



lebensministerium.at

# Stand der Technik der Kompostierung

Grundlagenstudie







lebensministerium.at

# STAND DER TECHNIK DER KOMPOSTIERUNG

Grundlagenstudie

## IMPRESSUM

### **Medieninhaber und Herausgeber:**

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

**Autoren:** DI Florian Amlinger, DI Stefan Peyr, Kompost - Entwicklung & Beratung

Urs Hildebrandt, Beratung für Boden und Kompost

Dr.-Ing. Joachim Müsken, Dr. Müsken + Partner

Dr.-Ing. Carsten Cuhls, Dr.habil. Joachim Clemens, gewitra Ingenieurgesellschaft für

Wissenstransfer mbH

29.9.05

## **Danksagung**

Die Autoren bedanken sich bei den zahlreichen Kompostanlagenbetreibern und Kollegen aus Beratung, Planung und Behörde sowie den beiden Kompostorganisationen KGVÖ und ARGE Kompost und Biogas Österreich mit ihren Landesorganisationen für die vielfältigen Anregungen und Rückmeldungen aus der Anlagenplanungs- und Betriebspraxis.

Insbesondere gilt unser Dank den Firmen und Kollegen, die die Fragebögen zur Erhebung der in Österreich angewendeten Kompostierungsverfahren ausgefüllt und meist gemeinsam mit umfassenden Prospektmaterial zurückgeschickt haben.

Dem Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband sei für die Organisation und Abhaltung von Abstimmungsgesprächen mit den betroffenen Kreisen im Zuge der Vorbereitung der vom BMLFUW herausgegebenen Richtlinie gedankt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 ZIEL UND UMFANG DER STUDIE .....</b>	<b>9</b>
ANWENDUNGSBEREICH <sup>90</sup> .....	9
NEUE SCHLÜSSELNUMMERN FÜR AUSGANGSMATERIALIEN ZUR KOMPOSTIERUNG.....	10
<b>2 RECHTLICHE GRUNDLAGEN UND VERWENDETE STANDARDLITERATUR.....</b>	<b>11</b>
<b>3 KOMPOSTIERUNG IN ÖSTERREICH .....</b>	<b>16</b>
3.1 IST-STAND DER KOMPOSTIERUNG IN ÖSTERREICH .....	16
3.1.1 <i>Kompostierungsanlagen</i> .....	20
3.1.2 <i>Exkurs: Biogasanlagen</i> .....	21
3.1.2.1 Landwirtschaftliche Biogasanlagen – Verwertung von Wirtschaftsdünger und nachwachsender Rohstoffe (NAWAROS)[Zusammenfassung aus Amon et al. 2003].....	21
3.1.2.2 Anaerobe Behandlung biogener Abfälle aus Haushalten in großtechnischen Biogasanlagen .....	22
3.1.3 <i>Kompostproduktion und Markt</i> .....	23
3.2 ORGANISATIONS— BZW. RECHTSFORMEN DER KOMPOSTIERUNG.....	23
3.2.1 <i>Landwirtschaftliche Kompostierungsanlagen</i> .....	24
3.2.1.1 Allgemeine Voraussetzungen .....	24
3.2.1.2 Kurzer Überblick zu Organisationsstrukturen der landwirtschaftlichen Kompostierung .....	25
<b>4 ZIEL UND BIOLOGISCHE RAHMENBEDINGUNGEN DER KOMPOSTIERUNG.....</b>	<b>26</b>
4.1 ZIEL DER KOMPOSTIERUNG.....	26
4.2 BIOLOGIE DES ROTTEPROZESSES .....	27
<b>5 „MATERIALLAGERUNGEN“ SOWIE VORBEHANDLUNGSVERFAHREN, DIE VOM STAND DER TECHNIK DER KOMPOSTIERUNG ABZUGRENZEN SIND.....</b>	<b>33</b>
5.1 AUSZUSCHLIEßENDE „VERFAHREN“, DIE KEINE VORBEHANDLUNG BZW. ORDNUNGSGEMÄßE KOMPOSTIERUNG IM SINNE DES STANDES DER TECHNIK DARSTELLEN .....	33
5.1.1 <i>Lagerung bzw. Behandlung von organischen Materialien</i> .....	33
5.1.2 <i>Materialübernahme und Durchführung der Hauptrotte auf offenem Boden ohne Basisabdichtung sowie ohne gesicherte Ableitung von Oberflächen- und Prozesswässern</i> .....	34
5.1.3 <i>Trockenstabilisierung von Rohkomposten durch mangelnde Befeuchtung und „Trocknen“ in zwangsbelüfteten Systemen</i> .....	34
5.1.4 <i>„Überhitzung“ organischer Materialien bei &gt; 70 °C</i> .....	35
5.1.5 <i>Zugabe von Frischmaterial nach Abschluss der Hauptrotte</i> .....	35
5.2 VORBEHANDLUNGSVERFAHREN .....	36
5.2.1 <i>Anaerobe Vergärung in Biogasanlagen</i> .....	36
5.2.2 <i>Vorlagerung von biogenen Abfällen mit Zusatz von Fermentationsmitteln (auf Basis von Bakterien/Pilzkulturen) zur Vorfermentation bzw. Teil-Konservierung</i> .....	36

## **6 SPEZIFISCHE VORRAUSSETZUNGEN DER AUSGANGSMATERIALIEN HINSICHTLICH PROZESS-, EMISSIONS- UND QUALITÄTSFRAGEN ..... 41**

6.1	PROZESS- UND EMISSIONSRELEVANTE EIGENSCHAFTEN DER KOMPOSTAUSGANGSMATERIALIEN ...	42
6.1.1	<i>Mikrobielle Abbaubarkeit</i> .....	42
6.2	PRODUKTORIENTIERTE QUALITÄT DER AUSGANGSMATERIALIEN.....	46
6.2.1	<i>Gehalt an nicht abbaubaren Schad- und Fremdstoffen</i> .....	46
6.2.1.1	Persistente Organische Schadstoffe.....	46
6.2.1.2	Schwermetalle .....	48
6.2.1.3	Verunreinigung mit Fremd- und Ballaststoffen (Plastik, Metalle, Glas).....	53
6.2.1.4	pH-Wert .....	54
6.2.1.5	Nährstoffgehalt und Salzgehalt.....	54
6.3	AUSGANGSMATERIALIEN GEMÄß KOMPOSTVO .....	55
6.4	HILFS- UND ZUSCHLAGSTOFFE .....	55
6.4.1	<i>Zuschlagstoffe</i> .....	55
6.4.2	<i>Hilfsstoffe</i> .....	55
6.5	BESONDERE ANFORDERUNGEN BEI DER KOMPOSTIERUNG VON FRIEDHOFSABFÄLLEN .....	57

## **7 EMISSIONEN BEI DER KOMPOSTIERUNG UND GRUNDSÄTZE EINES EMISSIONSARMEN BETRIEBES ..... 61**

7.1	DIE BEDEUTUNG DES ANLAGENSTANDORTS .....	64
7.2	GERUCHSEMISSIONEN.....	65
7.2.1	<i>Geruchsemissionen und Anlagenstandort</i> .....	65
7.2.2	<i>Eigenschaften von Geruchsstoffen</i> .....	65
7.2.3	<i>Entstehung von Geruchsstoffen bei der Kompostierung</i> .....	69
7.2.3.1	Mesophile Startphase (erster Abschnitt der Initialphase).....	70
7.2.3.2	Selbsterwärmungsphase (zweiter Abschnitt der Initialphase).....	71
7.2.3.3	Heißrottephase (erster Abschnitt der thermophilen Phase).....	71
7.2.3.4	Abkühlungsphase (zweiter Abschnitt der thermophilen Phase).....	72
7.2.3.5	Reifungsphase (Um- und Aufbauphase).....	72
7.2.4	<i>Grobaufbereitung des Ausgangsmaterials und Rotteführung – Eckpunkte eines geruchsarmen Betriebes</i> .....	73
7.2.5	<i>Minderungsmaßnahmen für Geruchsemissionen bei offenen Anlagen</i> .....	75
7.2.5.1	Sonderfall der Mietenabdeckung mit biologischen Abdeckmaterialien .....	76
7.2.5.2	Mietenabdeckung mit semipermeablen Kunststoffmembranen .....	77
7.2.6	<i>Technische Maßnahmen der Abluftbehandlung</i> .....	77
7.2.6.1	Biologische Abgasreinigung.....	79
7.2.6.2	Biofilter.....	81
7.2.6.3	Biowäscher .....	86
7.2.6.4	Biomembranverfahren .....	89
7.2.6.5	Andere Reinigungsverfahren .....	89

7.2.7	<i>Generelle Strategien und Methoden für Sanierungsmaßnahmen und Störfallbehebung</i> .....	92
7.2.7.1	Mindestanforderungen an ein innerbetriebliches Konzept .....	93
7.2.7.2	Umgang mit Beschwerdeführern .....	94
7.2.7.3	Vermeidbare Geruchsemissionen bzw. -immissionen .....	94
7.2.8	<i>Zusammenfassung: Fehler in Anlagenplanung und -betrieb (Betriebsführung)</i> .....	97
7.2.9	<i>Richtwerte für einen ordnungsgemäßen Betrieb und für die Begrenzung von Geruchsemissionen</i> .....	99
7.2.9.1	Grundsätzliches .....	99
7.2.9.2	Detaillierte Emissions- und Immissionsbetrachtung – Die Abstandsregelung .....	100
7.2.9.3	Umfang einer detaillierten Einzelfallbetrachtung (wenn nach 7.2.9.2 erforderlich) .....	103
7.3	STEUERUNG DES WASSERHAUSHALTES UND FLÜSSIGE EMISSIONEN .....	105
7.3.1	<i>Arten von flüssigen Emissionen aus Kompostanlagen</i> .....	105
7.3.1.1	Presswasser .....	105
7.3.1.2	Prozesswasser .....	105
7.3.1.3	Kondenswasser .....	106
7.3.1.4	Abwasser aus der Anlagenreinigung .....	106
7.3.1.5	Niederschlagsbedingtes Abwasser von offenen Mieten-, Manipulations- und Fahrflächen .....	106
7.3.1.6	Niederschlagsbedingtes Abwasser von Dachflächen .....	106
7.3.2	<i>Sickerwassermenge</i> .....	107
7.3.3	<i>Sickerwasserbelastung</i> .....	108
7.3.3.1	Sickerwasservermeidung und -verminderung .....	110
7.3.4	<i>Sickerwasserverwertung und -behandlung</i> .....	110
7.3.5	<i>Anforderungen an die Oberflächenwasserableitung und die Dimensionierung der Sickerwasserspeicher</i> .....	112
7.3.5.1	Sickerwasserableitung und -erfassung .....	112
7.3.6	<i>Biologische Reinigung der Sicker- und verunreinigten Niederschlagswässer mittels Verrieselungsflächen und Pflanzenkläranlagen</i> .....	114
7.3.6.1	Ausbringung von zwischengelagertem Sickerwasser auf Verrieselungsflächen .....	114
7.3.6.2	Pflanzenkläranlagen .....	114
7.4	SUBSTRATGEBUNDENE SEUCHENHYGIENISCH RELEVANTE KEIME UND DIE HYGIENISIERUNGSFUNKTION DES KOMPOSTIERUNGSPROZESSES .....	118
7.4.1	<i>Grundlegende Bewertung des Keimspektrums in biogenen Abfällen und Kompost</i> .....	118
7.4.1.1	Veränderung der Keimspektren vom Ausgangsmaterial zum fertigen Kompost .....	120
7.4.2	<i>Die Hygienisierungsfunktion des Kompostierungsprozesses</i> .....	122
7.4.2.1	Heißrottephase (> 55°C) .....	123
7.4.2.2	Stabilisierungsphase .....	127
7.4.2.3	Exkurs Phytohygiene .....	127
7.4.2.4	Exkurs Baumusterprüfung zur Hygienisierungsleistung von Kompostierungsverfahren .....	128
7.4.3	<i>Grundsätzliches aus der TNP-Verordnung</i> .....	130
7.4.4	<i>Abgestufte Behandlungsvorschriften in Kompostierungsanlagen</i> .....	132

7.4.4.1	(A) Basisanforderungen für getrennt gesammelte biogene Abfälle (inklusive Küchen- und Speiseabfälle) sowie sonstige zulässige Materialien zur Kompostierung gemäß Anlage 1 Kompostverordnung, die keine tierischen Nebenprodukte enthalten.....	132
7.4.4.2	(B) Getrennte Anlieferung von Küchen- und Speiseabfällen aus Gastronomie und Großküchen.....	136
7.4.4.3	(C.1) Bestimmungen für die Verarbeitung sonstiger Materialien der Kategorie 3 (Art.6(1) Buchstabe (a) bis (k) TNP-Vo) auch gemeinsam mit „Wirtschaftsdünger“ in Kompostierungsanlagen, die diese Bestimmungen bereits am 1. November 2002 anwendeten – Übergangsbestimmung (EG) Nr. 809/2003 .....	137
7.4.4.4	(C.2) Bestimmungen für die Verarbeitung sonstiger Materialien der Kategorie 3 (Art.6(1) Buchstabe (a) bis (k) TNP-Vo) in Betrieben, die erst nach dem 1. November 2002 genehmigt wurden (keine Anwendung der Übergangsbestimmungen).....	139
7.4.4.5	(D) Spezielle Anforderungen an „Wirtschaftsdünger“ sowie Magen- und Darminhalt, Milch und Kolostrum .....	140
7.4.4.6	(E) Verarbeitungsnormen für sonstiges Material der Kategorie 2 .....	141
7.4.5	<i>Weitere Bestimmungen</i> .....	141
7.4.5.1	Zwischenstaatlicher Handel.....	141
7.4.5.2	Aufbringung von Kompost .....	142
7.4.6	<i>Anforderungen an die seuchenhygienische Unbedenklichkeit des fertigen Komposts gemäß Kompostverordnung</i> .....	142
7.4.6.1	Anforderungen an das Endprodukt.....	142
7.4.7	<i>Kurzer Überblick zu den Hygieneanforderungen anderer europäischer Länder</i> .....	144
7.5	LUFTGETRAGENE KEIMEMISSIONEN.....	146
7.5.1	<i>Überprüfung der Atemluft</i> .....	148
7.5.2	<i>Vergleichswerte natürlicher Umgebungen</i> .....	149
7.5.3	<i>Luftkeimkonzentrationen in Kompostanlagen</i> .....	150
7.5.4	<i>Übersicht zu Prozessabschnitten, Anlagenteilen, Arbeitsbereichen als abgegrenzte Emissionsquellen</i> .....	151
7.5.5	<i>Technische Maßnahmen zur Reduktion der Keimemissionen</i> .....	153
7.5.5.1	Abdeckung mit semipermeablen Membranen.....	153
7.5.5.2	Reduktionsleistung für Keimemissionen durch Biofilter .....	153
7.5.5.3	Benebelungs- bzw. Niedernebelungssysteme .....	154
7.5.6	<i>Immissionsbetrachtung eine Frage der Entfernung</i> .....	155
7.5.7	<i>Allgemeine arbeitnehmerseitige Schutzmaßnahmen</i> .....	157
7.5.7.1	Spezielle Arbeitsschutzmaßnahmen in Kompostierungsanlagen .....	158
7.5.8	<i>Schlussfolgerungen für den Stand der Technik „Minderung von Keimemissionen“..</i>	161
7.6	SONSTIGE GASFÖRMIGE EMISSIONEN.....	162
7.6.1	<i>Allgemeine Voraussetzungen</i> .....	162
7.6.2	<i>Quantifizierung von Treibhausgasen bei der Kompostierung</i> .....	163
7.6.2.1	Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ).....	163
7.6.2.2	Methan (CH <sub>4</sub> ).....	164
7.6.2.3	Lachgas (N <sub>2</sub> O).....	167
7.6.2.4	Ammoniak (NH <sub>3</sub> ).....	171
7.6.2.5	Zusammenfassender Überblick zu den Emissionsfaktoren aus der Kompostierung .....	173

7.6.2.6	Bedeutung der klimarelevanten Gasemissionen durch die Kompostierung vor dem Hintergrund des nationalen Treibhausgaspotenzials .....	174
7.6.3	<i>Schlussfolgerungen und Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen und NH<sub>3</sub></i> .....	175
7.6.3.1	Spezifische Maßnahmen zur Prozessoptimierung für einen emissionsarmen Betrieb.....	176
7.6.4	<i>Qualität und Relevanz der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC)</i> .....	180
7.6.4.1	Einführung .....	180
7.6.4.2	Qualitative Ergebnisse aus der Literatur und Bewertung .....	182
7.6.4.3	Resultierende Leitkomponenten .....	189
7.6.5	<i>Quantifizierung und Minderung organischer Stoffe / VOC-Emissionen</i> .....	190
7.6.5.1	Allgemeines: .....	190
7.6.5.2	VOC.....	190
7.6.5.3	C <sub>ges.</sub> (TOC) und Methan:.....	194
7.6.6	<i>Exkurs – Natürliche, biogene VOC-Emissionen</i> .....	196
7.6.6.1	Schlussfolgerungen zu den VOC-Emissionen aus den vorliegenden Untersuchungen .....	198
7.7	LÄRMEMISSIONEN .....	199
7.7.1	<i>Allgemeine Voraussetzungen</i> .....	199
<b>8</b>	<b>SICHERUNG DER ANGESTREBTEN ENDPRODUKTQUALITÄT .....</b>	<b>200</b>
8.1	ÜBERSICHT ZU VERBINDLICHEN GRENZ- UND RICHTWERTEN .....	201
8.1.1	<i>Schwermetalle</i> .....	201
8.1.2	<i>Weitere Anforderungen der KompostVo mit Grenzwerten</i> .....	203
8.2	WEITERE ANFORDERUNGEN AN DIE QUALITÄTSBILDUNG VON VERWENDUNGSFERTIGEN KOMPOSTPRODUKTEN .....	205
<b>9</b>	<b>VERFAHREN UND BETRIEBSFORMEN DER KOMPOSTIERUNG.....</b>	<b>207</b>
9.1	MATERIALÜBERNAHME – ANLIEFERUNGSBEREICH.....	209
9.1.1	<i>Beschreibung der Hauptfunktionen</i> .....	209
9.1.2	<i>Technisch-bauliche Grundsysteme, Verfahrenstypen</i> .....	209
9.1.3	<i>Technisch-bauliche Ausstattung des Übernahmebereiches und von Zwischenlagerflächen</i> .....	209
9.1.4	<i>Anforderungen an die Betriebsführung und Dokumentation</i> .....	210
9.1.4.1	Auszug aus der Fachinformation zur KompostVo – Aufzeichnungen von Zwischenlagern und Verbleib übernommener Kompostausgangsmaterialien .....	212
9.1.5	<i>Mögliche Emissionen und emissionsrelevante Maßnahmen</i> .....	216
9.1.5.1	Geruchsemissionen bei der Materialübernahme .....	216
9.1.5.2	Keimemissionen bei der Materialübernahme.....	216
9.1.5.3	Geruchsemissionen bei der Materialübernahme .....	216
9.1.5.4	Flüssige Emissionen bei der Materialübernahme .....	216
9.2	MATERIALAUFBEREITUNG .....	218
9.2.1	<i>Wesentliche Funktionen</i> .....	218

