Abfällen“ (MOSTBAUER et al., 1998) sowie in der UBA-Monographie „Abluftemissionen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Österreich“ (LAHL, SCHEIDL et al., 1998) dargestellt.

Es ist ein Lüftungskonzept zu erstellen, das eine ausreichende Sauerstoffversorgung bei der Rotte, eine gesundheitlich zuträgliche Zusammensetzung der Atemluft an allen Arbeitsplätzen und ein auch bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen nicht unangenehmes Raumklima ermöglicht.

Die folgende Tabelle zeigt, bei welchen Aggregaten bzw. Arbeitsvorgängen der mechanisch-biologischen Behandlung eine Ablufferfassung erforderlich ist.

Tabelle 18: Notwendigkeit einer Ablufferfassung

Aggregat bzw. Arbeitsvorgang bei dem eine Ablufferfassung notwendig ist
Anlieferung in den Bunker
Lagerung im Restmüll-Bunker
Aufgabe aufs Band; Beschickung und Entleerung von Aufbereitungsaggregaten
Innerbetrieblicher Transport, besonders Bandübergabestellen
Klärschlamm-Bunker
Zerkleinerung
Homogenisierung
Homogenisierung mit gleichzeitiger Vorrotte; Vorrotte (als Startphase der Rotte)
Magnetabscheider
Klassierung (Siebung, Windsichter, ballistische Separation, Sortierung etc.)
Hauptrotte
Umsetzen
Beschickung und Entleerung Vor- und Hauptrotte
Aufbereitung und innerbetrieblicher Transport nach der Hauptrotte
Aufbereitung und/oder innerbetrieblicher Transport nach der Nachrotte
Lagerung von Siebresten (BRAM), Ballenpressen für Siebreste (BRAM)
Beschickung von Fahrzeugen beim Abtransport
weitere Aggregate bzw. Anlagenbereiche, bei denen Stäube, Aerosole oder flüchtige Stoffe aus Restmüll oder Klärschlämmen freigesetzt werden

Abluft aus dem Bunker, der Aufbereitung und den biologischen Behandlungsschritten ist jedenfalls zu erfassen, abzuleiten und zu behandeln. Das Belüftungssystem kann hierbei nach dem Prinzip einer Nutzungskaskade aufgebaut werden, d. h. gering belastete Abluft kann als Zuluft für stärker belastete Bereiche bzw. als Rottezuluft verwendet werden. In welchen Anlagenbereichen Abluft zu erfassen ist, zeigt im Detail die Tabelle 18.

In Abluftleitungen für Rotteabluft kann es zu einer erheblichen Kondensation von Wasser kommen. Dieses Kondenswasser ist durch entsprechende Maßnahmen abzuleiten.

Materialtechnische Anforderungen, Aufstellung der Ventilatoren

Leitungen und Ventilatoren für die Abluft, insbesondere für die Rotteabluft, müssen aus einem gegenüber wasserdampfgesättigter Luft, wässrigen organischen Säuren, Kohlendioxid und Ammoniak widerstandsfähigen Material hergestellt werden.

Aus Gründen des Brand- und Lärmschutzes kann es sinnvoll sein, größere Ventilatoren in einem eigenen Raum aufzustellen. Im Übrigen sind für die Konstruktion der gesamten Lüftungsanlage die jeweiligen Bauordnungen und Brandschutzbestimmungen der Länder zu beachten.

6 Erlässe des Zentral-Arbeitsinspektorates in Österreich

Vom Zentral-Arbeitsinspektorat im Bundesministerium für Arbeit und Soziales werden demnächst Erlässe verabschiedet, als Handlungsanweisung für Arbeitsinspektoren in Österreich für eine einheitliche Vorgangsweise bei der Genehmigung und Kontrolle von Abfall- und Abwasserbehandlungsanlagen. Die Veröffentlichung von zugehörigen Informationsblättern ist in Vorbereitung.

Als Anlagen, für die spezifische Handlungsanweisungen erlassen werden sollen, wurden genannt (SEDLATSCHEK und SCHMATZBERGER, 1997):

- Deponien
- Kompostierungsanlagen (inklusive MBA-Anlagen)
- Anlagen zur händischen Sortierung von Abfall
- Kläranlagen
- Anlagen für infektiösen Abfall

Sowohl beim Zentral-Arbeitsinspektorat als auch bei der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (AUVA) sind derzeit Vorbereitungsarbeiten zur Standardisierung von Probenahme- und Meßmethoden im Gange. Eine Mitarbeit in einschlägigen CEN-Normenausschüssen ist geplant.