9.2.2	<i>Aussortierung/Abtrennung von Störstoffen im Zuge der Materialaufbereitung</i> .....	218
9.2.2.1	Funktion der Störstoffabtrennung .....	218
9.2.2.2	Verfahren der Störstoffabtrennung im Zuge der Materialaufbereitung.....	219
9.2.3	<i>Zerkleinerung</i> .....	222
9.2.3.1	Mögliche Emissionen.....	223
9.2.3.2	Typen und Funktionsweisen von Zerkleinerungsmaschinen.....	223
9.2.4	<i>Homogenisieren und Mischen der Ausgangsmaterialien</i> .....	227
9.2.4.1	Verfahren der Homogenisierung und Mischung von Kompostausgangsstoffen.....	231
9.3	HAUPTROTTE.....	233
9.3.1	<i>Einführung - Definitionen</i> .....	233
9.3.2	<i>Anforderungen an die baulich-technische Ausstattung, Betriebsführung und Dokumentation der Hauptrotte</i> .....	239
9.3.2.1	Wesentliche Funktionen .....	239
9.3.2.2	Mögliche Emissionen.....	239
9.3.2.3	Mindestanforderungen an die baulich-technische Ausstattung.....	239
9.3.2.4	Optionale, ergänzende Ausstattung bzw. Prozesssteuerung.....	240
9.3.2.5	Anforderungen an die Betriebsführung .....	241
9.3.2.6	Diskussionsentwurf für Mindestanforderungen an den Rottegrad bzw. die Stabilität des Rottegutes bei Austrag aus geschlossenen Rottereaktoren (zB Rottehalle, Box, Tunnel)..	243
9.3.3	<i>Verfahrensbeschreibung der Hauptrottesysteme</i> .....	245
9.3.3.1	Einige Daten aus der Praxiserhebung .....	246
9.3.4	<i>Offene Mietenkompostierung ohne Zwangsbelüftung</i> .....	247
9.3.4.1	Beispiel einer landwirtschaftlichen Kompostieranlage mit einer Verarbeitungskapazität von ca. 1.500 t a <sup>-1</sup> .....	248
9.3.5	<i>Offenes, statisches Mietenrottesystem: natürlich belüftet, mit variabler Umsetzhäufigkeit und unterschiedlichem Mietenquerschnitt</i> .....	251
9.3.5.1	Tafel- oder Trapezmiete mit überwiegend Grünabfällen mit geringer Umsetzhäufigkeit.....	251
9.3.5.2	Dreiecksmieten mit hoher Umsetzfrequenz .....	254
9.3.5.3	Klärschlammkompostierung .....	258
9.3.6	<i>Offenes statisches Mietenrottesystem mit Zwangsbelüftung und regelmäßigem Umsetzen</i> .....	261
9.3.7	<i>Kompostierung unter semipermeablen Membranen</i> .....	264
9.3.8	<i>Geschlossenes / eingehaustes statisches Mietenrottesystem mit Zwangsbelüftung und regelmäßigem Umsetzen</i> .....	268
	<i>Bestehende Anlagen in Österreich</i> .....	272
9.3.9	<i>Geschlossenes, zwangsbelüftetes System (= Reaktorsystem; Boxen-, Tunnelkompostierung) im Chargenbetrieb ohne regelmäßiges Umsetzen/Umwälzen</i> .....	273
9.3.9.1	Boxenkompostierung .....	274
9.3.9.2	Tunnel-Kompostierung .....	279
9.4	NACHROTTE .....	283
9.4.1	<i>Wesentliche Funktionen</i> .....	283

9.4.2	<i>Mögliche Emissionen</i>	283
9.4.3	<i>Baulich-technische Ausstattung</i>	284
9.4.4	<i>Anforderungen an die Betriebsführung und Dokumentation</i>	285
9.5	FEINAUFBEREITUNG	287
9.5.1	<i>Wesentliche Funktionen</i>	287
9.5.2	<i>Mögliche Emissionen</i>	287
9.5.3	<i>Technisch-bauliche Ausstattung</i>	287
9.5.4	<i>Anforderungen an die Betriebsführung und Dokumentation</i>	288
9.5.5	<i>Technisch-bauliche Varianten</i>	290
9.5.5.1	Siebung	290
9.5.6	<i>Störstoffabscheidung im Zuge der Feinaufbereitung</i>	294
9.5.6.1	Windsichtung	294
9.5.6.2	Magnetabscheidung	296
9.5.6.3	Hartstoffabscheidung	297
9.6	NACHLAGERUNG	299
9.6.1	<i>Wesentliche Funktionen</i>	299
9.6.2	<i>Mögliche Emissionen</i>	299
9.6.3	<i>Technisch-bauliche Ausstattung</i>	300
9.6.4	<i>Anforderungen an die Betriebsführung</i>	301
<b>10</b>	<b>ANAEROBE VORBEHANDLUNG</b>	<b>302</b>
10.1	VERFAHRENSTECHNIK	303
10.2	ALLGEMEINE MASCHINELLE UND BAULICHE AUSSTATTUNG	303
10.3	UMWELTVERTRÄGLICHKEIT	303
10.4	ZUSAMMENFASSUNG	304
<b>11</b>	<b>LITERATURLISTE</b>	<b>305</b>
<b>12</b>	<b>ABKÜRZUNGEN</b>	<b>315</b>
<b>13</b>	<b>BEGRIFFSBESTIMMUNGEN UND DEFINITIONEN</b>	<b>318</b>
	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>330</b>
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>333</b>



# 1 Ziel und Umfang der Studie

Aufgabe der Studie ist es, den aktuellen Stand der Technik für die in Österreich angewandten Kompostierungsverfahren systematisch aufzuarbeiten. Sie dient als Grundlage der vom BMLFUW herausgegebenen und mit den betroffenen Kreisen abgestimmten Richtlinie „Stand der Technik der Kompostierung“ (BMLFUW,2005<sup>[FA1]</sup>).

Zentrales Anliegen ist die Beschreibung der technischen und betrieblichen Voraussetzungen für eine emissionsarme Prozessführung für sämtliche Verfahrensschritte und Anlagenteile und die Erzielung einer hohen Endproduktqualität.

Nach dem heutigen Wissensstand wurden die Erfahrungen aus

- der Praxis
- einschlägiger Fachliteratur
- der Anlagenplanung und -sanierung

berücksichtigt.

Bei den diskutierten Optimierungsmaßnahmen muss auf die Frage deren Effektivität und die wirtschaftliche Verhältnismäßigkeit in Relation zur angestrebten Qualitätsverbesserung Bedacht genommen werden. Das Kosten-Nutzen Verhältnis wird daher insbesondere hinsichtlich der geforderten technischen Anforderungen für Maßnahmen zur Reduktion von gasförmigen und Geruchsemissionen berücksichtigt.

Dies steht auch im Einklang mit der Definition des „Standes der Technik“ im Österreichischen Abfallwirtschaftsgesetz (BGBl I 102/2002; §2(8)1.)

Darüber hinaus wird die Vielfalt der in Österreich anzutreffenden Kompostierungsverfahren in Abhängigkeit von Standort, Jahreskapazität und der breiten Palette an verarbeiteten Materialien berücksichtigt.

Die langjährig praktizierte Flexibilität der regionalen dezentralen Mietenkompostierung, die als ökologisch sinnvoller Weg österreichweit anerkannt ist, soll nicht durch unverhältnismäßige technische Auflagen gefährdet werden. Gesamtökologische Anliegen (kurze überschaubare Wege und Kreisläufe) sind jeweils gegen spezifische Umweltschutzaspekte sowie Interessen der Arbeitnehmer und Anrainer abzuwägen.

Der in dieser Studie für Gesamtverfahren, Anlagenteile, Prozesssteuerungssysteme, einzelne Maschinen und bauliche Ausstattungen beschriebene *Stand der Technik* stellt einerseits den heute anerkannten Mindeststandard dar, andererseits werden Hinweise für eine flexible und praxisingerechte Handhabung im Sinne eines prozessorientierten Qualitätsmanagements gegeben.

## **Anwendungsbereich**

Es ist nicht Ziel der Studie, die verschiedenen Organisationsformen der Kompostierung nach ihrer rechtlich-logistischen Ausgestaltung (zB landwirtschaftliche, kommunale, gewerbliche oder kleine dezentrale und große zentrale oder regionale Kompostierungsanlagen) gegeneinander abzugrenzen.

Die Studie beschreibt unter den jeweils gegebenen Rahmenbedingungen und nach dem Stand des Wissens die Mindestanforderungen an die baulich-technische Ausstattung sowie die Betriebsführung für Kompostierungsanlagen zur Herstellung von Kompost aus Ausgangsmaterialien gemäß Anlage I Teil 1, 2 und 4 Kompostverordnung (BGBl. I Nr. 292/2001).

Sie bildet die wissenschaftlich-technischen Grundlagen für die Erstellung einer österreichischen Richtlinie zum *Stand der Technik der Kompostierung*.

Nicht behandelt werden die Verfahrensanforderungen für die *mechanisch-biologische Restabfallbehandlung*. Die Vorbehandlung von Restabfall unterscheidet sich grundlegend in den materialbedingten Prozessanforderungen, dem angestrebten Nutzen und damit dem Prozessziel der Massenreduktion bei gleichzeitiger biologischer Stabilisierung für eine nachsorgefreie Deponierung. Diesbezügliche Anforderungen sind in eigenen Standardwerken des BMLFUW bzw. Umweltbundesamtes nachlesbar (Mostbauer et al., 1998<sup>[FA2]</sup>; BMLFUW, 2002<sup>[FA3]</sup>).

### **Eigen- (Hausgarten)kompostierung**

Es erfolgt keine spezielle Betrachtung der *Eigen- oder Hausgartenkompostierung* und ihrer Besonderheiten hinsichtlich der Voraussetzungen an Organisation und Prozessführung.

### **Herstellung von Erden – „Vererdungsverfahren“**

Die Kompostverordnung begrenzt den Zuschlagstoff „Erde“ - zwecks Rotteprozess-Optimierung - mit 15 Masseprozent. Hieraus ergibt sich eine Abgrenzung zwischen der Herstellung von Kompost bzw. Erden. Die qualitativen Anforderungen für die Herstellung von Erden mit bodenähnlichen Eigenschaften wird im Teilband: *Leitlinien zur Abfallverbringung und Behandlungsgrundsätze zum Bundesabfallwirtschaftsplan* (BMLFUW, 2001<sub>[FA4]</sub>) beschrieben. Zur Zeit existiert noch kein österreichischer „Stand der Technik zur Herstellung von Erden“. Jedoch wurden grundsätzliche, anwendungsorientierte Qualitätsanforderungen in folgender Normenserie standardisiert:

ÖNORM S 2122 Normenserie „Erden aus Abfällen“

Teil 1 – Untersuchungsmethoden – fraktionierte Analyse (1. Mai 2004)

Teil 2 – Untersuchungsmethoden - Interpretation fraktionierte Analyse (1. Mai 2004)

Teil 3 – Anwendungsrichtlinien (1. September 2004)

Die Herstellung von Erden bei höherem Zusatz von mineralischen Komponenten wird daher vom „*Stand der Technik der Kompostierung*“ nicht erfasst, außer es handelt sich um vorgeschaltete Kompostierungsverfahren unter Verwendung von organischen Ausgangsstoffen aus Abfällen.

### ***Neue Schlüsselnummern für Ausgangsmaterialien zur Kompostierung***

Mit Inkrafttreten der Abfallverzeichnisverordnungsnovelle 2005 werden die Abfallarten der KompostVo in das allgemeine Verzeichnis der Abfallarten aufgenommen. Hierbei werden in Abstimmung mit dem Gesundheitsressort die Erfordernisse der Tierischen Nebenprodukteverordnung (EG) Nr. 1774/2002 (TNP-Vo) berücksichtigt. Die Ausgangsmateriallisten des Anhang 1 Teil 1 und Teil 2 der KompostVo werden jeweils in Gruppen mit und ohne Anteilen an tierischen Bestandteilen unterteilt, Verweise auf die für die Behandlung in Kompostierungsanlagen zulässigen Materialien gemäß TNP-Vo werden aufgenommen.

Zur Erleichterung des Umstiegs werden in dieser Richtlinie immer dort, wo spezifische Materialien gemäß KompostVo zitiert werden, neben den Code Nr. aus der KompostVo 2001 die neuen Schlüsselnummern bzw. Abfallbezeichnungen angeführt.

In der KompostVo werden in der Folge die Abfallarten und deren Bezeichnung in Anlage 1 angepasst.

## 2 Rechtliche Grundlagen und verwendete Standardliteratur

Auftragsgemäß ist es nicht Gegenstand dieser Arbeit, wissenschaftliche Studien bzw. Untersuchungen zum Stand der Technik durchzuführen. So wird sowohl für die allgemeinen Abschnitte bzw. in der Systematik auf die Fachliteratur und bestehende Standardwerke zurückgegriffen. In manchen Bereichen, insbesondere wenn nicht spezifische Daten oder Untersuchungsergebnisse übernommen werden, wurde die Literatur nicht in jedem einzelnen Fall zitiert, sondern hier in die Liste zugrundegelegter Werke aufgenommen. Im Folgenden sind zusätzlich wichtige Regelwerke bzw. die technische Standardliteratur, auf die Bezug genommen wird, bzw. die ggf. zusätzlich zu berücksichtigen sind, aufgeführt:

### Österreichische Gesetze, Verordnungen

- BGBl. Nr. 68/1992. Verordnung über die getrennte Sammlung biogener Abfälle
- BGBl. I Nr. 292/2001. Verordnung über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung)
- BGBl. I Nr. 115/1997. Immissionsschutzgesetz - Luft, IG-L
- BGBl. II Nr. 237/1998. Verordnung biologische Arbeitsstoffe – VbA, idgF.
- BGBl. Nr. 218/1983. Allgemeine ArbeitnehmerschutzVo – AAV, idgF
- BGBl. Nr. 596/1994. Persönliche Schutzausrüstungen-Sicherheitsverordnung
- BGBl. II Nr. 27/1997. Verordnung des Bundesministers für Arbeit und Soziales über die Gesundheitsüberwachung am Arbeitsplatz (VGÜ)
- BGBl. II Nr. 368/1998. Arbeitsstättenverordnung - AStV
- BGBl. Nr. 186/1996. Allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisation – AAEV, idgF
- BGBl. II Nr. 9/1999. AbwasseremissionsVo – Abfallbehandlung
- BGBl. Nr. 215/1959. Wasserrechtsgesetz 1959 – WRG 1959 idgF
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Aktionsprogramm 2003 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. CELEX Nr. 391L0676
- BGBl. Nr. 111/2002. Gewerbeordnung – GewO 2002
- BGBl. Nr. 102/2002. Abfallwirtschaftsgesetz – AWG 2002 idgF
- BGBl. Nr. 450/1994. ArbeitnehmerInnenschutzgesetz – AschG
- BGBl. I Nr. 143/2000 Tiermehl-Gesetz idgF
- BGBl. II Nr. 141/2003. Bundesgesetz betreffend Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte und Materialien (Tiermaterialienengesetz–TMG)
- BGBl. II Nr. 618/2003. Abfallnachweisverordnung
- BGBl. II Nr. 570/2003. AbfallverzeichnisVO
- BGBl. Nr. 697/1993 idF BGBl. Nr. 773/1996. Umweltverträglichkeits - Prüfungsgesetz (UVP-G)
- BGBl. Nr. 495/1993. Umweltinformationsgesetz (UIG)
- BGBl. Nr. 127/1985 idF BGBl. Nr. 299/1989. Bundesgesetz über Umweltkontrolle
- BGBl. Nr. 391/1994. Störfallinformationsverordnung (StIV)
- BGBl. Nr. 185/1993 idgF. Umweltförderungsgesetz (UFG)
- BMLFUW, 2001. Bundesabfallwirtschaftsplan. Teilband: Leitlinien zur Abfallverbringung und Behandlungsgrundsätze.
- MAK-Werte-Liste Kundmachung des Bundesministers für Arbeit und Soziales vom 28. Dezember 1994, Zahl 61.720/10-4/94, über Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Technische Richtkonzentrationen (MAK-Werte-Liste), Amtliche Nachrichten Arbeit, Gesundheit, Soziales, 48. Jg., Sondernummer 2/1993
- LBGl. Nr. 11/1930 idF LGBl. Nr. 42, 43, 44 und 45/1996. Bauordnung für Wien
- LGBl. Nr. 39/1972 idF 15/1996. Vorarlberger Baugesetz

- LGBl. Nr. 33/1989 idF 81/1994. Tiroler Bauordnung
- nLGBl. Nr. 59/1995. Steiermärkisches Baugesetz
- LGBl. Nr. 69/1968 idF LGBl. Nr. 13/1995. Bebauungsgrundlagengesetz (Salzburg)
- LGBl. Nr. 66/1994 idF LGBl. Nr. 5/1995. OÖ Bauordnung
- LGBl. Nr. 129/1996. Bauordnung für NÖ
- LGBl. Nr. 62/1996. Kärntner Bauordnung
- LGBl. Nr. 13/1970 idF LGBl. Nr. 11/1994. Burgenländische Bauordnung

### **ÖNORMen**

- ÖNORM S 2007. Abfallwirtschaft - Biologische Abfallbehandlung - Begriffe
- ÖNORM S 2020. Biofiltermaterialien auf Kompostbasis - Anforderungen und Prüfparameter
- ÖNORM S 2021. Kultursubstrate - Qualitätsanforderungen und Untersuchungsmethoden
- ÖNORM S 2027-1. Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen - Teil 1: Atmungsaktivität (AT4)
- ÖNORM S 2027-2. Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen - Teil 2: Gasspendensumme im Inkubationstest (GS21)
- ÖNORM S 2027-3. Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen - Teil 3: Gasbildung im Gärtest (GB21)
- ÖNORM S 2100 Abfallkatalog
- ÖNORM S 2201. Kompostierbare Abfälle - Qualitätsanforderungen
- ÖNORM S 2203 (Entwurf). Anforderungen an Kulturerden aus Kompost
- ÖNORM S 2204. Kompost - Hygieneanforderungen - E. coli, Salmonella sp., Listeria sp., Campylobacter sp. - Probenahme, Untersuchungsmethoden, Ergebnisdarstellung
- ÖNORM S 2205 „Technische Anforderungen an Kompostierungsanlagen zur Verarbeitung biogener Abfälle“
- ÖNORM S 2206-1. Anforderungen an ein Qualitätssicherungssystem für die Herstellung von Komposten - Teil 1: Grundlagen für die Qualitätssicherung eines Betriebes und der betriebsinternen technischen Abläufe
- ÖNORM S 2206-2 (Entwurf). Anforderungen an ein Qualitätssicherungssystem für Komposte - Teil 2: Festlegung der Aufgaben und Vorgaben für eine Qualitätssicherungsorganisation
- ÖNORM S 5021-1 Schalltechnische Grundlagen für die örtliche und überörtliche Raumplanung und Raumordnung

### **Richtlinien, Merkblätter, Leitfäden**

- BMLFUW, 2002. Fachinformation zur Kompostverordnung (BGBl. II 292/2001). Leitfaden zum Herstellen, Inverkehrbringen, und zur Anwendung des Produktes Kompost gemäß Kompostverordnung. [Teil 1: für Komposthersteller, die nicht mehr als 150 m<sup>3</sup> Kompost mittel Direktabgabe in Verkehr bringen; Teil 2: Für Komposthersteller, die mehr als 150 m<sup>3</sup> Kompost abgeben und ausschließlich Materialien der Anlage 1 Teil 1 („Biogene Abfälle“) sowie Zuschlagstoffe verarbeiten]. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien; <http://www.lebensministerium.at/umwelt/>
- BMLFUW, 2005. Richtlinie zum Stand der Technik der Kompostierung. Wien
- Amt der NÖ Landesregierung, 1995. Standardvarianten für dezentrale Kompostierungsanlagen
- LASI LV 13, 1997. Leitlinien für den Arbeitsschutz in biologischen Abfallbehandlungsanlagen., Oktober 1997
- ÖKL-Baumerkblatt 24a, Technische Richtlinien für die Errichtung einer Düngeraufbereitungsplatte für die bäuerliche Kompostierung, 1993
- ÖWAV RB 402. Einfache Analysenverfahren auf Abfallbehandlungsanlagen – Teil 2: Eingangs-, Verfahrens- und Endproduktkontrolle auf Kompostierungsanlagen

- ÖWAV RB 508. Musterbetriebsprotokoll für Kompostierungsanlagen (teilweise überholt durch die Anforderungen der Kompostverordnung; siehe BMLFUW (2002))
- ÖWAV RB 513. Betrieb von Biofiltern.
- GIRL, 2004. Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie - GIRL - ) in der Fassung vom 21. September 2004; mit Begründung und Auslegungshinweisen.  
<http://www.hlug.de/medien/luft/emisskassel/dokumente/GIRLneu20040921.pdf>
- ÖAL-Richtlinien des Österreichischen Arbeitsring für Lärmbekämpfung; <http://www.oal.at/>
- Reinthaler, F.F., Wüst, G., Haas, D., Marth, E. 2000. Biologische Arbeitsstoffe in der Abfall- und Abwasserwirtschaft, Branchenkonzept im Auftrag der AUVA

### **Europäisches Recht**

- Richtlinie des Rates (EC) Nr. 61/1996 vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, Amtsblatt der EU Nr. L 257 vom 10.10.1996, S. 0026 – 0040
- Verordnung (EC) Nr. 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Oktober 2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte“ (HygieneVO)
- Richtlinie des Rates (EG) Nr. 31/1999 vom 26. April 1999 über Abfalldeponien idgF.
- Verordnung (EG) Nr. 2092/91 vom 24. Juni 1991 über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel, idgF
- Richtlinie (EG) Nr. 676/91 des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen

### **Einschlägige deutsche Regelwerke**

- Anonym, 1986. Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) vom 27.02.1986, Bundesrepublik Deutschland
- Anonym, 1990. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) vom 14. Mai 1990, Bundesrepublik Deutschland, BGBl. I, S. 880, zuletzt geändert am 26.09.2002
- Anonym, 1994. Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG) vom 27. September 1994, Bundesrepublik Deutschland, BGBl. I 1994 S. 2705; 1996 S. 1354; 1998 S. 509, 1485, 2455, Zuletzt geändert am 21. 8.2002
- Anonym, 1998. Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV) vom 21. September 1998, Bundesrepublik Deutschland, BGBl. I, S. 2955
- Anonym, 1998b. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Artikel 1 des Gesetzes zum Schutz des Bodens) vom 17. März 1998, Bundesrepublik Deutschland, BGBl. I 1998, S. 502, zuletzt geändert am 09.09.2001
- Anonym, 2002. Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) vom 24. Juli 2002, Bundesrepublik Deutschland, GMBI. 2002, Heft 25 – 29, S. 511 – 605
- DIN EN 13725 „Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie“, 2003 (ISO 5492, 1992, Sensory Analysis–Vocabulary).
- Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutz-Gesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft), fortlaufend aktualisiert/VDI Richtlinie 3477 (Entwurf): Biologische Abgasreinigung, Biofilter. Berlin, Beuth-Verlag, 2002
- GIRL, 2004. Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie - GIRL - ) in der Fassung vom 21. September 2004; mit Begründung und Ausle-

gungshinweisen.

<http://www.hlug.de/medien/luft/emisskassel/dokumente/GIRLneu20040921.pdf>

- RAL GZ 151, 1996. Kompost Gütesicherung: Hrsg. Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Beuth Verlag GmbH, D-10772 Berlin
- VDI 3475 Blatt 1 2003-01: Emissionsminderung; Biologische Abfallbehandlungsanlagen - Kompostierung und Vergärung - Anlagenkapazität mehr als ca. 6000 Mg/a; Berlin; Beuth-Verlag
- VDI 3475 Blatt 2 (Entwurf) 2003-11: Emissionsminderung; Biologische Abfallbehandlungsanlagen - Kompostierung und (Co-)Vergärung - Anlagenkapazität bis ca. 6.000 Mg/a; Berlin – Beuth-Verlag
- VDI 3477, 2004-11: Biologische Abgasreinigung - Biofilter, Berlin – Beuth-Verlag
- VDI 3881 Blatt 1 bis 4: Olfaktometrie - Geruchsschwellenbestimmung. Berlin, Beuth-Verlag, 1986-1989, Berlin – Beuth-Verlag
- VDI 3881 Blatt 1, 1986-05: Olfaktometrie, Geruchsschwellenbestimmung - Grundlagen, Berlin – Beuth-Verlag
- VDI 3881 Blatt 2, 1987-01: Olfaktometrie, Geruchsschwellenbestimmung - Probenahme, Berlin – Beuth-Verlag
- VDI 3881 Blatt 3, 1986-11: Olfaktometrie, Geruchsschwellenbestimmung - Olfaktometer mit Verdünnung nach dem Gasstrahlprinzip, Berlin – Beuth-Verlag
- VDI 3881 Blatt 4 (Entwurf), 1989-12. Olfaktometrie, Geruchsschwellenbestimmung - Anwendungsvorschriften und Verfahrenskenngrößen, Berlin – Beuth-Verlag
- VDI 3882 Blatt 1, 1992-10: Olfaktometrie – Bestimmung der Geruchsintensität, Berlin – Beuth-Verlag
- VDI 3882 Blatt 2, 1994-9. Olfaktometrie – Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung, Berlin – Beuth-Verlag
- VDI 3883 Blatt 1, 1997-7. Wirkung und Bewertung von Gerüchen - Psychometrische Erfassung der Geruchsbelästigung - Fragebogentechnik, Berlin – Beuth-Verlag
- VDI 3883 Blatt 2, 1993-3. Wirkung und Bewertung von Gerüchen; Ermittlung von Belästigungsparametern durch Befragungen; Wiederholte Kurzbefragung von ortsansässigen Probanden, Berlin – Beuth-Verlag
- VDI, 3940, 1993-10. Bestimmung der Geruchsstoffimmission durch Begehung, Berlin – Beuth-Verlag
- VDI 3940 Blatt 1 (Entwurf), 2003-11: Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen; Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen; Rastermessung. Berlin – Beuth-Verlag
- VDI 3940 Blatt 2 (Entwurf), 2003-11: Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen; Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen; Fahnenmessung, Berlin – Beuth-Verlag

#### **Auswahl an weiterführender Literatur**

- Amlinger, F., Favoino, E., Pollak, M., Peyr, S., Centemero, M., Caima, V., 2004. Heavy Metals and Organic Compounds from Wastes Used as Organic Fertilisers. EU Commission, DG ENV. <http://europa.eu.int/comm/environment/waste/compost/index.htm>
- Bidlingmaier et al., 1997. Geruchsemissionen von Kompostanlagen. Dimensionierungswerte für offene und geschlossene Anlagen
- Binner, E., Achtig, S., Diebold, W., Lechner, P., et al. 1993. Technische Kompostierungssysteme – Kurzbeschreibung .In: Amlinger et al.. Handbuch der Kompostierung – Ein Leitfaden für Praxis, Verwaltung, Forschung. Hrsg: Ludwig Boltzmann-Institut für biologischen Landbau und angewandte Ökologie, Wien,
- Binner, E., Lechner, P., Smidt, E., 2004. Biologische Behandlung. In: Lechner, P. (Hrsg.). Kommunale Abfallbehandlung. Facultas Universitätsverlag, UTB 2114, Wien, S. 137-194.
- BMLFUW, 2002. Richtlinie für die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen. [http://gpool.lfrz.at/gpoolexport/media/file/mba\\_richtlinie2.pdf](http://gpool.lfrz.at/gpoolexport/media/file/mba_richtlinie2.pdf)

- Fiebiger et al., 1994. Die Landwirtschaftliche Kompostierung in Niederösterreich. Ökosoziale Schriftenreihe der landwirtschaftlichen Koordinierungsstelle für Bildung und Forschung, Tulln.
- Gronauer et al., 1997. Bioabfallkompostierung, Verfahren und Verwertung. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Schriftenreihe Heft 139
- Wiemer & Kern, 1994. Referenzhandbuch Bioabfall 1994/95. Abfallwirtschaft. Neues aus Forschung und Praxis. Baeza-Verlag, Witzenhausen.
- Wiemer & Kern, 1998. Kompostatlas 1998/99 – Referenzhandbuch für Kompostierungsanlagen, Anaerobanlagen, Mechanisch-biologische Restabfallbehandlungsanlagen sowie Aggregate. Baeza-Verlag, Witzenhausen.
- Müsken, J., 2000. Bemessungsgrößen zur Erstellung von Emissionsprognosen für Geruchsstoffe aus Kompostierungsanlagen für Bioabfälle, Studienreihe Abfall Now, Band 20, Verlag ABFALL NOW, Stuttgart
- Müsken, J., 2001. Einfluss der Betriebsführung auf die Emissionscharakteristik einer Kompostanlage; in: Bioabfallkompostierung – Neue Entwicklungen und Lösungsmöglichkeiten zur Reduzierung von Geruchsemissionen, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.), Wiesbaden
- Ottow, J. C. G., Bidlingmaier, W. (Hrsg.), 1997. Biotechnologische Verfahren zur Behandlung fester Abfallstoffe; Umweltbiotechnologie, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart

## 3 Kompostierung in Österreich

### 3.1 Ist-Stand der Kompostierung in Österreich

Seit Einführung der getrennten Sammlung biogener Abfälle bestand in vielen Bundesländern ein klares strategisches Votum für die Förderung der Hausgarten- oder Eigenkompostierung und der dezentralen Kompostierung. Das wesentliche Motiv lag in der Ressourcenschonung in den Bereichen Transport, Sammellogistik, Anlagenkapazitäten, Bodenverbesserungsmittel und Substrate auf Torfbasis sowie Mineräldüngerverbrauch. In den Bundesländern wurden in der Aufbauphase Anfang der 90er Jahre spezifische Ausbildungsprogramme für Landwirte angeboten und vorgeschrieben (Ausbildung zum Kompostfachkundigen) und Förderungen für Bau und Maschinenausstattung bis zu 50 % der Investitionskosten gewährt.

Eine Besonderheit dieser dezentralen, kleinräumigen Lösungen stellt die Kompostierung der getrennt gesammelten biogenen Abfälle durch Landwirte dar, die den hergestellten Kompost überwiegend auf den eigenen landwirtschaftlichen Flächen einsetzen – die so genannte *Landwirtschaftliche Kompostierung*. Dieses Modell hat sich in Österreich als einzigem Europäischen Land (!) als wesentlicher Faktor in der biologischen Abfallbewirtschaftung durchgesetzt und bewährt (Szlezak, 2001 [PS5], Amt d. Stmk. LReg., 1999[A6]).

Auf Basis von Erhebungen für die Jahre 1998 bis 2000 kann bei einem Gesamtpotenzial von 1,36 Mio. t an sammelbaren biogenen Abfällen von 44%, das sind 600.000t organischer Abfälle ausgegangen werden, die über die kommunale Sammlung erfasst und in 469 Kompostanlagen verarbeitet werden (Amlinger et al., 2001[PS7]). Die Angaben des Bundesabfallwirtschaftsplanes (BAWP) für 1999 liegen etwas höher. Gemäß BAWP werden in 526 Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 1,1 Mio. t 478.000 t Bioabfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen verarbeitet (BMLFUW, 2001[PS8]), 770.000 t werden in den Hausgärten kompostiert.

Umgerechnet auf die Gesamtbevölkerung entfallen bei einem spezifischen Gesamtaufkommen von 103 kg EW<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> 48 kg auf die *Biotonne* und 74 kg auf die Eigenkompostierung. Bei Ausschöpfung des restlichen Potenzials an sammelbaren Anteilen von ca. 200.000 t, die sich noch in der „Restmülltonne“ befinden, ist mit einem potenziellen Gesamtaufkommen von 1,57 Mio. t biogener Abfälle zu rechnen.

Tabelle 3-1 gibt einen Gesamtüberblick zur getrennten Sammlung und Kompostierung biogener Abfälle in Österreich.

**Tabelle 3-1: Stand der Sammlung von organischen Abfällen in Österreich [Daten von 1998 – 2000]**

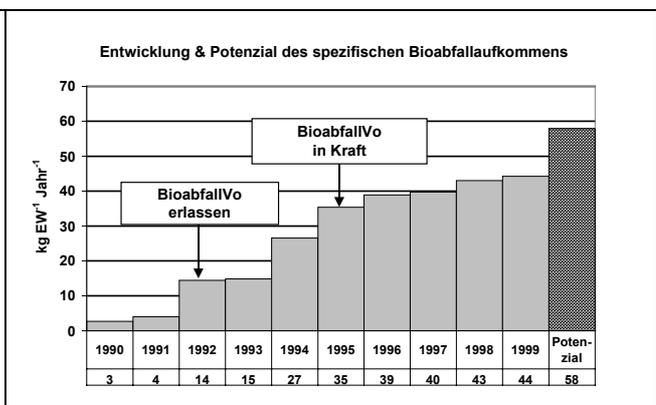
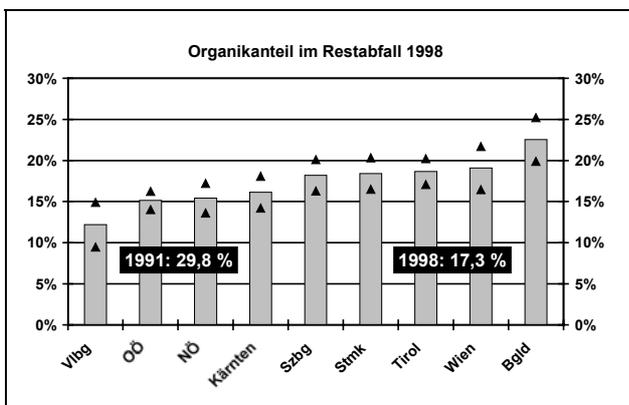
	Dimension	Burgenland	Kärnten	NÖ	ÖÖ	Salzburg	Steiermark	Tirol	Vorarlberg	Wien	Österreich
Anzahl der <b>Kompostanlagen</b>		6	19	81	206	4	46	56	47	4	<b>469</b> <i>[526]</i>
<b>Kapazität</b> (ohne Klärschlammkompostierung)	t FM. a <sup>-1</sup>	14.400	23.060	217.920	191.045	42.000	76.185	55.000	39.985	130.000	<b>789.595</b> <i>[1.100.000]</i>
<b>Mittlere Kapazität</b> /Kompostanlage	t FM. a <sup>-1</sup>	2.400	1.214	2.690	927	10.500	1.656	982	851	32.500	<b>5.969</b>
<b>Auslastung</b> der Anlagenkapazität											
<i>Gegenwärtige Behandlung 1999/2000</i>	%	98%	152%	76%	41%	96%	93%	120%	74%	74%	<b>75%</b>
<i>Potential der sammelbaren organischen Abfälle</i>	%	207%	182%	75%	64%	121%	153%	132%	98%	126%	<b>101%</b>
<b>Behandlung</b>											
<i>Bioabfälle</i>	t FM. a <sup>-1</sup>	13.004	15.000	109.752	38.565	26.000	54.700	47.200	9.700	70.627	<b>384.550</b> <i>[478.000]</i>
<i>Grünabfälle</i>	t FM. a <sup>-1</sup>	1.150	20.000	52.272	25.000	14.300	16.000	18.800	20.000	24.932	<b>192.454</b>
<i>Gesamt Bioabfälle - &amp; Grünabfälle</i>	t FM. a <sup>-1</sup>	14.154	35.000	164.847	78.000	40.300	70.700	66.000	29.700	95.561	<b>594.262*</b>
<i>Potential Bioabfälle - &amp; Grünabfälle</i>	t FM. a <sup>-1</sup>	29.804	41.900	164.459	122.452	50.792	116.318	72.456	39.095	163.404	<b>800.680</b>
<i>Klärschlamm [30 % TM]</i>	t FM. a <sup>-1</sup>	22.290	20.643	70.667	15.677	2.875	40.767	2.600	2.000	0	<b>177.519</b>
<i>Hausgartenkompostierung</i>	t FM. a <sup>-1</sup>	24.000	61.000	204.773	140.000	43.000	64.000	52.000	38.000	145.000	<b>771.773</b>
Spez. Bioabfallaufkommen ( <i>Gesamtbevölkerung</i> )	kg EW <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	47	24	74	28	50	45	55	28	44	<b>48</b>
Spez. Bio- & Grünabfallaufkommen ( - ,, - )	kg EW <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	51	34	105,6	88	78	57	83	86	60	<b>74</b>
Spez. Bioabfallaufkommen ( <i>Biotonnenbenutzer</i> )	kg EW <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	?	?	161	65	92	114	123	60	?	<b>103</b>
<b>Anschluss an die Biotonnensammlung</b> <i>[% der Gesamtbevölkerung]</i>	%	?	?	44%	43%	34%	49%	46%	44%	?	<b>43%</b>
<b>Organikanteil im Restabfall [1998]</b>	% (m/m)	23%	16%	15%	15%	18%	18%	18%	11%	19%	<b>17%</b>

\* Die Divergenz zwischen den Einzelsummen aus Bio- und Grünabfällen (577.000 t) und der angegebenen Gesamtschätzung ergibt sich aus den Gesamt-Verarbeitungsangaben der einzelnen Bundesländern, die von der rechnerischen Summenbildung etwas abweicht.



Nach 8 bis 10 Jahren getrennter Sammlung konnte der Organikanteil im Restmüll von durchschnittlich 30 auf 11 bis 23 %, je nach verschiedenen Erhebungen, gesenkt werden. Wesentlich ist aber aufgrund der sich stetig verändernden Gesamtzusammensetzung des Restabfalls nicht der relative Anteil, sondern die absolute spezifische Menge je Einwohner oder Haushalt. Und hier zeigt sich, dass mit Werten zwischen 10 und 55 kg EW<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> zwar große regionale Unterschiede bestehen, jedoch schon ein erheblicher Erfolg der getrennten Sammlung zugeschrieben werden kann (Abbildung 3-1).

Ein deutlicher Anstieg des Bioabfallaufkommens war in der Zeit zwischen Veröffentlichung der Verordnung über die getrennte Sammlung biogener Abfälle<sup>1</sup> im Jahr 1992 und deren in Kraft treten 1995 zu verzeichnen. In den 9 österreichischen Bundesländern inkl. Wien lagen 1999/2000 die spezifischen Sammelmengen zwischen 24 (Kärnten) und 74 kg EW<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> (Niederösterreich). Diese Bandbreite spiegelt auch wieder, wie frühzeitig und mit welcher Intensität die Einführung der "Biotonne" in den einzelnen Bundesländern erfolgte.



**Abbildung 3-1: Organikanteil im Restabfall nach 7 Jahren systematischer getrennter Sammlung biogener Abfälle in den Bundesländern Mittelwert und Bandbreite; 1991 und 1998 Mittelwerte für Österreich (Hauer, 1999<sup>[PS9]</sup>)**

**Abbildung 3-2: Entwicklung und Potenzial des spezifischen Bioabfallaufkommens 1990 – 1999 (siehe Fußnote <sup>4</sup>)**

Deutlich wird dies auch anhand der Tatsache eines jährlichen absoluten Zuwachses an getrennt gesammeltem Bioabfallaufkommen von 44 % zwischen 1992 und 1995 entgegen nur mehr 5 % a<sup>-1</sup> in der Periode 1996 – 1999 (Abbildung 3-3). Vorsichtige Schätzungen ergeben ein noch sammelbares Restpotenzial von 80.000 bis 100.000 t über das System *Biotonne*. Damit wäre eine Recyclingrate von 75 – 80 % erreicht, wenn man von einem im Restmüll verbleibenden nicht erfassbaren Anteil von ca. 12 % bis 15 % ausgeht. Weitere Potenziale aus öffentlichen Grünanlagen, Friedhöfen oder gewerblich-industriellen Herkünften, sowie die Verarbeitung in nicht erfassten Kleinstanlagen in Hausgärten sind hierin nicht enthalten.

In der Gegenüberstellung der Absolutmengen in den einzelnen Bundesländern (Abbildung 3-4) wird deutlich, inwieweit das geschätzte Sammelpotenzial bereits erreicht wurde. Spitzenreiter ist Niederösterreich mit nahezu 100% im Jahr 2000. Wien liegt aufgrund der aus logistischen und Qualitätsgründen in der Innenstadt noch nicht ausgebauten Sammlung bei 63 %.

<sup>1</sup> BGBl. Nr. 68/1992. Verordnung über die getrennte Sammlung biogener Abfälle, Wien

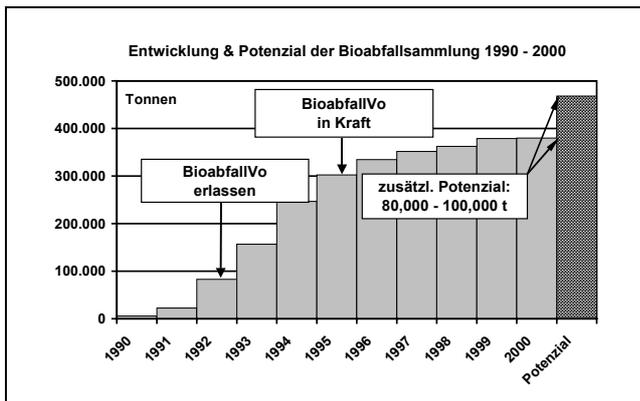


Abbildung 3-3: Entwicklung und Potenzial der Bioabfallsammlung in Österreich 1990 - 2000

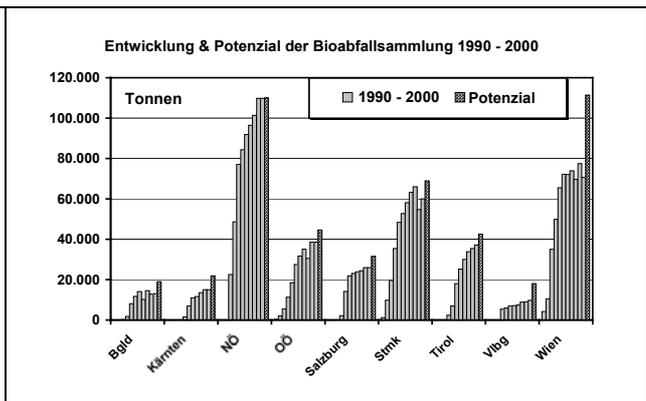


Abbildung 3-4: Entwicklung und Potenzial der Bioabfallsammlung nach Bundesländern 1990 - 2000

### 3.1.1 Kompostierungsanlagen

Die in Europa einmalige Struktur der Kompostierung in Österreich zeigen Tabelle 3-2, Abbildung 3-5 und Abbildung 3-6. Einerseits decken 7 % der Anlagen mehr als 50 % der gesamten Verarbeitungskapazität ab, andererseits ist eine große Zahl kleiner, dezentraler Anlagen über das gesamte Bundesgebiet verteilt (44% der Anlagen haben einen Jahresdurchsatz von < 500 t und repräsentieren 6 % der Gesamtkapazität).