Weitere Informationen dazu sind erhältlich bei:

Bundesministerium für Arbeit und Soziales
Zentral-Arbeitsinspektorat
Praterstraße 31
A-1020 Wien / Tel (0043)-1-71100-0

sowie bei der AUVA, Adalbert-Stifter-Str.65, A-1200 Wien.

7 Schlußfolgerungen

Wie bereits in Abschnitt 2 „Bewertung der Gesundheitsgefährdung in der Literatur“ erwähnt wurde, sind bei der mechanisch-biologischen Behandlung von Restmüll und Klärschlamm (MBA) hygienische Risiken vorhanden. Diese Risiken können bei entsprechender Planung der Anlagen und bei einer staub-mindernden Betriebsweise weitestgehend verringert werden. Eine Überwachung der Atemluft am Arbeitsplatz ist in jedem Fall erforderlich.

Es ergeben sich technische und organisatorische Schutzmaßnahmen, z. B. Umhausung, Ausführung als komplett geschlossenes System, Ablufterfassung, schonendes Umsetzen, nach Möglichkeit kein Transport mit Radlader, technischer Arbeitnehmerschutz anderer Art, persönlicher Arbeitnehmerschutz etc.

Ein Verbot der manuellen Sortierung von Restmüll bei der MBA ist zu fordern; auch auf die manuelle Sortierung von Siebresten aus Restmüll und hausmüllähnlichem Gewerbeabfall soll nach Möglichkeit verzichtet werden.

Die Festlegung von „hygienisch-lüftungstechnischen Überwachungswerten“, insbesondere für eine Grenzkonzentration der Gesamtzahl der kolonienbildenden Einheiten, ist anzustreben.

Gründe, die gegen eine Festlegung von Grenzkonzentrationen sprechen, sind:

- das Keimspektrum kann bei unterschiedlichen Abfällen unterschiedlich sein
- erhebliche zeitliche Schwankungen machen eine Überwachung schwierig
- synergistische und antagonistische Effekte zwischen bakterieller Belastung, Viren und chemischen Stoffen sind nicht hinreichend bekannt
- eine eindeutige Dosis-Wirkungs-Beziehung ist derzeit nicht nachgewiesen

Gründe, die für eine Festlegung von Grenzkonzentrationen sprechen, sind:

- Lüftungstechnische Maßnahmen werden überwachbar. Dies ist ein gravierendes Argument für die Festlegung von Grenzkonzentrationen.
- Es besteht ein Anreiz zur Fortsetzung der einschlägigen medizinische Forschung über die Wirkung von luftgetragenen Keimemissionen, inklusive der Korrelationen zwischen objektiv erfassbaren Kennwerten (z. B. Staubgehalte) und subjektiv oder objektiv erkennbaren Krankheitssymptomen.

Da eindeutige Dosis-Wirkungs-Beziehungen schwer nachzuweisen sind, sollte nicht von „Grenzwerten“ sondern von „Überwachungswerten“ gesprochen werden.

Abschließend sei nochmals auf die Informationsblätter des Zentral-Arbeitsinspektorates zur Kompostierung und mechanisch-biologischen Behandlung (1997, derzeit in Vorbereitung) hingewiesen, wie auch auf das österreichische Arbeitnehmer(innen)schutzgesetz, das in seiner jeweils aktuellen Fassung, bei der Planung und beim Betrieb von MBA-Anlagen generell zu beachten ist.

8 Literatur

BAU K.(1988): Bedeutung der Seuchenhygiene bei der Klärschlammdüngung. In: Ist die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nutzbringende Düngung oder preiswerte Abfallbeseitigung. Schriftenreihe WAR (Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Raumplanung) Nr.33, TH Darmstadt, S.109-117.

BEFFA T.(1994): Anwesenheit, Verteilung und medizinische Aspekte von Schimmelpilzen (im besonderen *aspergillus fumigatus*) in verschiedenen Kompostsystemen in der Schweiz. In: STALDER K., VERKOYEN C.: Gesundheitsrisiken bei der Entsorgung kommunaler Abfälle, Verlag die Werkstatt, Göttingen; S.173-190.

BITTIGHOFER P.M.(1994): Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung von Beschäftigten in der Biomüllkompostierung. In: STALDER K., VERKOYEN C.: Gesundheitsrisiken bei der Entsorgung kommunaler Abfälle, Verlag die Werkstatt, Göttingen; S.201-214.

BÖHM R.(1996): Meßverfahren zur Erfassung luftgetragener Bakterien und Pilze. In: Hygiene in der Abfallwirtschaft. 50 Darmstädter Seminar - Abfalltechnik. Schriftenreihe WAR Nr. 92, S.81-118. Technische Hochschule Darmstadt, 1996.

BOTZENHART K.(1979): Die Gefahr durch Mikroorganismen am Arbeitsplatz und in der Umwelt: Erfassung und Bewertung von Luftkeimzahlen. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Prophylaxe 29; S. 309-315.

CLARK C.S. et al.(1984): Biological health risks associated with the composting of wastewater treatment plant sludge. Journ. Water Pollution Control, 1984.

CONRAD M., KERN M., WIEMER K. (1996): Vergleich von mikrobiologischen Emissionen von Bioabfall-, Restmülltonnen und DSD-Säcken. Müll und Abfall 11/96, S.743-750.

ECKRICH C., JAGER E., RÜDEN H., JAGER J.(1995): Keimkonzentrationen aus Sicht der Immunologie. In: Keimbelastung in der Abfallwirtschaft. Tagungsbericht. Hrsg.: Insitut für Toxikologie und Umwelthygiene, Techn. Univ. München, S.51 ff.

ECKRICH C., JAGER J.(1996): Keimausbreitung - ein Problem bei Abfallbehandlungsanlagen ? In: Ist die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nutzbringende Düngung oder preiswerte Abfallbeseitigung. Schriftenreihe WAR (Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Raumplanung) Nr.33, TH Darmstadt, S.127-146.

EMMERLING G., RÜGER A.(1995): Gesundheitsrisiken durch Keimbelastungen in der Abfallwirtschaft aus arbeits- und umweltmedizinischer Sicht. In: Keimbelastung in der Abfallwirtschaft. Tagungsbericht. Hrsg.: Insitut für Toxikologie und Umwelthygiene, Techn. Univ. München, S.77 ff.

EPSTEIN E., EPSTEIN J.I.(1989): Public health issues and composting. Biocycle, August 1989, pp. 50-53.

FUCHS A, MAURER G (1998): Anlagen zur mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Restmüll und Klärschlamm. Schriftenreihe „Abfallwirtschaft“ des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie. Herausgegeben in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt, Wien.

GLATZ H.(1994): Vorwort. In: Entsorgungswirtschaft in Österreich II - Arbeitsbedingungen in der Entsorgungswirtschaft. AK-Schriftenreihe zur Umweltpolitik. Hrsg: Bundeskammer für Arbeiter und Angestellte, Wien.

GÖTTLICH E. (1996): Untersuchungen zur Pilzbelastung der Luft an Arbeitsplätzen in Betrieben zur Abfallbehandlung. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft Nr.63, 1996.

GRÜNER C.(1996 a): Arbeitsschutz in biologischen Abfallbehandlungsanlagen. In: Planung von biologisch-mechanischen Restabfallbehandlungsanlagen (MBA), Betriebserfahrungen, Risiken. VDI-Tagung in Düsseldorf, Juni 1996.

GRÜNER C.(1996 b): Arbeitsschutz in Abfallbehandlungsanlagen. In: Hygiene in der Abfallwirtschaft. 50 Darmstädter Seminar - Abfalltechnik. Schriftenreihe WAR Nr. 92, S.57-80, Technische Hochschule Darmstadt, 1996.

GRÜNER (1997): persönliche Mitteilungen, August und September 1997.

HARTINGER A.(1995): Mikrobiologische Infektionen der Atemwege. In: Keimbelastung in der Abfallwirtschaft. Tagungsbericht. Hrsg.: Institut für Toxikologie und Umwelthygiene, Techn. Univ. München, S.31 ff.

HAUG R.T.(1993): The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, 1993.

IVENS U.I. et al.(1996): Gastrointestinal problems related to bioaerosol exposure. In: International meeting on waste collection and recycling - Bioaerosol exposure and health problems. NIOH, Dänemark.