Der *Kompostgüteverband Österreich (KGVÖ)* betreut zur Zeit 15 mittlere und große Kompostanlagen. 8 Anlagen tragen das Kompostgütezeichen und erfüllen hiermit die Anforderungen des internen und externen Qualitätssicherungssystems.

In etwa 350 dezentralen Kompostierungsanlagen werden rund 271 000 t Bioabfälle verarbeitet (ca. 45 %). Hiervon sind insgesamt 281 landwirtschaftliche Kompostierungsanlagen in der *ARGE Kompost & Biogas Österreich* organisiert. Diese Anlagen werden über die Landesorganisationen 1 bis 4 mal jährlich überprüft und beraten. Ein einheitliches externes Qualitätssicherungssystem befindet sich im Aufbau.

Hinzu kommen einige kommunale Grünschnittkompostierungsanlagen und die Kompostierungsanlage der Stadt Wien mit einem Jahresdurchsatz von rund 100.000 t. Damit werden knapp 400.000 t biogener Abfälle, also 2/3 des Gesamtaufkommens, mit dem Verfahren der offenen Mietenkompostierung verarbeitet.

Die Mietenkompostierung hat sich in den verschiedenen Intensitätsstufen (Mietengrößen und Umsetzmodi) als das in Österreich überwiegend eingesetzte Verfahren durchgesetzt.

Diese *low tech* Struktur ist durch den Einsatz einer Reihe von Pionieren gleichermaßen aus dem Kreis von Behörden, Landwirten und der Forschung in der Pionierzeit der Kompostierung seit Mitte der 80er Jahre gewachsen.

Tabelle 3-2: Kapazität und Anzahl der Kompostierungsanlagen in Österreich

Kapazitätsklasse	Kapazität [t a <sup>-1</sup> ]		Anzahl der Anlagen		Kapazität [%]		Anlagen [%]	
	Alle Anlagen	LW Anlagen	Alle Anlagen	LW Anlagen	Alle Anlagen	LW Anlagen	Alle Anlagen	LW Anlagen
≥ 5,000	424,000	23.000	31	4	53,3	8,5	6,7	1,2
2,000 – 5,000	172,000	85,000	61	32	21,7	31,3	13,3	9,3
500 – 2,000	153,000	125,000	167	137	19,2	45,9	36,2	39,8
50 - 500	47,000	39,000	202	171	5,8	14,3	43,8	49,7
Σ	795,000	271,000	461	344	100	100	100	100

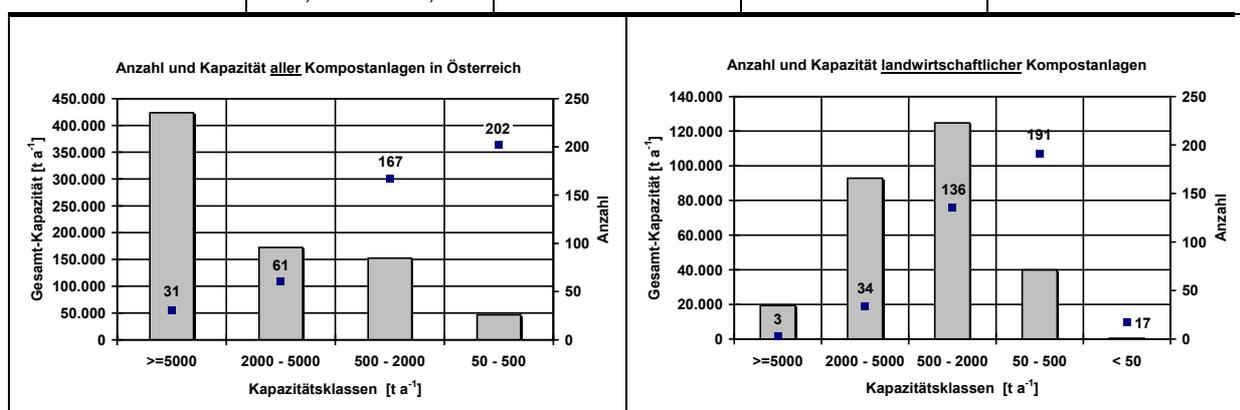


Abbildung 3-5: Anzahl und Verarbeitungskapazität aller Kompostanlagen in Österreich 2003

Abbildung 3-6: Anzahl und Verarbeitungskapazität der „landwirtschaftlichen“ Kompostanlagen in Österreich 2003

### 3.1.2 Exkurs: Biogasanlagen

#### 3.1.2.1 Landwirtschaftliche Biogasanlagen – Verwertung von Wirtschaftsdünger und nachwachsender Rohstoffe (NAWAROS) [Zusammenfassung aus Amon et al. 2003][FA10]

Die landwirtschaftliche Biogaserzeugung aus Energiepflanzen und Wirtschaftsdüngern birgt erhebliche Potentiale im Bereich des Umwelt- und Klimaschutzes. Die Wertschöpfung in ländlichen Regionen kann gesteigert werden. In Österreich sind neben den Wirtschaftsdüngern vor allem Biomassen des Grünlandes und anderer Feldkulturen für die Biogaserzeugung nutzbar. Aus dem Biomassepotenzial der Energiepflanzen würden sich 1,701 Mrd. m<sup>3</sup> Methan pro Jahr erzeugen lassen. Energiepflanzen tragen zum Gesamtenergiepotenzial rund 70 % bei. 30 % liefern die Wirtschaftsdünger. Dies zeigt den hohen Stellenwert der Biomasse des Acker- und Grünlandes für die landwirtschaftliche Biogaserzeugung. Vom Wirtschaftsgrünland (909.000 ha) und extensiven Grünland (1.000.000 ha) könnten ca. 629 Mio. m<sup>3</sup> Methan pro Jahr erzeugt werden. Vom Ackerland (1,4 Mio. ha) würden ca. 544 Mio. m<sup>3</sup> Methan pro Jahr zur energetischen Nutzung bereitgestellt werden können. Die Berechnung geht davon aus, dass Biomasse von 10 % des Ackerlandes und von 25 % des Grünlandes zur Biogaserzeugung genutzt werden kann. Aus der Biomasse des Wirtschaftsdüngers und der Energiepflanzen zusammen können pro Jahr 17.000 GWh nutzbare Energie erzeugt werden. Das entspricht einer Gesamtleistung von etwa 2.000 MW. Diese Leistung könnte zB mit 4.000 Biogasanlagen mit je 500 kW Gesamtleistung oder 8.000 Biogasanlagen mit je 250 kW Gesamtleistung umgesetzt werden. Zwar nimmt die Zahl der Biogasanlagen ständig zu, dennoch stellen die derzeit installierten 120 bis 150 Biogasanlagen gerade einmal 6 bis 7 MW elektrische Gesamtleistung dar. Damit sind bis dato nicht einmal 5 % des möglichen Potentials umgesetzt. Die Co-

fermentationsanlagen mit maximal 30 % anderen biogenen Rückständen sind im landwirtschaftlichen Bereich in der Minderheit. Vorwiegend wirtschaftliche Gründe in Zusammenhang mit den Einspeisetarifen, Förderungen und den möglichen Preisen für die Inputstoffe deuten künftig auf Anlagengrößen von > 100 kW. Langfristig kann mit 3.000 to 6.000 Biogasanlagen gerechnet werden. Es bestehen also nach wie vor große Chancen für die Landwirtschaft, diese neue Einkommensmöglichkeit zu erschließen.

### 3.1.2.2 Anaerobe Behandlung biogener Abfälle aus Haushalten in großtechnischen Biogasanlagen

In Österreich werden zur Zeit 4 Großanlagen zur Vergärung biogener Abfälle aus Haushalten betrieben. Hinzu kommt eine Anlage für gewerbliche Abfälle (siehe Tabelle 3-3). Die Verarbeitungskapazitäten der Bioabfallvergärungsanlagen liegen zwischen 12.000 und 20.000 t mit einer Gesamtkapazität von 60.000 t a<sup>-1</sup>.

In Summe bestehen in Österreich 10 Bioabfallvergärungs- und Cofermentationsanlagen mit einer Gesamtkapazität von 90.000 t a<sup>-1</sup>.

**Tabelle 3-3: Bioabfallvergärungsanlagen in Österreich (aus Braun, 2003)**

Anlage	System	Betrieb seit	Durchsatz (Bioabfall)	Aufbereitung	Faulraum (Volumen, Temperatur)
SAB Salzburg-Siggerwiesen	DRANCO	1993	20.000 t a <sup>-1</sup>	Trockenseparation	1.800 m <sup>3</sup> / 55 °C
Welser Abfallverwertung/OÖ	LINDE KCA	1997	15.000 t a <sup>-1</sup>	Nasseparation	1.600 m <sup>3</sup> / 55 °C
Lustenau/Vbg	KOMPOGAS	1997	10.000 t a <sup>-1</sup>	Trockenseparation	2 x 460 m <sup>3</sup> / 55 °C
Roppen/Tirol	KOMPOGAS	2001	10.000 t a <sup>-1</sup>	Trockenseparation	~ 750 m <sup>3</sup> / 55 °C
Böheimkirchen	BIOS1 GmbH	1996	2.500 t a <sup>-1</sup> Speisereste 2.500 t a <sup>-1</sup> Gülle, Fettscheiderinh., gew. Abf.	Nasseparation	2 x 150 m <sup>3</sup> 1 x 1.000 m <sup>3</sup> 1 x 1.500 m <sup>3</sup> / 35 °C

### 3.1.3 Kompostproduktion und Markt

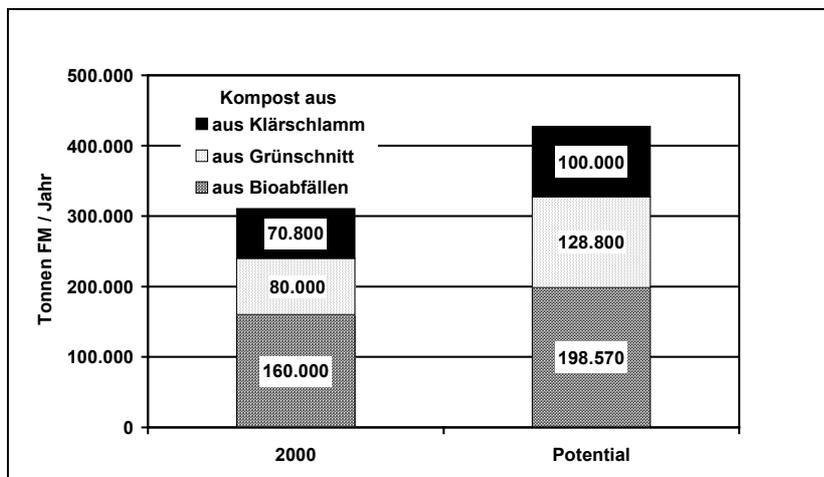


Abbildung 3-7: Kompost Produktion 2000 und Potential bei maximalem Ausbau der getrennten Sammlung

Die derzeitige Kompostproduktion aus den wesentlichen erhobenen Materialströmen von 300.000 t könnte bei weiterem Ausbau der getrennten Sammlung auf etwa 450.000 t gesteigert werden. Etwa 300.000 t (ca. 80 kg EW<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>) Kompost entstehen in den privaten Hausgärten und belasten daher die Infrastruktur der Abfallwirtschaft nicht.

Der Kompostmarkt hängt zu einem wesentlichen Teil von der traditionellen Akzeptanz von Kompost in den jeweiligen Branchen ab. Die landwirtschaftliche Verwertung erfolgt nahezu ausschließlich über die "Eigenanwendung der landwirtschaftlichen Kompostierungsanlagen". Landschaftsbau und private Haushalte werden künftig vor allem bei der Herstellung fertig abgemischter Substrate eine Rolle spielen (siehe Abbildung 3-8).

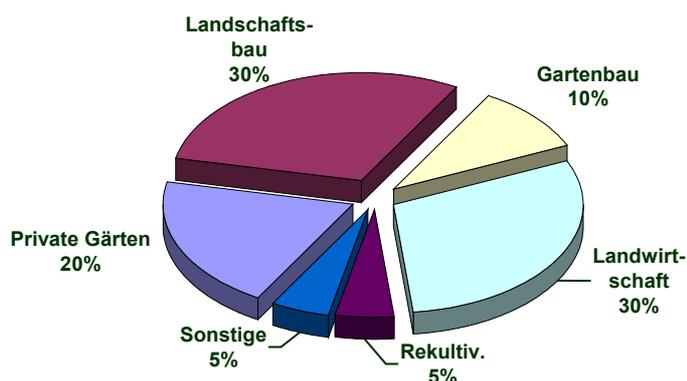


Abbildung 3-8: Vermarktungswege für Kompost in Österreich

## 3.2 Organisations- bzw. Rechtsformen der Kompostierung

Seit Einführung der getrennten Sammlung biogener Abfälle in Österreich hat sich ein vielfältiges Nebeneinander der Kompostierungsformen auch in logistisch organisatorischer Hinsicht entwickelt. Folgende Organisationsformen der Kompostierung werden unterschieden:

- **Eigenkompostierung**
  - Einzel- oder Hausgartenkompostierung
  - Gemeinschaftskompostierung
  - Kommunale Kompostierung (sofern nur Materialien aus dem eigenen Verwaltungsbereich verarbeitet und die Komposte auch hier wieder eingesetzt werden; zB Stadtgartenamt)
  - Landwirtschaftliche Kompostierung (sofern nur Materialien aus dem eigenen Betrieb – Wirtschaftsdünger, Stroh, sonstige Ernte- und Verarbeitungsrückstände sowie Grünschnitte – verarbeitet und die Komposte auf den eigenen Flächen oder im Zuge der Nachbarschaftshilfe verwendet werden)
- **Kompostierung über externe Verwertungswege**

- Kommunale Kompostierung
- Landwirtschaftliche Kompostierung
- Gewerbliche Kompostierung

Da in der Vergangenheit für *Landwirtschaftliche Kompostierungsanlagen* in den Bewilligungsvoraussetzungen eine Reihe von Erleichterungen gegenüber *Gewerblichen Kompostierungsanlagen* gewährt wurden, wird hier auf landwirtschaftliche bzw. dezentrale Kleinanlagen kurz eingegangen.

### 3.2.1 Landwirtschaftliche Kompostierungsanlagen

#### 3.2.1.1 Allgemeine Voraussetzungen

Mit rund 350 Anlagen und einer Kapazität von 270.000 t biogener Materialien wird die Bedeutung landwirtschaftlicher Betriebe für die Kompostierung biogener Abfälle dokumentiert. Die Überantwortung dieser als volkswirtschaftlich notwendig und ökologisch sinnvoll erkannten Aufgabe an Landwirte ergibt sich konsequent aus folgenden Überlegungen:

- Die Kompostierung als Humifizierung organischer Rohstoffe (Mist, Jauche, Gülle, Ernterückstände, Schlempe, Trester, Trebern u.a.) (Aufbau von Dauerhumusformen) ggf. unter Zusatz von Zuschlagstoffen (Gesteins-, Tonmehle, Kalk), und Hilfsmitteln (biologisch-dynamische oder Bakterienpräparate) ist traditionell geübte Praxis.
- Der Landwirt erzeugt die Komposte zum überwiegenden Teil für die Anwendung auf den eigenen Flächen und ist daher a priori in besonderem Maße mit der Qualitätsentwicklung vom übernommenen Ausgangsstoff bis zum fertigen Kompost verbunden.
- Die unmittelbare landwirtschaftliche Verwertung (sogenannte *Eigenanwendung*) schafft eine hohe Verwertungssicherheit (siehe Grundsätze zur Abfallverwertung § 1(2) 2. AWG: „*Abfälle sind zu verwerten, sofern....ein Markt für die gewonnenen Stoffe ... vorhanden ist oder geschaffen werden kann*“).
- Geringe Transportwege durch regionale, kleinräumige Anlagenstruktur
- Teilweise Auslastung vorhandener Maschinen am Betrieb oder überbetrieblich

Per Definition im Rahmen der wasserrechtlichen Bewilligungsverfahren waren bei Landwirtschaftlichen Kompostierungsanlagen bisher die maximal verarbeiteten biogenen Abfälle an die zur Verfügung stehenden Flächen gebunden. Die Mengengrenzung leitet sich von der maximalen Stickstoffmenge ab, die auf Ackerland bzw. Grünland pro ha und Jahr bewilligungsfrei aufgebracht werden kann (175 bzw. 210 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>).

In der Steiermark wurde die Landwirtschaftliche Kompostierung zusätzlich an eine maximale Ausbringung von 25 t FM Kompost ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> geknüpft (Amt d. Stmk. LReg., 1999[A11]).

Bis zur Novellierung des Abfallwirtschaftsgesetzes 2002, das sämtliche Abfallbehandlungsanlagen, die nicht der Genehmigungspflicht nach §§ 74 ff Gewerbeordnung unterliegen, in die Bundeskompetenz übernimmt, wurden Landwirtschaftliche Kompostierungsanlagen im wesentlichen nach dem Wasserrecht genehmigt. In verschiedenen Bundesländern wurden bis zu bestimmten Mengenschwellen landwirtschaftliche Kompostierungsanlagen von einer WR Bewilligung ausgenommen oder auch die Kompostierung auf offenem Boden ermöglicht (zB bis 100 resp. 300 m<sup>3</sup> Fertigungskompost pro Jahr).

Die weiteren Rechtsmaterien bzw. Genehmigungsvoraussetzungen, die im Zuge des wasserrechtlichen Bewilligungsverfahrens in Betracht kamen, waren:

- Landes Raumordnungsgesetz
- Bauordnung (sofern bauliche Maßnahmen getroffen wurden)
- Betriebsanlagenrecht der Gewerbeordnung (seit 1994: GewO BgBl.Nr.194/1994)
- Abfallwirtschaftskonzept gemäß § 10 AWG BGBl.Nr. 102/2002

### 3.2.1.2 Kurzer Überblick zu Organisationsstrukturen der landwirtschaftlichen Kompostierung

Es haben sich verschiedene Organisationsformen und Kooperationsmodelle der dezentralen Kompostierung, vor allem im Bereich der landwirtschaftlichen Kompostierung entwickelt. Diese Kooperationen stellen einen wichtigen Qualitätsfaktor hinsichtlich der Verwertungssicherheit und Akzeptanz der Komposte dar. Die Vertragsgestaltung spielt in den Bereichen Übernahme- und Rücknahmeverpflichtung, Kontroll- und Überprüfungsmaßnahmen und Preisgestaltung eine wesentliche Rolle in der Erreichung der erforderlichen Mindeststandards. Grundsätzlich muss zwischen 2 Grundformen der Kooperation unterschieden werden:

- 1.) Kooperation zwischen Landwirt/en und AWW/Gemeinde mit verschiedenen Varianten hinsichtlich Errichtungsinvestitionen und Besitzverhältnissen der Maschinen
- 2.) Kooperation zwischen mehreren Landwirten, die gemeinsam einen Kompostplatz betreiben oder, die im Einzugsgebiet eines AWW individuelle Kompostplätze betreiben.

Einige Beispiele sind hier angeführt:

- Landwirt/e ist/sind Eigentümer und Betreiber der Kompostieranlage  
*Der Landwirt hat die Kompostieranlage selbst mit mehrheitlich Eigenmittel gebaut, und betreibt diese auf eigene Rechnung. Es bestehen meistens zehnjährige Verträge mit Gemeinden und Straßenmeistereien. Förderungsbeitrag zB Land Oberösterreich bis 1998 ca. 30 % ab 1999 ca. 15 %.*
- Landwirt/e stellt/en Grundstück zur Verfügung. Gemeinde/n baut/en Anlage. Maschinen und Geräte sind im Besitz des/r Landwirt/e  
*Die Kompostieranlage wurde von der oder den Gemeinden gebaut und wird von einem oder mehreren Landwirten betrieben. Die Maschinen und Geräte werden von dem (n) Landwirt(en) gestellt. Als Basis für die Abrechnung werden in den meisten Fällen die Richtpreise der ARGE Kompost eingesetzt.*
- Landwirt(e) stellt(en) Grundstück zur Verfügung. Gemeinde(n) baut(en) Anlage und stellen Maschinen und Geräte zur Verfügung.
- Die gesamte Kompostieranlage wird von der Gemeinde auf eigenem Grund gebaut. Die Landwirte stellen die Maschinen und Geräte und betreiben die Kompostieranlage.
- Die Gemeinde(n) baut(en) und betreiben die Kompostieranlage selbst.

## 4 Ziel und biologische Rahmenbedingungen der Kompostierung

### 4.1 Ziel der Kompostierung

Ziel der Kompostierung ist die Herstellung eines huminstoffreichen Produkts (Kompost), das die qualitativen Anforderungen der verschiedenen Anwendungsbereiche erfüllt. Damit ist das Augenmerk auf den Wert gelegt, der Kompost als Humus- und Nährstofflieferant, als Bodenverbesserungsmittel oder als Bestandteil von Pflanzsubstraten und Kulturerden zukommt.

Gemäß KompostVo ist *Kompostierung* „die gesteuerte, exotherme biologische Umwandlung abbaubarer organischer Materialien in ein huminstoffreiches Material mit mindestens 20 Masseprozent organischer Substanz“. Damit werden sowohl die Hauptkennzeichen des biologischen Prozesses als auch ein Schlüsselparameter zur rechtlich wirksamen Abgrenzung von Kompost als *Produkt* festgelegt.

Die Studie behandelt die *relevanten Rahmenbedingungen für eine umweltschonende und qualitätsorientierte Steuerung der biologischen Umwandlung*. Hinzukommen jedenfalls die in der KompostVo festgelegten Anforderungen an die Kompostqualität (wie Schwermetallgehalt, Größtkorn, Ballaststoffe, elektrische Leitfähigkeit, seuchenhygienische Unbedenklichkeit, Pflanzenverträglichkeit, austriebsfähige Unkrautsamen oder Pflanzenteile).

Praxiserfahrungen zeigen, dass die Zumischung von 10 bis 15 % lehmiger Erde zum Kompostierungsprozess immer wieder zur Unterschreitung der geforderten 20 % organische Masse führen. Aus diesem Grund und um eine lückenlose Abgrenzung gegenüber Erden vorzunehmen, wird vorgeschlagen den Mindestgehalt an Organischer Masse auf 15 % (TM) abzusenken.

Darüber hinaus sind branchenspezifische Qualitätsmerkmale anzusprechen. Hierzu zählen zB Strukturstabilität bei der Begrünung von Böschungen, Wasserkapazität und Gießfestigkeit für Topferden oder Ausreifungsgrad (Stabilität) im Falle der Vermarktung als Sackware.

Im Gegensatz zu anderen Ländern (zB Deutschland, RAL Gütezeichen Kompost, RAL-GZ 251; Anwendungsempfehlungen der Bundesgütegemeinschaft Kompost, BGK, o.J.[A12]) stehen in Österreich zur Zeit keine differenzierten Produktspezifizierungen für verschiedene Anwendungsbereiche (zB Fertigkompost, Frischkompost, Substratkompost, Mulchkompost) zur Verfügung.

Die Anforderungen an die technische und bauliche Ausstattung sowie die Prozessführung der Kompostierung muss nach folgenden Kriterien differenziert werden:

- (A) Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen an die Rohstoffe und die Kompostierungstechnik (Sicherheitstechnik, Umweltauflagen für Anlagenteile und Maschinen, Arbeitnehmerschutz, Anrainerschutz etc.)
- (B) Abbau der organischen Ausgangsmaterialien (unter Beachtung eines möglichst geringen Verlustes an organischem Kohlenstoff und Stickstoff) und deren – je nach Produkthanforderung – mehr oder weniger weit geführte Mineralisierung bzw. Stabilisierung in Humussubstanzen (zB Fertig- oder Frischkompost<sup>2</sup>).
- (C) Optimierung der jeweils eingesetzten Verfahrenstechnik und der Betriebsführung hinsichtlich möglichst geringer gasförmiger, flüssiger Emissionen, Geruchs-, Keim-, Staub- und Lärmemissionen sowie Kontrollverfahren zu deren Überwachung und Steuerung.
- (D) Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen an die Endproduktqualität.
- (E) In Abhängigkeit der jeweils angestrebten Anwendungsbereiche zusätzliche überprüf- und nachvollziehbare Qualitätsdifferenzierung inkl. der erforderlichen Feinaufbereitung (zB Herstellen der erforderlichen Korngröße durch Siebung). Gerade in diesem Bereich ist es nicht sinnvoll ver-

---

<sup>2</sup> Weder der Begriff „Frischkompost“ noch der Ausreifungs- oder Stabilisierungsgrad ist in Österreich qualitativ über spezifische Untersuchungsmethoden definiert. Hier kann also nur grundsätzlich auf die Möglichkeit der Produktdifferenzierung für hinsichtlich „Kompostreife“ unterschiedlich anspruchsvolle Anwendungsbereiche verwiesen werden.

pflichtende Mindeststandards vorzugeben. Hier sollte die Branche selbst entsprechende Standards für die jeweilige Marktsegmente definieren.

An dieser Stelle muss deutlich gemacht werden, dass die Optimierung des Kompostierungsprozesses sowohl hinsichtlich des Emissionsmanagements als auch der Kompostqualität nur über vier elementare Steuergrößen beeinflussbar ist:

- Materialmischung des Rohkompostes (Kompostausgangsladung)
- Steuerung des Wasserhaushaltes
- Sauerstoffversorgung des rottenden Kompostes
- Steuerung der Rottetemperatur

Die Grundlage für eine optimale Prozesssteuerung ist aber zunächst ein ausreichendes Verständnis der biochemischen Stofftransformationen des Rotteprozesses.

## 4.2 Biologie des Rotteprozesses

Die Kenntnis der sukzessiv verlaufenden bio-chemischen Prozesse im Zuge des Ab- und Umbaus der organischen Substanzen ist eine Grundvoraussetzung für eine gezielte Steuerung bzw. Regelung des Prozessablaufes in der Kompostierung. Zur Abgrenzung von anaeroben Fermentationsprozessen, die in der Biogaserzeugung genutzt werden, ist die aerobe und anaerobe biochemische Basisumwandlung von Glukose dargestellt. Theoretisch resultiert in beiden Prozessen die gleiche Energiemenge von 2803 kJ. Ebenso wird in Summe (nach Verbrennung des CH<sub>4</sub>) die gleiche Menge CO<sub>2</sub> freigesetzt (ÖWAV, 2004[A13]):

<b>AEROBER ABBAU</b>	$C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$ <i>frei werdende Energie = - 2875 kJ/Mol</i>
<b>ANAEROBER ABBAU</b>	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3 CO_2 + 3 CH_4$ <i>frei werdende Energie = - 132 kJ/Mol</i>
<b>+ VERBRENNUNG</b>	$3 CH_4 + 6 O_2 \rightarrow 3 CO_2 + 6 H_2O$ <i>frei werdende Energie = - 2671 kJ/Mol</i>

**Abbildung 4-1: Aerober und anaerober Abbau von Zucker und Energiebilanz**

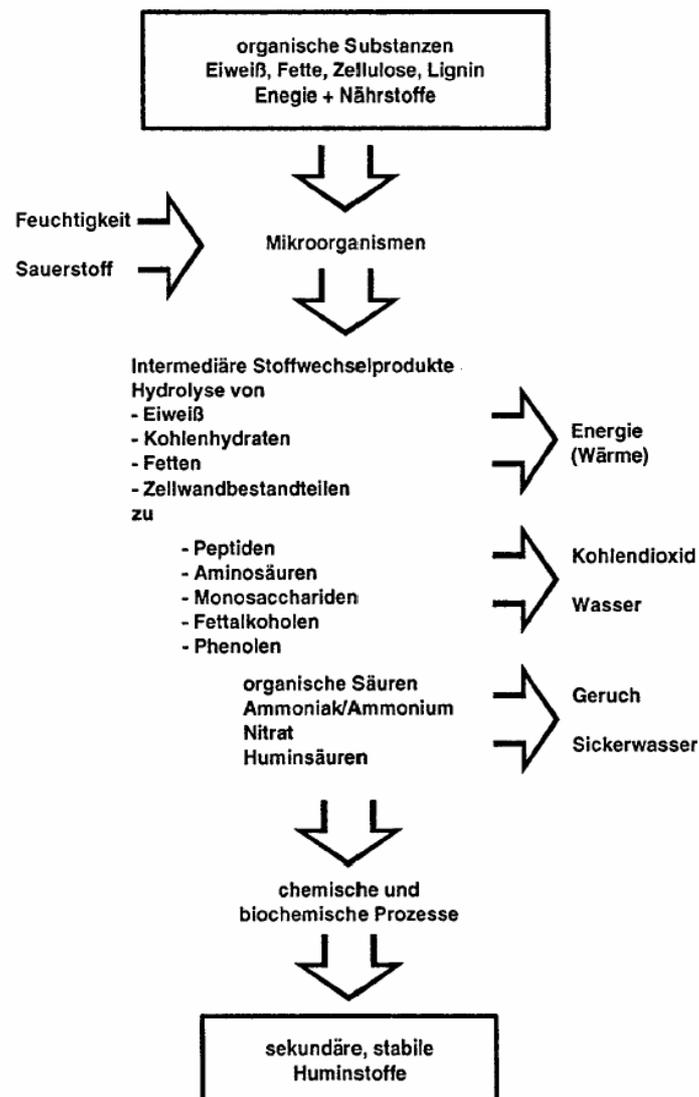
Über die Ausgestaltung des technischen Verfahrens werden in Kenntnis der natürlichen Prozesse die Rahmenbedingungen für ein möglichst effizientes Erreichen der Zielgröße, des anwendungsfertigen Komposts, geschaffen.

Im Zuge des Prozesses wird die in den Abfallstoffen enthaltene organische Substanz von aeroben Mikroorganismen unter Sauerstoffaufnahme als Energie- und Nährstoffquelle verwertet. Dabei wird ein Teil des Kohlenstoffs in der Zellsubstanz der Mikroorganismen (*Mikrobielle Biomasse*) festgelegt und ein anderer Teil als Kohlendioxid freigesetzt. Eiweiß, Kohlenhydrate und Fette werden hydrolysiert. Die Hydrolyseprodukte (Monosaccharide aus Kohlehydraten, Peptide und Aminosäuren aus Eiweißstoffen und phenolische Bausteine aus aromatischen Zellwandbestandteilen) werden teilweise zu organischen Säuren, d.s. Essigsäure, Buttersäure, Valeriansäure, Propionsäure, und Kohlendioxid, letzteres unter Abgabe von Wärme, umgebaut. Unter aeroben Bedingungen entsteht dabei ein erheblicher Kohlenstoffverlust. Anschließend kommt es zum Aufbau mikroorganismeneigener Eiweißstoffe, aber auch zur direkten Bildung von CO<sub>2</sub>, Wasser und - in Abhängigkeit vom pH-Wert und Stickstoffgehalt - Ammoniak bzw. Ammonium. Bei ausreichendem Sauerstoffangebot wird in der späteren Rottephase bei gemäßigten Temperaturen Ammonium über Nitrit zu Nitrat oxidiert.

Der Sauerstoffbedarf und die Sauerstoffverteilung im Rottekörper hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab. Die wesentlichen sind:

- die Art des biogenen Abfallstoffs, also dessen Zusammensetzung der organischen Substanz
- der aktuelle Abbauzustand
- der Wassergehalt bzw. die für einen intensiven Gasaustausch zur Verfügung stehende, mit einem Wasserfilm benetzte Oberfläche
- die anteilige Größe und Stabilität des luftführenden Porenvolumens
- die Geometrie des Rottekörpers

Abbildung 4-2 gibt eine Übersicht zur stufenweisen Mineralisierung der Ausgangssubstanzen und der Stoffwechselprodukte. Die freiwerdende Emissionen und Energie verdeutlichen das Erfordernis einer fachgerechten Rottesteuerung.



**Abbildung 4-2: Stufen der Mineralisierung der biogenen Ausgangssubstanzen durch den mikrobiellen Abbau (aus Binner, 2002[A14])**

Der in der Bodenbildung selbstverständlich ablaufende Prozess der Stoffumwandlung bedarf aufgrund der Anhäufung der organischen Ausgangsstoffe, deren unzureichender Struktur, oder unserer Zeitvorgabe verfahrenstechnischer Hilfsmittel, um den *überwiegend aerob ablaufenden Rotteprozess* überhaupt zu ermöglichen bzw. ihn zu optimieren.

Streng genommen beschränkt sich die Einflussmöglichkeit im wesentlichen auf die Abbauphase der primären organischen Ausgangssubstanzen. Der anschließende Prozess der Humusbildung ist verfahrenstechnisch nur bedingt beeinflussbar.

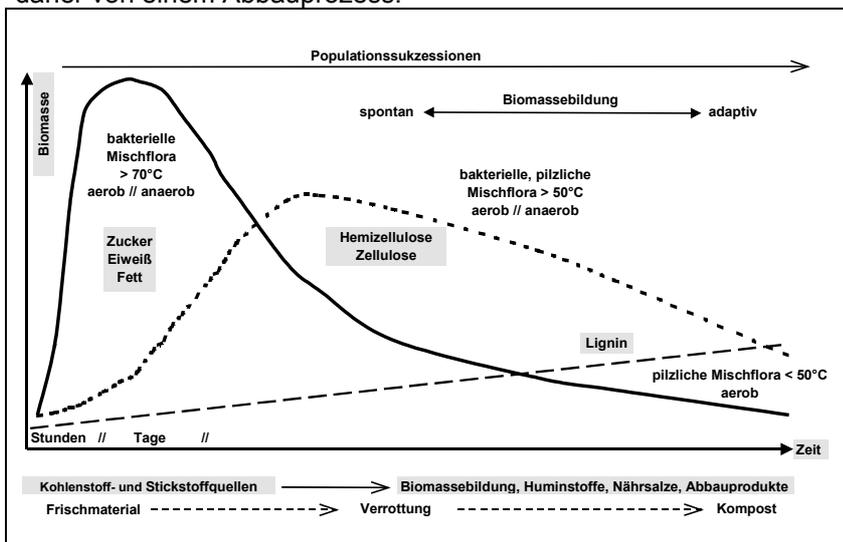
Die Intensität des Abbaus während der exothermen Intensiv- oder Hauptrotte hängt wesentlich von der mikrobiellen Verfügbarkeit der Ausgangssubstanzen ab. Unterschieden werden leicht und schwer abbaubare organische Substanzen. Beim Abbau der organischen Substanz durch Mikroorganismen kommt es in Abhängigkeit von der Intensität der Abbauvorgänge und vom Volumen der Biomasse zu einer Erhöhung der Milieutemperatur („Selbsterwärmung“). In der Kompostierung biogener Abfälle aus dem Küchen- und Nahrungsmittelbereich ist diese Selbsterwärmung aus zwei Gründen erwünscht. Zum ersten kommt es zu einer Änderung der Mikroorganismenpopulation und damit zu einem beschleunigten Abbau. Zum zweiten kommt es neben antibiotischen Effekten v.a. durch pilzliche Stoffwechselprodukte auch zu einer thermischen Inaktivierung potenziell pathogener Keime. Hierfür müssen Temperaturen von zumindest 55 °C über einen bestimmten Zeitraum auf die aktive Mikroflora einwirken (siehe Abschnitt 7.4.4.1). Abbildung 4-3 charakterisiert die sukzessiv ablaufenden Ab- und Umbauleistungen während der Kompostierung.

Es wird zwischen drei Temperaturbereichen unterschieden, die das jeweils vorherrschende mikrobielle Artenspektrum bedingen:

- psychrophiler Bereich    -4 - 20 °C    Bakterien und Schimmelpilze
- mesophiler Bereich        15 - 42 °C    Bakterien und Actinomyceten
- thermophiler Bereich     45 - 75 °C    Bakterien und mesophile bis thermotolerante Pilzsporen

Ab 75 °C beginnt die Denaturierung des Eiweißes, so dass die biologischen Prozesse bei der Kompostierung in diesem Temperaturbereich zum Erliegen kommen, auch wenn im wässrigen Medium Umsetzungsvorgänge bei höheren Temperaturen bekannt sind (extrem thermophile Mikroorganismen) (Hupe et al o.J.[A15]).

Die in der Startphase des Rotteprozesses vorhandenen mesophilen und thermotoleranten/thermophilen Pilze stellen zwischen 60°C und 70°C ihre Abbautätigkeit ein. Die folgende Rottephase mit Temperaturen von zum Teil deutlich mehr als 60/65°C wird von thermophilen Bakterien dominiert. Auch thermophile Actinomyceten treten auf. Im Zuge der Umwandlung der primären organischen Ausgangssubstanzen werden vorerst nur intermediäre Stoffwechselprodukte unter Energiefreisetzung gebildet, wir sprechen daher von einem Abbauprozess.



Im weiteren Verlauf der Kompostierung werden zunehmend mittel und schwer abbaubare Bestandteile der verarbeiteten Abfälle angegriffen, da die leicht abbaubaren Fraktionen zu einem Teil bereits in der mesophilen und in der Heißrottephase veratmet worden sind. Dabei wird das Substratspektrum verändert, was eine Abnahme der mikrobiologischen Aktivität und in der Folge einen Rückgang der Temperaturen bewirkt.

Im zweiten Teil der thermophilen Phase werden je nach Rottesystem während mehrerer Wochen noch Temperaturen zwischen 55 und 65 °C erreicht, danach sinkt das Temperaturniveau der Kompostmieten kontinuierlich auf Werte um 45 °C ab. Die Abnahme der mikrobiellen Aktivität zeitigt eine sinkende Sauerstoffzehrung und damit ein fast ausnahmslos aerobes Milieu im Rottegut (Jager, J. et al., 1995).

**Abbildung 4-3: Stoffumsatzleistungen im Verlauf der Kompostierung (nach Grabbe & Schuchardt, 1993[FA16])**

postmieten kontinuierlich auf Werte um 45 °C ab. Die Abnahme der mikrobiellen Aktivität zeitigt eine sinkende Sauerstoffzehrung und damit ein fast ausnahmslos aerobes Milieu im Rottegut (Jager, J. et al., 1995).

Sobald die Temperaturen unter 60°C absinken, entwickelt sich in Abhängigkeit vom Substrat eine aus Bakterien, Actinomyceten und Pilzen bestehende Mischpopulation.

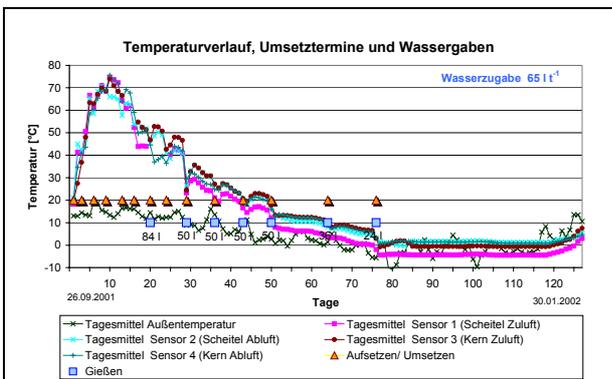
Erst wenn der mikrobielle Abbauprozess soweit fortgeschritten ist, dass die erwähnten reaktionsfähigen Spaltprodukte vorliegen, können in der Folge unter Energiebindung sekundäre stabile Huminstoffe, also neue organische Verbindungen, entstehen. In weiterer Folge bilden sich mit Tonmineralen organominerale Komplexe - es entsteht ein nur mehr schwer bzw. langfristig mineralisierbarer Dauerhumus.

Das Auftreten von größeren Schimmelnestern oder –zonen weist in der Regel auf eine schlechte Homogenisierung der unterschiedlichen Materialgruppen, uneinheitliche Feuchtigkeitsverhältnisse oder eine unzulässige nachträgliche Zumischung von Rohstoffen hin. Dies verhindert eine einheitliche Kompostqualität auch zum Abschluss der Rotte und entspricht nicht einem Qualitätsmanagement für die Rotteführung, wie es nach dem Stand der Technik zu fordern ist.

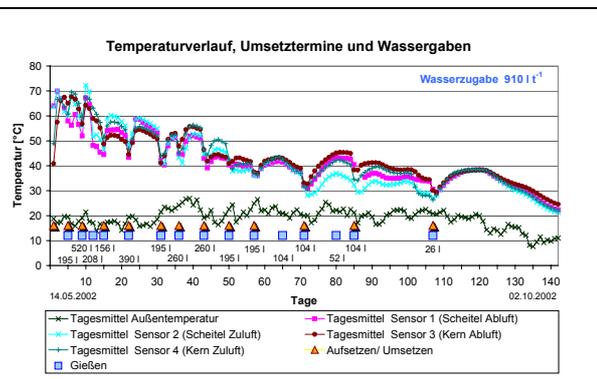
Für die drei wesentlichen Anforderungen an den Rotteprozess selbst: Hygienisierung, Abbau der organischen Masse und maximale mikrobielle Vielfalt können folgende Temperatur-Optima angegeben werden:

**Tabelle 4-1: Optimale Temperaturbereiche nach verschiedenen Anforderungen an den Rotteprozess**

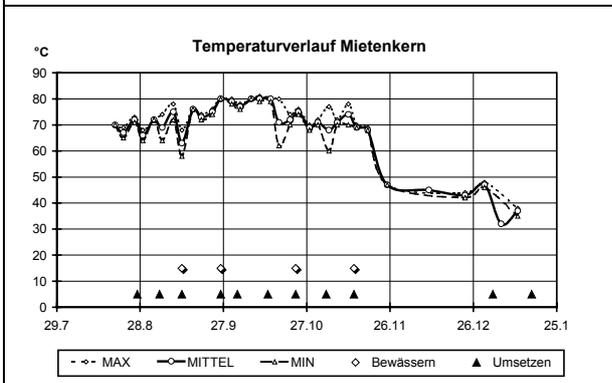
Prozessanforderung	Temperaturbereich
Hygienisierung	> 55°C
Abbaurate; beginnender Ligninabbau / Humifizierung	45 - 55°C
mikrobielle Vielfalt + Abbau der mikrobiellen Biomasse, Ligninabbau/Humifizierung	35 - 40°C



**Abbildung 4-4: Günstiger Temperaturverlauf einer Bioabfallmiete.** Bereits nach 4 Wochen bleiben die Temperaturen unter 40°C.