JAGER E., ECKRICH C.(1996): Hygienic aspects of biowaste composting. Waste Collection and Recycling – Bioaerosol exposure and health problems. Internat. Meeting, Copenhagen, 13.+14.9.1996.

JAGER E., GLAUBE J., RÜDEN H.(1991): Mikrobiologische Aspekte bei Sammlung, Lagerung und Transport von Haushalts- und Haushaltsnaßabfällen. Abfallwirtschaftsjournal 3 (1991), Nr.4, S. 188-193.

JAGER E., ZESCHMAR-LAHL B., RÜDEN H. (1996): Hygienische Risiken von Arbeitsplätzen in der Abfallwirtschaft. In: Müllhandbuch, Kennziffer Nr. 5065. Hrsg: HÖSEL/SCHENKEL/SCHNURER, E.Schmidt Verlag., Lieferung 5/96.

KÄMPFER P., WEISSENFELS W.D.(1997): Luftgetragene Mikroorganismen in Abfallbehandlungsanlagen. Hrsg.: Vereinigung für Allgemeine und Angewandte Mikrobiologie (VAAM), Fachgruppe Umweltmikrobiologie, Ringstraße 2, D-06120 Lieskau.

KAYSER F.H., BIENZ K.A., ECKERT J., LINDEMANN J. (1986): Medizinische Mikrobiologie. 6. Auflage. Thieme-Verlag.

KEMPF A., KUTZNER H.-J.(1994): Untersuchungen zur Emission von Actinomyceten in Kompostwerken. In: STALDER K., VERKOYEN C.: Gesundheitsrisiken bei der Entsorgung kommunaler Abfälle, Verlag die Werkstatt, Göttingen.

KÖHLER K.K.(1996): Methodik der Luftkeimsammlung: Technik, Repräsentativität, Stand der Diskussion. In: WIEMER, KERN: Biologische Abfallbehandlung III, MIC-Baeza-Verlag, Witzenhausen, S.297-313.

LAHL, SCHEIDL et al. (1998): Abluftemissionen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Österreich. In: Monographie des Umweltbundesamtes Band 104.

LASI (1995): Leitlinien des Arbeitsschutzes in Wertstoffsortieranlagen. Länderausschuß für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), Eigenverlag, Wiesbaden.

LEBRUN T.(1979): Los angeles country sanitation districts. Memo to LA/OMA project on status of *Aspergillus* monitoring. Zit. in HAUG, 1993.

MALMBERG P., RASK-ANDERSEN, ROSENHALL L.(1993): Exposure to microorganisms associated with allergic alveolitis and febrile reactions to mold dust in farmers. *Chest* 103 (4), 1202-1209.

MALMROS P., SIGSGAARD T., BACH B.(1992): Occupational Health Problems due to Garbage Sorting. *Waste management & Research* 10, 227-234.

MANIER G.(1994): Einführung in die Ausbreitungsrechnung und Immissionsprognose. 42. Darmstädter Seminar - Abfalltechnik - Umweltbeeinflussung durch biologische Abfallbehandlungsverfahren, Schriftenreihe WAR 81, 129-137.

MILLNER P.D., BASSETT D.A., MARSH P.B. (1980): Dispersal of *Aspergillus fumigatus* from sewage sludge, compost piles subjected to mechanical agitation in open air. *Applied and environmental microbiology*, Vol. 39, No.5, May 1980, pp. 1000-1009.

MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT; NATURSCHUTZ UND UMWELT THÜRINGEN (1997): Anforderungsprofil an Anlagen zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBA). Thüringer StAnz Nr. 12/1997, S.678-685.

MOSTBAUER et al. (1998): Grundlagen für eine Technische Anleitung zur mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Abfällen. In: Report des Umweltbundesamtes R-151.

MÜLLER E.(1996): Kurze Einführung in die Infektologie und warum auf Mülldeponien kein großes Infektionsrisiko besteht. *Müll und Abfall* 9/96, S.595-605.

n.n.(1997): Das GICOM Tunnelverfahren. In: Hersteller- und Dienstleistungskatalog 1997/98, Hrsg.: Wiemer K., Kern M, Witzenhausen-Institut.

ÖNORM EN 13098 (Entwurf vom 1.Februar 1998): Arbeitsplatzatmosphäre – Leitlinien für die Messung von Mikroorganismen und Endotoxin in der Luft.