**Abbildung 4-5: Verzögerter Temperaturverlauf in einer Grünschnittmiete;** erst nach knapp 3 Monaten sinkt die Temperatur trotz wöchentlichem Umsetzen dauerhaft unter 40 °C.



Eine Vielzahl von Rahmenbedingungen bestimmen die Temperaturentwicklung. Die wesentlichste Rolle spielen Abbaubarkeit mit dem Hauptindikator C/N Verhältnis und Wassergehalt der Ausgangsmischung. Das Umsetzen bewirkt einerseits eine kurzfristige Abkühlung und heizt andererseits den Prozess in der thermophilen Phase bzw. auch im Übergang zur mesophilen Phase durch die Sauerstoffzufuhr, die Schaffung neuer, mikrobiell angreifbarer Oberflächen neu an. Die Nachhaltigkeit und Dynamik dieses Vorgangs ist wiederum eng mit dem Mieten-

**Abbildung 4-6: Ungünstiger Temperaturverlauf; über 2 ½ Monate anhaltende Temperaturen über 70 °C bewirken Verbrennungsvorgänge, induzieren zusätzliche Geruchsstoffbildung und hemmen eine zügige mikrobielle Umsetzung.**

gangs ist wiederum eng mit dem Mietenquerschnitt verknüpft. „Kleine“ Dreiecksmieten ermöglichen einen besseren Abtransport der Wärme über die Konvektion (Kamineffekt).

Dies bedeutet, dass ein „Hitzestau“ über längere Perioden nach dem Umsetzen hier unwahrscheinlicher als in größeren Trapez oder Tafelmieten ist.

Abgeleitet von den in Tabelle 4-1 angeführten Temperaturoptima gelten für die Temperatursteuerung folgende Grundsätze:

- Die Selbsterwärmung führt bei Vorhandensein von ausreichend reaktiven organischen Ausgangsmaterialien und deren homogenen Durchmischung zu den für eine thermische Hygienisierung erforderlichen Temperaturen von über 55 °C. Um den thermischen Hygienisierungseffekt zu gewährleisten, ist entsprechend den verfahrensbedingten Rahmenbedingungen darauf zu achten, dass diese Mindesttemperatur über den erforderlichen Zeitraum das gesamte Material erfasst (Mindestanforderungen hierzu siehe Abschnitt 7.4.2).
- Nach dieser Phase sollte das Material so rasch wie möglich durch Belüftungs-, Lockerungs- und Bewässerungsmaßnahmen unter 50 – 55 °C gehalten werden, um einen zügigen Ab- und Umbau sowie eine rasche Humifizierung und Komplexbildung (Stabilisierung zu Ton-Humuskomplexen) zu erzielen.
- Für Materialien, die aufgrund ihrer Herkunft und der nachfolgenden Verwendung rechtlich gesehen nicht verpflichtend thermisch hygienisiert werden müssen – zB Strauch- und Baumschnitt, Laub, Mähgut, Ernterückstände oder Festmist bei Herkunft aus und Verwendung in dem eigenen Betrieb oder Haushalt – wäre eine definitive Heißrottephase nicht erforderlich (zB bei dem Verfahren Wurmkompostierung mit Temperaturbereichen < 40 °C). Um das Überleben von Pflanzenkrankheiten erregenden Keimen hintan zu halten, ist in diesem Fall – insbesondere im landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Bereich – darauf zu achten, dass durch eine homogene Einmischung der Materialien, mehrmaliges Umsetzen und eine entsprechende Kompostierungsdauer ein hohes Maß an biologischer Stabilisierung (Ausreifung) des gesamten Rotteguts erreicht wird.

### **Abbauraten und Massenbilanz der Kompostierung**

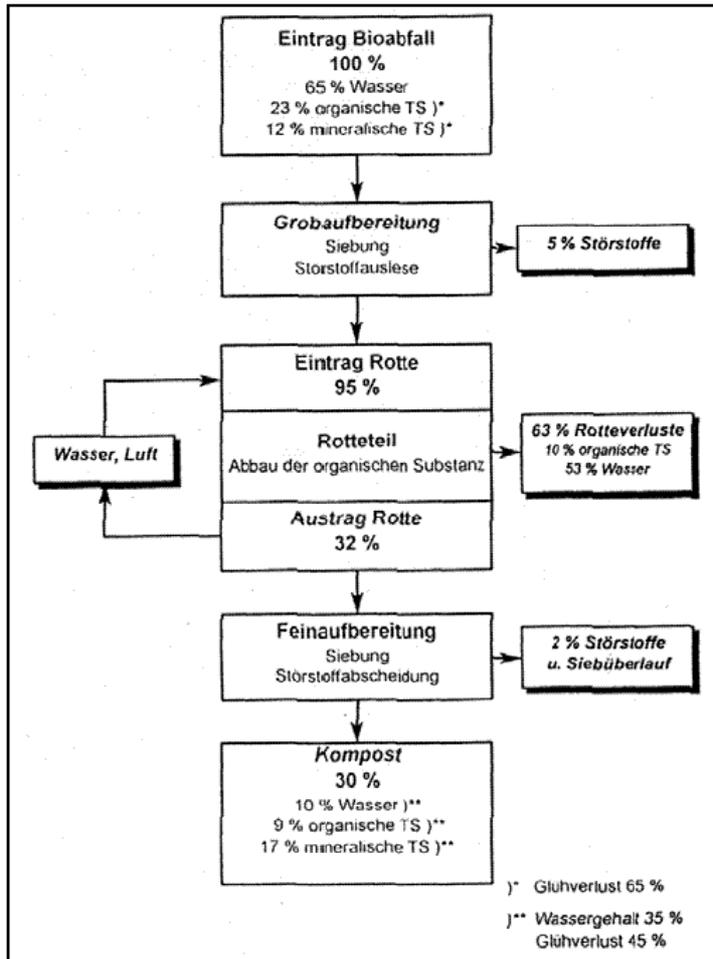
Die Untersuchungen zum Rotteverhalten verschiedener Biotonne/Grünabfall/Häckselgut- Mischungen in einem geschlossenen, statischen Rottesystem unter günstigen Rottebedingungen (Regelung des O<sub>2</sub>-Eintrages unter Vorgabe eines Restsauerstoffgehaltes > 15 Vol. %, Frischluftkonditionierung, höchstmöglicher Anfangswassergehalt) erbrachten die folgenden C-Abbauraten (gemessen über CO<sub>2</sub> als C-Verlust) (Binner, 2003a[A17]):

nach 10 Tagen 20 - 25 %

nach 14 Tagen 25 - 35 %

nach 23 Tagen 32 - 38 %

Zu beachten ist, dass die Bioabfallmischungen einen mehr oder weniger hohen Ligno- Zellulose-Anteil aufweisen (Grünabfälle, Holzhäcksel), welcher einem nur langsamen Abbau unterliegt.



Die *Massenbilanz der Kompostierung* von biogenen Abfällen (zB Biotonne) ergibt einen Rotteverlust zwischen 55 und 65 % (m/m) und einen Anteil des verwertbaren Feinkomposts unter Abzug sämtlicher Störstoffe und Siebrückstände, die nicht in den Prozess rückgeführt werden, von ca. 30 – 35 % (m/m) (Ottow und Bidlingmaier, 1997[A20]; Gronauer et al, 1997[A21]; eigene Messungen). Im Falle der Kompostierung von Materialien aus dem Garten- und Grünflächenbereich mit einem hohen Anteil an verholztem Häckselgut kann der Rotteverlust mit ca. 20 – 30 % (m/m) bedeutend geringer ausfallen. Durch die fehlenden Verunreinigungen, kann jedoch der Siebüberstand vollständig im Kreis geführt werden.

Abbildung 4-8 zeigt den Zusammenhang wesentlicher Prozessparameter.

Abbildung 4-7: Massenbilanz der Bioabfallkompostierung (Ottow & Bidlingmaier, 1997[A18])

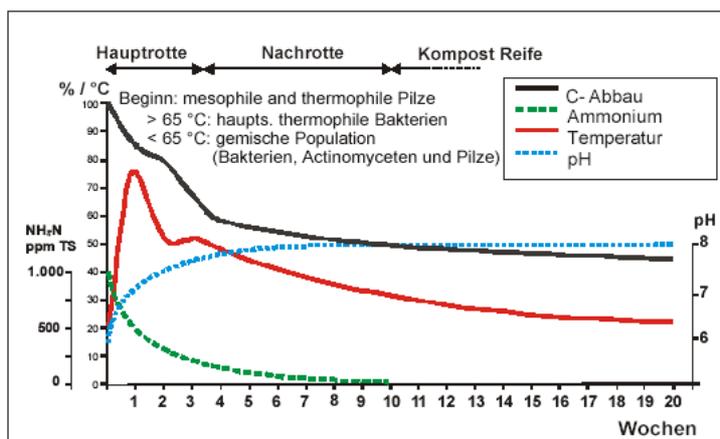


Abbildung 4-8: Zusammenschau wesentlicher Prozessparameter: C-Abbau, Temperaturentwicklung, Ammoniumgehalt, pH. (aus Binner, 2003a[A19])

## 5 „Materiallagerungen“ sowie Vorbehandlungsverfahren, die vom Stand der Technik der Kompostierung abzugrenzen sind

Eine ordnungsgemäße Rotteführung im Sinne der Kompostierung wird hier von einer nicht ordnungsgemäßen Lagerung und der Vorbehandlung organischer Materialien abgegrenzt.

### 5.1 Auszuschließende „Verfahren“, die keine Vorbehandlung bzw. ordnungsgemäße Kompostierung im Sinne des Standes der Technik darstellen

#### 5.1.1 Lagerung bzw. Behandlung von organischen Materialien

##### Nicht dem Stand der Technik entspricht:

- Die Zwischenlagerung nicht verholzter organischer Materialien ohne Aufbereitung und Abmischung am Tag der Anlieferung (innerhalb von 24 Stunden) zur Erzielung einer verfahrensseitig optimierten Zusammensetzung und Strukturierung der KompostausgangschARGE. Siehe Abschnitt 9.1 und 9.2.
  - Nicht verholzte organische Materialien umfassen: biogene Abfälle aus Haushalten („Bio-tonne“) auch mit einem hohen Anteil an organischen Abfällen aus dem Garten- und Grünflächenbereich (Grünschnitt), frischer und getrockneter Grasschnitt (Heu), sämtliche Mistarten auch mit hohem Stroh- oder anderem Einstreuanteil (ausgenommen jene, die im Zuge der Entmistung auf einem landwirtschaftlichen Betrieb auf der Düngersammelstätte/Feldmiete gelagert werden) und sonstige Abfälle, die bei der Lagerung ohne adäquate Aufbereitung und Abmischung zu Geruchs- und erhöhten sonstigen gasförmigen Emissionen führen können.

Ausgenommen hiervon sind: verholzte und holzähnliche Materialien wie Stroh, trockenes Laub und sonstige trockene reaktionsarme, lagerfähige Materialien mit einem C/N-Verhältnis  $> \text{ca. } 50:1^3$ ;

- Ein einfaches Aufschichten beliebiger Materialien ohne gezielte Homogenisierung bzw. biologische und mechanische Materialkonditionierung, wie in Abschnitt 5.2.2 beschrieben.
- Eine Rottezeit von weniger als 6 Wochen, ausgenommen die folgenden Voraussetzungen werden erfüllt und nachvollziehbar dokumentiert:
  - Im Falle einer offenen oder eingehausten Mietenkompostierung mit natürlicher Belüftung oder Zwangsbelüftung:
    - ⇒ intensive homogenisierende, wendende Bearbeitung mit einer Umsetzhäufigkeit in den ersten 3 - 4 Wochen von 3 bis 5 mal / Woche;
    - ⇒ geringe Mietenhöhe ( $< 1,5 \text{ m}$ )
    - ⇒ besonders sorgfältige Materialmischung in der KompostausgangschARGE (Aufsetzen)
  - Im Falle der Vorschaltung einer 1 – 3 -wöchigen Rotte in einem geschlossenen, zwangsbelüfteten Reaktor (Box, Tunnel):
    - ⇒ mindestens 1 mal pro Woche mechanisches Bewegen des Materials im Reaktor
    - ⇒ Umsetzhäufigkeit mindestens 3 mal pro Woche nach dem Auslagern aus dem Rotterektor:

Anforderungen für die Zwischenlagerung von Kompost-Ausgangsmaterialien sind in Abschnitt 9.1 beschrieben. Die Anforderungen an die Aufzeichnungen über Zwischenlager sind der Fachinformation zur Kompostverordnung des BMLFUW zu entnehmen<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Als Orientierung zu den C/N-Verhältnissen verschiedener Ausgangsmaterialien dient die Tabelle 6-3.

### **5.1.2 Materialübernahme und Durchführung der Hauptrotte auf offenem Boden ohne Basisabdichtung sowie ohne gesicherte Ableitung von Oberflächen- und Prozesswässern**

Grundsätzlich hat die Materialübernahme, die Materialaufbereitung und die Hauptrotte auf befestigten, flüssigkeitsdichten Flächen entsprechend den Mindestanforderungen in Abschnitt 9.1 bis 9.3 zu erfolgen.

Ausgenommen von dieser Anforderung ist die Kompostierung von organischen Abfällen aus dem Garten- und Grünflächenbereich gemäß Anlage 1 Teil 1, Kompostverordnung (BGBl. I Nr. 292/2001) mit den Nummern 102, 103, 104, 105 und getrennt gesammelte organische Friedhofsabfälle (Nr. 116). Weiters ausgenommen sind Ernterückstände, Stroh, Reben, verdorbenes Saatgut, Stallmist, überlagerte Feldfrüchte u.ä. sofern diese aus dem eigenen Betrieb stammen. Dies gilt bis zu einer Verarbeitungsmenge von maximal 300 m<sup>3</sup> pro Jahr und Betrieb. Dabei dürfen an einem Standort nicht mehr als 100 m<sup>3</sup> zugleich gelagert bzw. kompostiert werden. Die detaillierten Voraussetzungen hierfür sind in Abschnitt 9.3 dargelegt.

### **5.1.3 Trockenstabilisierung von Rohkomposten durch mangelnde Befeuchtung und „Trocknen“ in zwangsbelüfteten Systemen**

Vielfach werden in geschlossenen Intensivrotteverfahren (zB in der Boxenkompostierungen) zum Austragszeitpunkt das Rottegut über die Bewässerungs- und Belüftungssteuerung auf unter 55 °C gekühlt und zugleich auf hohe TM-Gehalte (> 60 % in der Frischmasse) eingestellt. Dies geschieht im wesentlichen um das Material für einen maschinellen Austrag zu konditionieren. Nach einer Gesamtverweildauer im Reaktor von 7 bis 14 Tagen ist, wie die Erfahrung zeigt, die Wahrscheinlichkeit hoch, dass das Rottegut noch nicht für eine weiterführende, geordnete Hauptrotte oder gar die Nachrotte stabilisiert ist. Meist liegt lediglich eine Trockenstabilisierung vor.

Die Folge ist, dass bei anschließender Befeuchtung und weiterer Rotte in offenen Mieten die für die Intensivrotte typischen Geruchsemissionen auftreten.

Das eigentliche Prozessziel der geschlossenen Intensivrotte, mit Abluftdesodorierung über den Biofilter, ist die Herstellung eines geruchsstoffarmen Zwischenproduktes (biologischer Abschluss der Intensivrotte, gleichzusetzen dem ersten Abschnitt einer zweistufigen Hauptrotte).

Wird dieses Verfahrensziel nicht erreicht, so entspricht das Hauptrotteverfahren definitionsgemäß nicht dem *Stand der Technik*. (Siehe auch Abschnitt 7.2 → Geruchsemissionen).

Untersuchungen von Stabilitätsparametern (zB respirometrische Methoden, niedere Carbonsäuren) zeigen, dass unter günstigen Rahmenbedingungen (C/N-Verhältnis, Feuchtigkeitssteuerung, Strukturstabilität und ausreichender Luftdurchsatz) nach einer Behandlungszeit von 14–28 Tagen im geschlossenen Hauptrottereaktor eine ausreichende Stabilität für die Überführung zu einer offenen Nachrotte erreicht werden kann. Zum heutigen Zeitpunkt kann jedoch ein obligat einzuhaltendes Stabilitätskriterium noch nicht festgelegt werden.

Entsprechend ist aber auch in offenen Mietensystemen eine Trockenstabilisierung durch eine adäquate Bewässerungstechnik zu vermeiden.

---

<sup>4</sup> BMLFUW, 2002. Fachinformation zur Kompostverordnung (BGBl.II 292/2001). Leitfaden zum Herstellen, Inverkehrbringen, und zur Anwendung des Produktes Kompost gemäß Kompostverordnung. [Teil 1: für Komposthersteller, die nicht mehr als 150 m<sup>3</sup> Kompost mittel Direktabgabe in Verkehr bringen „Landwirtschaftliche Kompostierung“; Teil 2: Für Komposthersteller, die mehr als 150 m<sup>3</sup> Kompost abgeben und ausschließlich Materialien der Anlage 1 Teil 1 („Biogene Abfälle“) sowie Zuschlagstoffe verarbeiten]. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien; <http://www.lebensministerium.at/umwelt/>

#### **5.1.4 „Überhitzung“ organischer Materialien bei > 70 °C**

Die Selbsterwärmung des Rottegutes im Zuge des exothermen aeroben Stoffabbaus muss im Sinne eines emissionsarmen Betriebes und der Qualitätsbildung (günstiges Milieu für den mikrobiellen Abbau und den Aufbau von Huminstoffen) bewusst gesteuert werden. Höhere Temperaturen als 55/60 °C über einen längeren Zeitraum hinaus, als er für die thermische Hygienisierung erforderlich ist, sind prozesshemmend. Ab ca. 65 °C engt sich das biologische Artenspektrum deutlich ein. Dies verlangsamt die Abbaugeschwindigkeit und führt zur Bildung von unerwünschten Stoffwechselprodukten, welche sehr geruchsintensiv sein können. Neben der Gefahr der partiellen oder vollständigen Trockenstabilisierung von Rottegut wird auch die Bildung von humusstoffreichen Aggregaten unterbunden.

Verfahren, bei denen Temperaturen über 70 °C über längere Perioden systematisch angestrebt und aufrechterhalten werden, entsprechen nicht dem Stand der Technik der Kompostierung.

#### **5.1.5 Zugabe von Frischmaterial nach Abschluss der Hauptrotte**

In der Praxis wurde immer wieder im fortgeschrittenen Rottestadium frisches organisches Ausgangsmaterial wie zB Stroh, Sägespäne, trockener Pferdemist meist zum Ausgleich von Feuchtigkeitsüberschuss oder zur Korrektur eines nicht günstig verlaufenden Prozesses zugesetzt. Dies entspricht nicht dem Ziel eines kontinuierlich verlaufenden Rotteprozesses, bei dem sämtliche eingebrachte Rohstoffe sich in der annähernd gleichen Rottephase hinsichtlich Abbau, Stabilisierung bzw. Humifizierung befinden. Als ausgleichende Zusätze nach Abschluss der Hauptrotte kommen im Bedarfsfall nur Siebrückstand, Altkompost, oder sonstige mineralische Zuschlagstoffe (unter Beachtung der zulässigen Höchstmenge gemäß KompostVo) in Frage. Andere Beimengungen in einem Rottestadium, in dem eine thermische Hygienisierung gemäß Abschnitt 7.4.2 nicht mehr gesichert werden kann, entspricht nicht dem Stand der Technik.

## 5.2 Vorbehandlungsverfahren

### 5.2.1 Anaerobe Vergärung in Biogasanlagen.

Grundsätzlich eignen sich vergärbare Materialien (vor allem solche mit einem hohem Wassergehalt) zur anaeroben Vorbehandlung in Biogasanlagen. Das entwässerte oder aus einer Trockenfermentation gewonnene Gärgut kann nach den in Abschnitt 9 beschriebenen Kompostierungsverfahren, je nach Konsistenz unter Zumischung der erforderlichen Menge an Strukturmaterial, kompostiert werden. Zur Erzeugung von ausgereiftem Kompost liegt die Kompostierungsdauer (in Abhängigkeit von Ausfäulungsgrad des Gärgutes, Menge und Abbaueigenschaften der zugegebenen Zuschlagstoffe und Kompostierungsverfahren) zwischen 4 und 16 Wochen.

Nach Müller und Fricke (1993<sup>[A22]</sup>) werden durchschnittlich weitere 37 % der verbliebenen oTM abgebaut. Sowohl die Atmungsaktivität, als auch das Gasbildungsvermögen werden dadurch um bis zu 95 % reduziert.

Bei der Kompostierung von Gärgut ist unabhängig von der erreichten Stabilisierung nach der Auslagerung insbesondere im Hinblick auf

- die Geruchsemissionen,
- eine rasche Beendigung der Methanbildung und
- die Aufoxidation der reduktiven N-Abbauprodukte ( $\text{NH}_3/\text{N}_2\text{O}$  Bildungspotenzial)

eine zügige, ausreichende Aerobisierung sicherzustellen.

Die Geruchsemissionen sind u.a. geprägt durch reduzierte Schwefelverbindungen (vor allem  $\text{H}_2\text{S}$ ) und reduzierte stickstoffhaltige Verbindungen (vor allem Ammoniak, aufgrund niedriger C/N-Verhältnisse und hoher pH-Werte). Organische Emissionen bestehen überwiegend aus Methan in einer Menge von etwa 100 bis 200 g  $\text{t}^{-1}$  Rotte-Input mit Rückständen aus der Trockenfermentation. Im Fall der Nassfermentation kann es in Abhängigkeit von der Technik während der Entwässerung und Zumischung von Strukturmaterial ebenfalls zu gasförmigen Emissionen kommen

Unter welchen Rahmenbedingungen diese erste Hauptrottestufe von Gärrückstand aufgrund eines evtl. erhöhten Geruchspotenzials in einem geschlossenen Rottesystem mit aktiver Belüftung, Ablufffassung und -behandlung (zB über einen Zeitraum von 2 Wochen) erforderlich ist, oder ob erhöhte Anforderungen an die Ausfäulung / Vergärung (vollständige Nachgärung) sowie die unmittelbare sorgfältige Abmischung mit geeigneten Zuschlagstoffen, die Umsetzfrequenz, die Mietenabdeckung etc. für eine offene Mietenkompostierung ausreichen, ist zum heutigen Zeitpunkt nicht abschließend beurteilbar.

Vergleichende Untersuchungen zum Rotte- und Emissionsverhalten an typischen Gärrückständen sind für eine weiterführende Beurteilung erforderlich.

Jedenfalls sind die Standortvoraussetzungen in der Beurteilung individuell mit zu berücksichtigen.

### 5.2.2 Vorlagerung von biogenen Abfällen mit Zusatz von Fermentationsmitteln (auf Basis von Bakterien/Pilzkulturen) zur Vorfermentation bzw. Teil-Konservierung

Diese erst in jüngerer Zeit an einigen Betrieben durchgeführte Vorbehandlungsverfahren stellen eine aerob/anaerobe bzw. auch strikt anaerobe Fermentierung und damit teilweise Konservierung des fertig abgemischten Rotteausgangsmaterials dar. Es werden zwei Methoden angewandt, die sich grundsätzlich im Charakter der Fermentation unterscheiden:

#### 1.) Methode: „Vorwiegend pilzliche aerob/anaerobe Vorfermentation“

Im Zuge einer 16 – 20-wöchigen Vorbehandlung in großen Tafelmieten (Höhe bis zu 4,5 Meter) ohne Umsetzen, meist unterstützt durch die Zugabe spezieller Fermentationshilfen (Pilz- und Bakterienauszüge) soll vor allem der Abbau der mikrobiell leicht verfügbaren Kohlenstoff und Ei-

weißverbindungen und der entstehenden Geruchsstoffe erfolgen. Wesentlich ist hierbei die Zuzusammensetzung von ausreichend Strukturmaterial als Kohlenstoffquelle und um das Pilzwachstum zu fördern. Es erfolgt keine Abdeckung mit Vlies oder Folie.

Hinsichtlich der exakten Prozessparameter (Temperatur, Geruchsstoffbildung, Verpilzung, Huminstoffbildung, Abbauleistung etc.) und der Emission klimarelevanter Gase und von Ammoniak liegen hier noch keine Untersuchungen vor. Ohne Belüftungsmaßnahmen ist ein ausreichender Abbau geruchsbildender organischer Stoffe in der angegebenen Zeit von 10 bis 15 Wochen nur bei einem ausreichenden Strukturanteil und Feuchtigkeitsgehalt sowie bei gutem pilzlichen Durchwachsen des Rottekörpers zu erwarten.

Problematisch sind jedenfalls folgende Elemente:

- Wegen der großen Mietenhöhe – gegenüber herkömmlichen Rotteverfahren – erhöhte Methan- und Lachgasbildung
- Stärkere Prozesswasserbildung aufgrund fehlender Homogenisierungsmaßnahmen nach dem ersten Aufsetzen
- Gefahr einer unkontrollierten, zonenweisen Trockenstabilisierung. Diese Zonen sind dann in den angestrebten Fermentationsprozess nicht mehr eingebunden.
- Durch die Tatsache dass bei diesem System das aufgeschichtete Material über längere Zeit nicht umgesetzt und durchmischt wird besteht bei fehlender Abdeckung mit Vlies oder auch einer organischen Abdeckung mit Häckselgut eine erhöhte Chance, dass nicht hygienisierte Ausgangsmaterialien auf der Mietenoberfläche liegen bleiben und durch Tiere (insbesondere Vögel) verschleppt werden.

## **2.) Methode: „Anaerobe Teilkonservierung/Fermentierung (Milchsäuregärung/Silierung)“**

Für diese Vorbehandlungsform kommen ausschließlich leicht fermentierbare und entsprechend verdichtbare Materialien wie zB Rasenschnitt oder organische Küchen-Abfälle aus Haushalten in Betracht.

Nach möglichst homogener Durchmischung des angelieferten Materials erfolgt eine Beimpfung (lt. den Vorgaben der Hersteller) mit einem entsprechenden Mikroorganismen-Präparat. Es werden nachfolgend ca. 2 m hohe Tafelmieten errichtet und diese dann mit Silofolie luftdicht abgedeckt. Nach etwa 2-8 Wochen wird das silierte Material wie Frischmaterial der regulären Mietenkompostierung zugeführt.

Problematisch sind hier folgende Elemente:

- Grundsätzlich kann bei einer verdichteten Vorlagerung bei vollständigem Luftabschluss von einer klassischen Silierung des Materials ausgegangen werden. Andererseits sind aufgrund der schwankenden Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien die Fermentationsprozess-Verhältnisse von der traditionellen Silierung nicht direkt übertragbar. Fehlgärungen und erhöhte Methanemissionen sind daher nicht auszuschließen.
- Weiters können in Abhängigkeit der tatsächlichen Milieubedingungen während der Umstellung des vorsilierten Materials auf die aerobe Rotte die für die Anfangsphase der Kompostierung von eiweißreichen Materialien („Küchenabfälle“) typischen Geruchsemissionen auftreten.
- Diesbezügliche systematische Studien liegen noch nicht vor.

### **Schlussfolgerung für Methode 1.) und 2.)**

Eine Vorfermentation wäre in beiden Fällen nur dann als Stand der Technik anzusehen, wenn folgende Voraussetzungen eingehalten werden können:

- Ausgewogene und intensive Abmischung der Ausgangsmaterialien
- Homogene Verteilung ggf. Einstellung einer optimalen Materialfeuchtigkeit unter besonderer Berücksichtigung der Wasserkapazität der Ausgangsmischung
- Überwiegend siliertfähiges Material mit geringem Strukturanteil im Fall der Methode 2.)
- In der nachgeschalteten ordnungsgemäßen Kompostierung mit regelmäßigem Umsetzen hat die gesicherte thermophile Hygienisierung und Endreifung entsprechend Abschnitt 7.4.2 zu erfolgen.

- Abdeckung der Mieten mit Kompostvlies bei Methode 1.), bzw. mit luftdichter Folie bei Methode 2.)
- Das Ziel des zügigen und kontrollierten Abbaus, bzw. der organischen Bindung von geruchsrelevanten Stoffen und Zwischenprodukten muss ausreichend und nachvollziehbar im Zuge der Fermentation erreicht werden.

Da die Erfüllung obiger Voraussetzungen weder wissenschaftlich noch durch Praxiserfahrungen ausreichend verifiziert wurde, bedarf es vor der Aufnahme dieser Vorbehandlungsverfahren in den *Stand der Technik* einschlägiger Untersuchungen. Es wäre sinnvoll, diese Methoden der Vorfermentierung als Vorbehandlung mit dem Ziel eines flexibleren Materialmanagements eingehend zu untersuchen.

Tabelle 5-1: Prinzipielle Prozesscharakteristik im Verlauf der Kompostierung

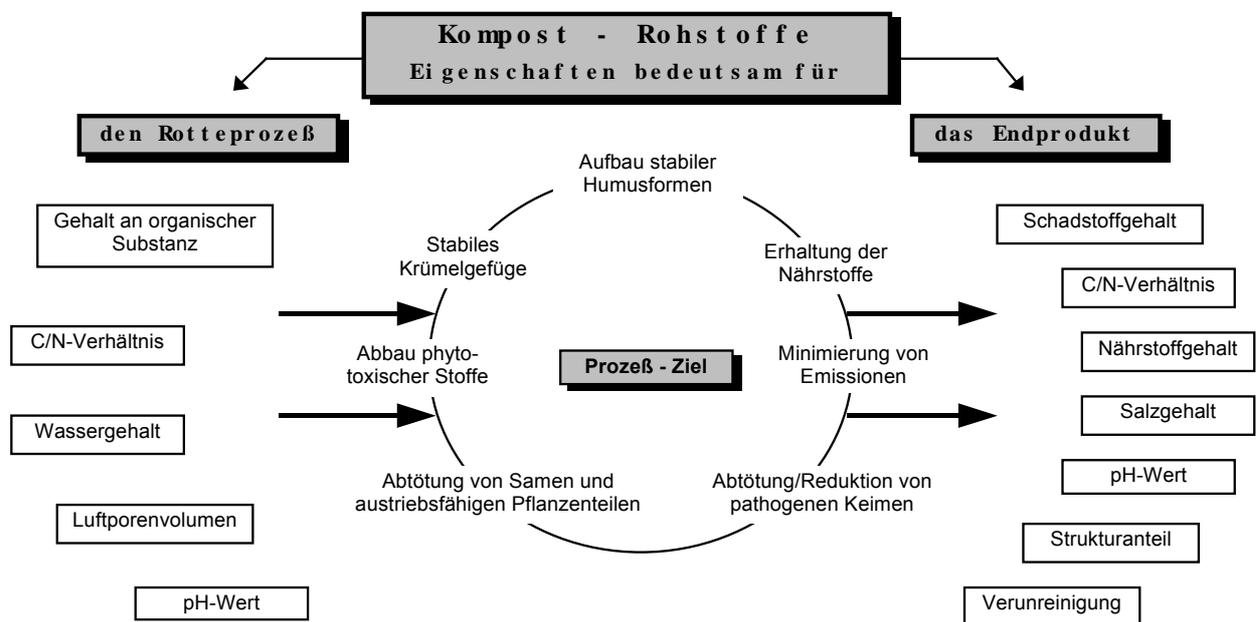
Phasen	organische Rohstoffe = Nahrungsgrundlage für Kompostflora und -fauna	Abbauphase Heißrotte – Intensivrotte	Ab- und Umbauphase Hauptrotte	Um- und Aufbauphase Nachrotte Reifung
Wärmehaushalt		max. Wärme > 55° - >70°C	abklingende Wärme 30° - 55°C	Abkühlung < 45°C
Wassergehalt		55 - 70 % FM	45 – 55/60 % FM	35 - 50 % FM
Prozess- Charakteristik	komplexe, nieder- und hochmolekulare, geordnete Struktur abgestorbener Pflanzenreste und Mist <u>Wertbestimmende Inhaltsstoffe:</u> Zucker, Fett, Eiweiß, Zellulose, Hemizellulose, Lignin als Stickstoff- und Kohlenstoffquelle <u>Energie:</u> biochemisch molekular gebunden <u>Schlüsselfaktoren:</u> C/N-Verhältnis, Wasser, Luftporenvolumen	<u>„Auflösung“ - Stürmischer Stoffumsatz</u> Mineralisation niedermolekularer Substanzen (Eiweiß, Zucker, Stärke, Fett) Spaltung hochmolekularer Gerüstsubstanzen (Zellulose, Hemizellulose) N-Verluste (Ammoniak); Ammoniumbildung; Schwefelwasserstoff  Bakterielle Mischflora <u>Energie:</u> z.T. in neu entstehenden Organismen gebunden, z.T. als Wärme an die Umwelt abgegeben	<u>„Auflösung“ und Neubildung - Gedämpfter Stoffumsatz</u> Abbau langkettiger aliphatischer Polymere (Hemizellulose, Zellulose); Beginn des Ligninabbaus Vermehrte Ligno-Protein- und Huminstoffbildung N-Stabilisierung: Assimilation durch Biomasse (Bakterien und Pilze); Ansteigen des Nitratgehaltes; Verdrängen von Ammonium  Bakterielle / pilzliche Mischflora; Actinomyceten und Hutpilze ("Tintlinge") Erste Kleintiere dämmen zusätzlich die mikrobielle Aktivität	<u>Neubildung - Gedämpfter Stoffumsatz</u> Ligninabbau; Stabilisierung; Huminstoffbildung; organische Bindung des Stickstoffs an die Huminstoffe; Einengung des C/N-Verhältnisses  Große Artenvielfalt an Kleintieren (Springschwänze, Eisenia fetida u.a.), pilzliche Mischflora Endstadium im Ton-Humus-"Krümel"
Zustand	Alte Ordnung	Chaos / Auflösung	Übergang zu neuen Strukturen	Neue Ordnung
Element		Wärme – Wasser – (Luft)	Wasser - Luft	Luft - Erde



## 6 Spezifische Voraussetzungen der Ausgangsmaterialien hinsichtlich Prozess-, Emissions- und Qualitätsfragen

Bei den Ausgangsmaterialien für die Kompostierung handelt es sich primär um Materialien mit einem entsprechend hohen Anteil an biologisch abbaubarer Substanz. Hinzukommen, je nach Aufwandmenge und Wirkungsweise, Zuschlagstoffe und Hilfsstoffe.

Die Qualität der Rohstoffe kann entsprechend dem Prozessziel nach folgenden Kriterien differenziert werden: Bei der Beurteilung der Ausgangsmaterialien müssen sowohl ihre Eignung für das Verfahren der Kompostierung als auch jene Eigenschaften unterschieden werden, die für die Qualität des Endproduktes von Bedeutung sind. Abbildung 6-1 fasst den Zusammenhang zwischen Rohstoffqualität → Prozessziel und → Produktziel zusammen.



**Abbildung 6-1: Die Bedeutung der Kompost-Rohstoffe im Zusammenhang mit Rotteprozess und Endproduktqualität (nach Amlinger, 1996<sup>[A23]</sup>)**

Bei kleineren Kompostanlagen muss bei Übernahme der Ausgangsmaterialien mit einseitig ausgeprägten Materialeigenschaften darauf geachtet werden, dass stets ausreichend ergänzende Mischungspartner zur Herstellung einer ausgewogenen Kompostausgangsmischung vorhanden sind (zu nennen wären hier zB Lebens- und Futtermittelreste mit hohem Eiweißanteil, Zitrusfrüchte, Speiseöle und -fette, Asche, Unkrautsamen, pestizid- und herbizidbehandelte Pflanzenabfälle, erkranktes und verschimmelter Pflanzenmaterial, selbst Gras, Laub, Rinde oder Sägespäne).

## 6.1 Prozess- und emissionsrelevante Eigenschaften der Kompostausgangsmaterialien

### 6.1.1 Mikrobielle Abbaubarkeit

Hierunter ist die Abbau- bzw. Mineralisierungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Stabilität und des verfügbaren C/N-Verhältnisses der organischen Komponenten zu verstehen. Der grundsätzliche Prozessablauf wurde bereits in Abschnitt 4.2 dargestellt. Unterschieden werden leicht und schwer abbaubare organische Substanzen (siehe Tabelle 6-1).

**Tabelle 6-1: Abbaugeschwindigkeiten verschiedener Stoffklassen während des Kompostierungsprozesses (nach Grabbe & Schuchardt, 1993<sup>[FA24]</sup>)**

Herkunft	Intensiv/Hauptrotte schnell	→	Nachrotte langsam
<b>pflanzlich</b>	Stärke, Zucker Fett Fettsäuren Eiweiße, Peptide Aminosäuren Vitamine Antibiotika	Zellulose Hemizellulose Pentosane Pektin Chitin Fette Öle Wachse	Holz Lignin Keratin Kutin Suberin
<b>tierisch</b>	Kot, Harn Schleim, Blut Körperzellen Fermente Hormone	Gallensäuren	Gallenfarbstoffe Knochen
<b>mikrobiell</b>	Biomasse org. Säuren Stoffwechselprodukte	Indol Skatol Phenole Polysaccharide	Ligno-Protein-Komplex

**Tabelle 6-2: Vorkommen, Eigenschaften und selektive Abbaubarkeit der für die Kompostierung wichtigsten Naturstoffe; Abbaubarkeit nimmt von oben nach unten hin ab. Nach Ottow & Bidlingmaier (1997)<sup>[A25]</sup>**

Naturstoffe	Vorkommen	Chemischer Aufbau	Abbaubarkeit und abbauende Organismen
<b>Stärke</b>	Vorherrschende Speichersubstanz in Samen. Knollen und Wurzeln	Poly-D- Glucoseketten Polymerisationsgrad sehr verschieden	Sehr schnell <b>AEROB</b> . Pilze & Bakt. <b>ANAEROB</b> . Bazillus- und Clostridium-Arten
<b>Pektine</b>	Mittellamelle zwischen Zellwänden, in jungem Pflanzengewebe, bes. reichlich in Beeren, Stein- und Kernobst	Im wesentlichen aus Galacturonsäuren aufgebautes stark geliertes Polysaccharid	Sehr schnell viele Pilze u. Bakt. wenige Actinomyceten, aktivste Zersetzer: Sporenbildner wie Bacillus macerans u. B. Polymyxa
<b>Proteine</b>	Bestandteil des Zellplasmas	Makromoleküle aus Aminosäuren	Leicht abbaubar, zahlreiche Pilze u. Bakt. <b>AEROB</b> . Bacillus, Pseudomonas, Serratia, Flavobacterium spp. <b>ANAEROB</b> . Clostridium spp.
<b>Hemicellulosen</b>	Gerüststoffe der Zellwand (zus. mit Cellulose u. Lignin)	Polymerisate aus verschiedenen Hexosen, Pentosen u. Uronsäuren	Leicht (Arabane) bis schwer (Galactane), Abbau durch Actinomyceten, Bakt., Pilze
<b>Mannane</b>	Wandsubstanz bei versch. niederen Pflanzen, in einigen Nadelhölzern bis zu 11 %	Lösliches Polysaccharid aus Mannose	Leicht abbaubar durch zahlreiche Mikroorganismen
<b>Xylane</b>	Reserve- oder Stützsubstanz. Stroh u. Bast: 15- 20%, Laubholz. 20- 25%; Koniferenholz: 7-12%	Polysaccharid aus 1,4-glycosidischer- $\beta$ -D-Xylose mit mittlerem Polymerisationsgrad	Leicht abbaubar durch zahlreiche Mikroorganismen
<b>Fructane</b>	In manchen Pflanzenfam. anstelle oder neben Stärke gespeichert, in Weidengräsern 12-15% TM. Wurzelzichorie 11-15%	Polysaccharid aus $\beta$ -2,1-glycosidischen D-Fructoseeinheiten	Leicht abbaubar durch zahlreiche Mikroorganismen
<b>Fette &amp; Wachse</b>	Pflanzen- und Tierreste	Fette. Glycerinester der höheren Fettsäuren Wachs. Fettsäuren mit primär einwertigen Alkoholen verestert	Gut abbaubar Fette: Viele Bakterien u. Actinomyceten Wachs. Bevorzugt von Bakt., z. B. Mycobacterium phlei, M. lacticola
<b>Chitine</b>	Sowohl im Tier- als auch Pflanzenreich verbreitete Stützsubstanz, bildet das Exoskelett vieler wirbelloser Tiere, Hauptbestandteil vieler Pilze	Ausgeprägte Stabilität aufgrund der von den N-Acetylseitengruppen ausgehenden N-Brückenbindungen (Quervernetzungen)	Leicht abbaubar durch viele Bakt. U. Pilze
<b>Cellulose</b>	Wichtigstes Polysaccharid, Zellwandsubstanz v.a. höhere Pflanzen Heu ca. 28%, Stroh 32-36%, Baumwolle u. Flachs ca. 100%, Holz 50%	Ketten von $\beta$ -1,4-D- Glycose mit hohem Polymerisationsgrad hohe mech. Festigkeit, in Wasser unlöslich	Schwer angreifbar, da unlöslich; <b>Aerob</b> : Pilze (insbes. Wenn pH niedrig und wenn mit Lignin inkrustiert), Actinomyceten (Micromonospora); Myxobakterien <b>Anaerob</b> : Clostridien und andere Bakt. (z. B. Cellulomonas)
<b>Lignin</b>	Nach der Cellulose u. neben den Hemicellulosen mengenmäßig bedeutendster Pflanzenbestandteil. Holz 18-30%	Phenylpropaneinheiten mit untersch. dreidimensionaler Verknüpfung (=Inkrustierung)	Sehr resistent und nur langsam abbaubar, v.a. höhere Pilze (Basidiomyceten) aber auch Actinomyceten, Streptomyces spp., u.a. Bakterien

### Wassergehalt

Die optimale Feuchtigkeit sinkt im Verlauf des Rotteprozesses mit der Abnahme des Gehaltes an organischer Substanz. Die ausreichende Feuchtigkeit gerade in der Start und Hauptrottephase ist vor allem

deswegen unerlässlich, weil Mikroorganismen Nährstoffe und auch Sauerstoff nur in gelöster Form aufnehmen können. Reine Küchen- und Gemüseabfälle weisen Wassergehalte von 80 bis 95% in der Frischmasse auf, was bereits während Sammlung und Transport zur Bildung von Presswasser führt. In Abhängigkeit der Strukturstabilität und der Wasserkapazität der organischen Ausgangsmaterialien können die Wassergehalte der einzelnen Materialkomponenten in einem weiten Bereich schwanken. Die Strukturstabilität gewährleistet ein ausreichendes Luftporenvolumen bei maximalen Feuchtigkeitsgehalten sowie die Ableitung überschüssigen Wassers. Günstige Bereiche für zB küchenabfallreiche, strukturärmere Mischungen liegen bei 45 – 50% i.d. FM, für strukturreiche, grünschnittbetonte Mischungen bei 45 – 60% i.d. FM.