PELIC-SABO M.(1998): Keimemissionen aus Anlagen der biologischen Abluftreinigung. In: Biologische Abluftreinigung. Technische Akademie Esslingen, Tagung am 16.-18.2.1998, Ostfildern.

PFIRRMANN A.(1994): Untersuchungen zum Vorkommen von luftgetragenen Viren an Arbeitsplätzen in der Müllentsorgung und -verwertung. Agrarwissenschaftliche Dissertation, Univ. Hohenheim.

PFUDERER G.(1989): Desinfektionswirkung von Kalk bei verschiedenen Verfahren der Klärschlammbehandlung. Stuttg. Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 89.

PICHLER-SEMMELOCK F.P., MARTH E., KÖCK M.(1996): Hygienische Aspekte beim Umgang mit biogenen Abfällen. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Schriftenreihe der Sektion III (Abfallwirtschaft), Band 33.

PIPKE R.(1995): Stand des Arbeitsschutzes zur Verringerung der Keimbelastung. In: Keimbelastung in der Abfallwirtschaft. Tagungsbericht. Hrsg.: Insitut für Toxikologie und Umwelthygiene, Techn. Univ. München, S.105 ff.

PIPKE R.(1996 a): Standardisierung von Meßverfahren, Strategie der Probenahme. In: Hygiene in der Abfallwirtschaft. 50 Darmstädter Seminar - Abfalltechnik. Schriftenreihe WAR Nr. 92, Technische Hochschule Darmstadt.

PIPKE R.(1996 b): Grenzwerte für biologische Arbeitsstoffe. Sichere Arbeit 4/1996, S.31-35.

POULSEN O.M. et al.(1995): Sorting and recycling of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. The science of the total environment 168(1995),S.33-56 und 170 (1995), S.1-19.

RAKOSKI J.(1995): Klinik der Schimmelpilz-Allergien. In: Keimbelastung in der Abfallwirtschaft. Tagungsbericht. Hrsg.: Insitut für Toxikologie und Umwelthygiene, Techn. Univ. München, S.41 ff.

REINTHALER (1997 a): persönliche Mitteilung

REINTHALER (1997 b): Technische Groß-Kompostieranlagen. Anlagen- und anrainerbezogene Luftkeimmessungen. Waste Magazin 2/97, S.35-40.

REISS R.(1986): Schimmelpilze. Lebensweise, Nutzen, Schaden, Bekämpfung. Springer-Verlag, Berlin.

RENSCH I., WALTER R., KLICHE H.(1997): Aus Klärschlamm wird Rekultivierungssubstrat: Mikrobiologische Vorgänge. Wasser, Luft und Boden 1-2/1997, S.64-65.

RUBARTH W., GERKE W., SEIER H.(1996): Stör- und Wertstoffseparation in Abfallbehandlungsanlagen - Arbeitsschutz durch Automatisierung. WLB Wasser, Luft und Boden 9/96, S.66-69.

RÜDEN H., FISCHER P., THOFERN E.(1978): Mikroorganismen in der Außenluft während eines Winterhalbjahres. Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B 166, 322-325.

SCHLEGEL H.G.(1981): Allgemeine Mikrobiologie. Lehrbuch. Thieme Verlag, Stuttgart.

SCHMIDT B.(1994): Die Emissionen von Bakterien beim Umgang mit Bioabfall. In: STALDER K., VERKOYEN C.: Gesundheitsrisiken bei der Entsorgung kommunaler Abfälle, Verlag die Werkstatt, Göttingen.

SEDLATSCHEK C., SCHMATZBERGER A.(1997): Mitteilung des Zentral-Arbeitsinspektorates an das BMUJF und Umweltbundesamt, unveröffentlicht.

SEIDL H.-P.(1995): Mikrobiologie des Abfalls. In: Keimbelastung in der Abfallwirtschaft. Tagungsbericht. Hrsg.: Insitut für Toxikologie und Umwelthygiene, Techn. Univ. München, S.5 ff.

SENKPIEL K., OHGKE H.(1992): Beurteilung der „Schimmelpilz“-Sporenkonzentration in der Innenraumlufte und ihre gesundheitliche Auswirkungen. GI-Gesundheitsingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik 113(1); S.42-45.

STARK W., LECHNER P., RAAB W., BRAUN R.(1991): Literaturstudie zum Vorkommen von *Aspergillus fumigatus* und Bewertung seines Auftretens bei der Kompostierung. Studie des Institutes für Wassergüte und Landschaftswasserbau, Technische Universität Wien. Im Auftrag der Gemeinde Wien, MA 48. Unveröffentlicht.

STEINBERG R.(1997): Keimemissionen in der Abfallwirtschaft unter Berücksichtigung des Arbeitsschutzes. Veröffentl. d. Fachgebiet Abfall- und Siedlungswasserwirtschaft Bergische Universität - Gesamthochschule Wuppertal, Band 2. Hrsg.: Prof. Dr. Ehrig.

STRAUCH D.(1996 a): Keimübertragung und Arbeitsschutz bei der biologischen Abfallbehandlung. Abfallwirtschaftsjournal 9/1996, S.13-16.

STRAUCH D.(1996 b): Hygieneaspekte bei der Cofermentation. In: Internationale Erfahrungen mit der Verwertung biogener Abfälle zur Biogasproduktion. Tagungsbericht Band 14, Umweltbundesamt, Wien.

STREIB R., HERBOLD K., BOTZENHARD K.(1989): Keimzahlen ausgewählter Mikroorganismen in ungetrenntem Hausmüll, Biomüll und Naßmüll bei unterschiedlichen Standzeiten und Außentemperaturen. Forum Städte-Hygiene 40, 290-292.

TILTMANN K.O.(1993): Recycling betrieblicher Abfälle. Loseblattsammlung, WEKA Fachverlag für techn. Führungskräfte, Teil 4/6.2.1, Ausgabe Oktober 1993.

USRAEL G.(1980): Faktoren, die die Inaktivierung von Viren beim Belebungsverfahren beeinflussen. Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer, Band 35.

VON DER EMDE, K.(1987): Untersuchungen über das Vorkommen thermophiler Actinomyceten bei der Kompostierung von Hausmüll. Dissertation, Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau.

ZESCHMAR-LAHL B., LAHL U.(1996): Die Problematik der Hygienefrage bei Genehmigungsverfahren. In: Hygiene in der Abfallwirtschaft. 50. Darmstädter Seminar, Schriftenreihe WAR Nr. 92, S.151 - 179.

9 Verzeichnisse

9.1 Abbildungen

<i>Abbildung 1: Anzüchtbare Anzahl (KBE) in Fahrzeugkabinen mit und ohne Lüftungstechnische Einrichtungen.....</i>	<i>22</i>
--	-----------

9.2 Tabellen

<i>Tabelle 1: Bakterien, Aktinomyzeten</i>	<i>6</i>
<i>Tabelle 2: Pilzarten in Abfallbehandlungsanlagen</i>	<i>8</i>
<i>Tabelle.3: Mindestanzahl der in 8 Stunden erforderlichen Proben.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabelle 4: Beispiel für Kultivierungsmethoden, nach ECKRICH et al. (1995):</i>	<i>14</i>
<i>Tabelle 5: DIN- und EN- Normen zur Keimbelastung von Wasser.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabelle 6: Keimkonzentrationen innerhalb von Gebäuden und in der Außenluft, nach BOTZENHART (1979).....</i>	<i>18</i>
<i>Tabelle 7: Keimbelastung an Abfallbehandlungsanlagen, n. ECKRICH et al. (1995).....</i>	<i>19</i>
<i>Tabelle 8: Aspergillus fumigatus in umhausten Bereichen verschiedener Anlagen nach CLARK et al.(1984).</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 9: Infektionsgefahren bezüglich Atemwegserkrankungen</i>	<i>25</i>
<i>Tabelle 10: Biologische Arbeitsstoffe - Gruppeneinteilung nach EG-Richtlinie 90/679/EWG</i>	<i>26</i>
<i>Tabelle 11: Allergien.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 12: Vorschläge für Grenzkonzentrationen.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabelle 13: Bewertung der Expositionen, nach PIPKE.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabelle 14: „LASI“-Leitlinien (Entwurf, 1995) und Anforderungen gemäß Niedersächsischem Sozialministerium (1994)</i>	<i>38</i>
<i>Tabelle 15: Auszug aus der Thüringer Richtlinie</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 16: „Check-Liste“ für die Überwachung nach ZESCHMAR-LAHL und LAHL (1996)</i>	<i>48</i>
<i>Tabelle 17: Überblick über technische System zum Umsetzen des Rottegutes.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabelle 18: Notwendigkeit einer Ablufferfassung.....</i>	<i>57</i>