### **Strukturstabilität**

Die Strukturstabilität ist die Voraussetzung für die Erhaltung des erforderlichen Luftporenvolumens und des Gasaustausches im Rottekörper. Dies gilt gleichermaßen für geschlossene Reaktorsysteme als auch für offene Mieten. Ein optimaler Anteil von gehäckseltem Baum- und Strauchschnitt als Strukturgut hängt vom gewählten Hauptrotteverfahren und den Struktureigenschaften und dem Wassergehalt der übrigen Mischungspartner ab. Als Grundregel gilt: je größer der Querschnitt des Rottekörpers desto größer die Eigenpressung und daher auch die Wahrscheinlichkeit, dass eine gleichmäßige Durchlüftung durch Konvektion (Kaminzugeffekt) bzw. auch durch die Zwangsbelüftung auch bei hohem Strukturgutanteil nicht mehr gewährleistet wird. Weitere Faustzahlen und Richtwerte siehe → Kap. 9.2.4.

### **pH-Wert**

Besonders Ausgangsmaterialmischungen mit *hohen Anteilen an frischen Küchen- und Gemüseabfällen* führen während der Initialphase der ersten 3 bis 7 Tage zu niedrigen pH-Werten von 4 bis 6. Diese saure Phase bewirkt eine deutliche Verzögerung des C-Abbaus (lag-Phase) und geht einher mit dem Auftreten niederer Karbonsäuren (Essigsäure, Propionsäure, Iso-Buttersäure, Buttersäure, Iso-Valeriansäure, Valeriansäure). In Laborversuchen (Binner, 2002[A26]) konnte gezeigt werden, wie die rapide Abnahme der Essigsäure parallel zum pH-Anstieg und dem Kohlestoffabbau einsetzte. Eine Abdämpfung oder Verkürzung der lag-Phase konnte durch eine Zugabe von Kalk bereits in einer Konzentration von 0,2 % (m/m) erreicht werden. Kalkmengen über 0,4 % führen jedoch zu einer stärkeren Ammoniak (NH<sub>3</sub>) Freisetzung.

*Kalkstabilisierter Klärschlamm* hat pH Werte von 10 – 12. Bei solchen Werten ist keine mikrobielle Aktivität möglich. Es braucht in der Regel einen entsprechend hohen Anteil an frischen Zuschlagstoffen (zB Grünschnitt) um innerhalb einer kurzen Frist (1 – 3 Wochen) den pH Wert auf unter 8 abzusenken. Polymer-stabilisierter Schlamm hingegen weist meist pH-Werte zwischen 6,5 und 7 auf.

Hinsichtlich dem Zusammenhang zwischen pH und Geruchsemissionen siehe Abschnitt 7.2.

### **C/N-Verhältnis**

Mikrobiell mobilisierbare Kohlenstoff- und Stickstoffquellen müssen in einem ausgewogenen Verhältnis vorliegen. Ein Überhang an leicht verfügbarem Stickstoff kann zu hohen Verlusten in Form von Ammoniak führen.

Stickstoff und Kohlenstoff müssen für die Mikroorganismen in gleichem Maß verfügbar sein. In pflanzlichen Rückständen beträgt das C/N-Verhältnis etwa 35 bis 40:1. Es liegt damit in einem für den Abbau durch Mikroorganismen günstigen Bereich. Mit der Freisetzung von CO<sub>2</sub> im Zuge der Mineralisierung geht eine Anreicherung des Stickstoffes bzw. eine Verengung des C/N-Verhältnisses einher. Humusstoffe weisen ein C/N-Verhältnis von etwa 10:1 auf. Beim Rotteprozess bestimmen vor allem die leicht löslichen (verfügbaren) Anteile des Kohlenstoffs und Stickstoffs den Abbaufortschritt. Liegt eine dieser Komponenten (meist Stickstoff) im Übermaß vor, kann diese von den Mikroorganismen nicht verwertet werden (Binner, 2003a[PS27]).

Das C/N-Verhältnis ist also ein Indikator für die Dynamik der ablaufenden Abbau- und Umsetzungsprozesse sowie die mikrobielle N-Bindung im Kompost oder bei N-Überschüssen (C/N-Verhältnis in Abhängigkeit der verfügbaren C- und N-Fraktionen ca. < 15 - 20:1) für die im wesentlichen gasförmigen Stickstoffverluste (in Form von Ammoniak, Lachgas oder elementarem Stickstoff). Tabelle 6-3 gibt einen Überblick zu den C/N-Verhältnissen typischer Kompostausgangsstoffe.

**Tabelle 6-3: C/N-Verhältnissen typischer Kompostausgangsstoffe**

<b>Material</b>	<b>C/N- Verhältnis</b>	<b>Material</b>	<b>C/N- Verhältnis</b>
<b>Wirtschaftsdünger</b>		<b>Grünabfälle</b>	
Jauche	2-3	Rasenschnitt	12-25
Hühnerkot	10	Beetabraum	20-60
Mistkompost	10	Kartoffelkraut	25
Hühnermist + Stroh	13-18	Strukturmaterial	23-31
Rindermist (stroharm)	20	Laub	30-60
Pferdemist	25	Laubstreu (Erle, Esche, Hainbuche)	25
Rindermist (strohreich)	30	Laubstreu (Linde, Eiche Birke, Pappel, Buche)	40-60
<b>Bioabfälle</b>		Nadelstreu	30-100
Gemüseabfälle	10-20	Stroh (Gerste/Hülsenfrüchte)	40-50
Essensreste	12-20	Stroh (Hafer)	60
Obstreste	15-25	Stroh (Roggen/Weizen)	100
Haushalts- und Küchenabfälle	20-21	Rinde	100-130
Blumen- u. Pflanzenabfälle	20-60	Baum- und Gehölzschnitt	100-150
Küchenabfälle	23	<b>Sonstiges</b>	
Obst	35	Torf	30-50
Papierabfälle	120-170	Sägemehl (Vollholz)	100-500
		Papier/Karton	200-500

Als Zielgröße kann ein C/N-Verhältnis von (20) 25 - 35 (40) : 1 im Kompostausgangsmaterial angegeben werden. Weitere Grundsätze zur Homogenisierung und Einstellung einer optimalen Ausgangsmischung siehe → Kap. 9.2.4

## **6.2 Produktorientierte Qualität der Ausgangsmaterialien**

Eine qualitative Bewertung von Kompost erfolgt in der Regel im anwendungsfertigen Endprodukt. Spezielle Untersuchungserfordernisse und Mindeststandards für Rohmaterialien wurden im Rahmen der KompostVo nur punktuell für Materialien mit potenziell erhöhten Schadstoffgehalten oder nicht eindeutig definierbarer Herkunft festgelegt.

Die qualitative Gesamtkomposition des Kompostes wird jedoch wesentlich vom Nährstoffgehalt, von den physikalischen Eigenschaften, den anorganischen bzw. organischen Schadstoffanteilen und dem Verunreinigungsgrad mit Störstoffen in den Ausgangsmaterialien bestimmt. Die unterschiedlichen Ausgangsmaterialien, Zusatz- und Hilfsstoffe, welche in möglichst hoher Vielfalt der Kompostierung zuzuführen sind (grob/fein, hart/weich, trocken/feucht, nährstoffreich/nährstoffarm), sollen die Qualität des Endproduktes indirekt über den Rotteprozess, beziehungsweise unmittelbar positiv beeinflussen.

Eine hohe Qualität der Kompostrohstoffe ist insbesondere zu beachten, wenn Kompost für die landwirtschaftliche oder gartenbauliche Anwendung hergestellt wird. Geringere Maßstäbe werden an Komposte zur Verwendung im Landschaftsbau und der Rekultivierung (Qualitätsklasse B) gelegt. Im Folgenden werden die wesentlichen produktorientierten Anforderungen an die Ausgangsmaterialien zusammengefasst.

Hinsichtlich der vorsorgeorientierten Mindestanforderungen an die Ausgangsmaterialien zur Kompostierung wird auf Anlage 1 der KompostVo sowie auf ÖNORM S 2201 „Kompostierbare Abfälle – Qualitätsanforderungen“ verwiesen.

### **6.2.1 Gehalt an nicht abbaubaren Schad- und Fremdstoffen**

Zu diesen zählen sowohl die potenziell toxischen Elemente (PTE) bzw. Schwermetalle (Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink) als auch persistente organische Schadstoffe wie Dioxine und Furane, PCB, PAK.

#### **6.2.1.1 Persistente Organische Schadstoffe**

Der Europäische Vergleich organischer Schadstoffkonzentrationen in Bio- und Grünkomposten ergibt, dass eine Festlegung von Grenzwerten mit routinemäßiger Analytik nicht erforderlich ist (Amlinger et al., 2004[FA28]). Die Österreichische KompostVo legte nur für spezifische Ausgangsmaterialien Grenzwerte fest.

Folgende Tabelle gibt eine Orientierung zu den Gehalten an organischen Schadstoffen in typischen Ausgangsmaterialien

**Tabelle 6-4: Organische Schadstoffe in Kompost-Ausgangsmaterialien; Mittelwerte; PCDD/F in ng Teq kg<sup>-1</sup> TM; PCB und PAK in mg kg<sup>-1</sup> TM (Sihler et al., 1996[p29])**

	n	OM	Sum PCB	PAK	PCDD/F
		%	PCB 28 –180 mg kg <sup>-1</sup> TM	6 PAK FL, BbFl, BaP, Bper, IP mg kg <sup>-1</sup> TM	ng Teq kg <sup>-1</sup> TM
<b>Grünschnitte</b>	1-9	77 30	0.008 0.046	0.566 3.250	4.96 ± 3.56 16.44 ±14.58
<b>Bioabfall</b>	3-5	78 30	0.010 0.048	0.174 0.685	1.62 ±1.01 5.17 ±2.07
<b>Rinde</b>	4-9	94 30	0.007 0.103	0.621 7.799	1 ±0.57 13.11 ±10.47
<b>Gartenmaterialien</b>	2-6	63 30	0.052 0.096	0.93 1.741	2.24 ±0.99 4.61 ± 2.92

OM .. original organische Masse (oberer Wert) und standardisiert auf 30% OM (unterer Wert)

*Lindan* ist bei Rinden auf „Verdacht“, das heißt bei unbekannter oder bedenklicher Herkunft und bei Fehlen einer Bestätigung, dass über einen Zeitraum von 10 Jahren ein Anwendungsverbot vorlag, zu untersuchen. Ein Grenzwert von 0,5 mg kg<sup>-1</sup> TM ist gemäß KompostVo einzuhalten.

Auf Absorbierbare organische Chlorverbindungen (AOX) als Summenparameter für chlorierte Verbindungen ist gemäß KompostVo in Klärschlämmen, die zur Kompostierung vorgesehen sind, nur dann zu untersuchen, wenn aufgrund vorangegangener Untersuchungen oder einer kritischen Einleiterstruktur (zB hoher Anteil an industriellen Gewerbebetrieben) ein Verdacht auf erhöhte Werte berechtigt erscheint. Analog zu Klärschlammregelungen wurde hier ein Grenzwert von 500 mg kg<sup>-1</sup> TM festgelegt. Werte in Komposten liegen im Mittel zwischen 40 und 70 mg kg<sup>-1</sup> TM (Zethner et al., 2001[p30]; Stock et al., 2002[p31]).

Bei Übernahme von Extraktions- oder Ölsaatenrückständen ist darauf zu achten, dass entweder eine Bestätigung vorliegt, dass keine organisch-synthetischen Extraktionsmittel eingesetzt wurden (Anlage 1 Teil 1 KompostVo), oder *nur gering belastete* Materialien verwendet werden (Anlage 1 Teil 1 KompostVo). Wurden im Entstehungsprozess organisch-synthetischen Extraktionsmittel verwendet, ist vor der ersten Übernahme sowie in der Folge 1 mal pro Jahr auf diese oder mögliche resultierende Schadstoffe durch eine befugte Fachanstalt eine Untersuchung und entsprechende Beurteilung zu veranlassen.

**Tabelle 6-5: Weitere Grenzwerte für organische Schadstoffe gemäß KompostVo.**

Materialien (Code-Nr., Bezeichnung)		Qualitätsanforderungen an das Ausgangsmaterial und Anforderungen an die Eingangskontrolle		
203 neue SN: 92203	Extraktionsrückstände	Nur gering mit organischen Stoffen wie zB Extraktionsmitteln belastete Materialien sind zulässig. Dies ist durch eine Bestätigung über den verwendeten Produktionsprozess nachzuweisen. Ist eine Belastung durch organische Stoffe aufgrund des Entstehungsprozesses möglich, so sind speziell auf den Produktions- und Entstehungsprozess und die daraus resultierenden, möglichen Belastungen abgestimmte Parameter durch eine befugte Fachperson oder Fachanstalt (bei der ersten Anlieferung, in weiterer Folge mindestens einmal pro Jahr bzw. nach jeder Änderung des Prozesses) zu untersuchen. Die Eignung des Materials für die Kompostierung ist unter Einbeziehung dieser Ergebnisse von der befugten Fachperson oder Fachanstalt zu beurteilen und in der Bestätigung zu begründen.		
203 neue SN: 92203	Ölsaatenrückstände			
208 neue SN: 92208	Kakaoschalen	Untersuchungen sind bei jeder Anlieferung erforderlich Lindan: 0,5 mg kg <sup>-1</sup> TM Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) 0,3, Summe aus Aldrin, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, die Summe der Hexachlorcyclohexan (HCH), DDT und DDE, Chlordan und Hexachlorbenzol: 1 mg kg <sup>-1</sup> TM		
301 neue SN: 92301	Fangoschlamm und -erde natürlicher Herkunft ohne Zumischungen und Verunreinigungen	PAK (16)	PCB	KW <sub>ges</sub>
		<i>mg kg<sup>-1</sup> TM</i>		
		2	0,2	500
Bei erstmaliger Verwendung ist ein Analysenzeugnis des Erzeugers anzufordern, aus dem hervorgeht, dass die oben stehenden Grenzwerte eingehalten werden.				
303 neue SN: 92303	Asche aus Biomassefeuerungen Pflanzenaschen	PCDD/PCDF: 100 ng TE je kg TM Es ist zumindest eine Analyse bei erstmaliger Verwendung je Herkunft durchzuführen.		
304 neue SN: 92304	Bodenaushubmaterialien (Erde) und -aufschlämungen natürlich gewachsener, nicht verunreinigter Boden; Waschschlämme von Hackfrüchten; natürlicher Moorschlamm und Heilerde ohne Zumischungen	PAK (16)	PCB	KW <sub>ges</sub>
		<i>mg kg<sup>-1</sup> TM</i>		
		2	0,2	200
Zu untersuchen ist vor allem im Verdachtsfall, zB bei offensichtlichen Ölverunreinigungen oder bei problematischer Herkunft; Waschschlämme nur ohne chemische Reinigungs-, Fällungs- oder Extraktionsmittel.				

### 6.2.1.2 Schwermetalle

Schwermetalle werden zum überwiegenden Teil über anhaftende Staub und Bodenpartikel bzw. schwermetallhaltige Verunreinigungen und Fremdstoffe eingetragen. Grünschnitt-Komposte weisen tendenziell niedrigere Gehalte auf als Kompost aus gemischten Bioabfällen. Auswertungen aus flächendeckenden Untersuchungen ergeben jedoch in vielen Fällen keine signifikanten Unterschiede (Amlinger et al., 2004). Beim Einsatz von kommunalem Klärschlamm ist zu beachten, dass bereits geringe Mengen an Klärschlamm (10 – 30 %) infolge der rottebedingten Anreicherung der Schwermetalle dazu führen können, dass die Grenzwerte für eine landwirtschaftliche Verwertung (Qu.-Kl. A) nicht eingehalten werden. Der Abbau der organischen Masse im Zuge der Mineralisierung führt zu einer relativen Aufkonzentration der Schwermetalle. Diese kann mit folgender Formel berechnet werden:

$$SM_{STD} = \frac{100 - OM_{STD}}{100 - OM_{AKT}} \times SM_{AKT}$$

SM<sub>STD</sub> ... Schwermetall-Konzentration bei standardisiertem Gehalt an organischer Masse

OM<sub>STD</sub> ... standardisierter Gehalt an organischer Masse

OM<sub>AKT</sub> ... Aktueller Gehalt an organischer Masse

SM<sub>AKT</sub> ... Schwermetall-Konzentration bei aktuellem Gehalt an organischer Masse

Die Anreicherung zB bei Grass/Häckselgutkomposten betrug nach einer Untersuchung von Rieß et al. (1993[FA32]) zwischen 110 – 230%.

Tabelle 6-6 fasst Hintergrundgehalte der wichtigsten Gruppen an Kompostausgangsmaterialien zusammen und gibt einen Vergleich zum gewichteten Median bzw. 90. Perzentilwert einiger nationaler Komposterhebungen in Europa und zu den Bodenhintergrundgehalten in Österreich.

**Tabelle 6-6: Schwermetalle – Hintergrundgehalte der wichtigsten Gruppen an Kompostausgangsmaterialien [mg kg<sup>-1</sup> TM]; Basis ist der natürliche oTM Gehalt**

Ausgangsmaterial:	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	[mg kg <sup>-1</sup> TM]						
<b>Garten Abfälle</b>	0.07-0.65	3-24.6	11-68.8	0.05-0.18	3-17.0	6-30.3	46-100
<b>Küchen Abfälle</b>	0.059-1.4	1.65-9	10-25	0.029	1.6-30	2-20	20-55
<b>Holzhäcksel</b>	< 0.1-0.4	6.5-17.6	5-20	0.05< 0.1	4.0-8.4	13-20	20-137
<b>Klärschlamm (Bereich Mittelwerte) <sup>1)</sup></b>	0.4–3.8	16-275	39-641	0.3-3	9-80	13-221	142-2,000
<b>BAK / Median <sup>2)</sup></b>	0.46	21.00	47.33	0.17	17.00	62.67	181.00
<b>BAK / 90. Perzentil <sup>2)</sup></b>	0.89	37.40	79.50	0.35	29.73	105.17	284.17
<b>Boden 75. Perzentil [AT] <sup>3)</sup></b>	0.28	48	28	0.22	30	23	92

<sup>1)</sup> Arthur Andersen / DG Environment (2001[p33])

<sup>2)</sup> statistisch gewichtete Median- und 90-Perzentil Werte von Schwermetallgehalten auf Basis nationaler Erhebungen

<sup>3)</sup> österreichische Ackerböden, 0-20 cm (Amlinger & Peyr, 2001[FA34])

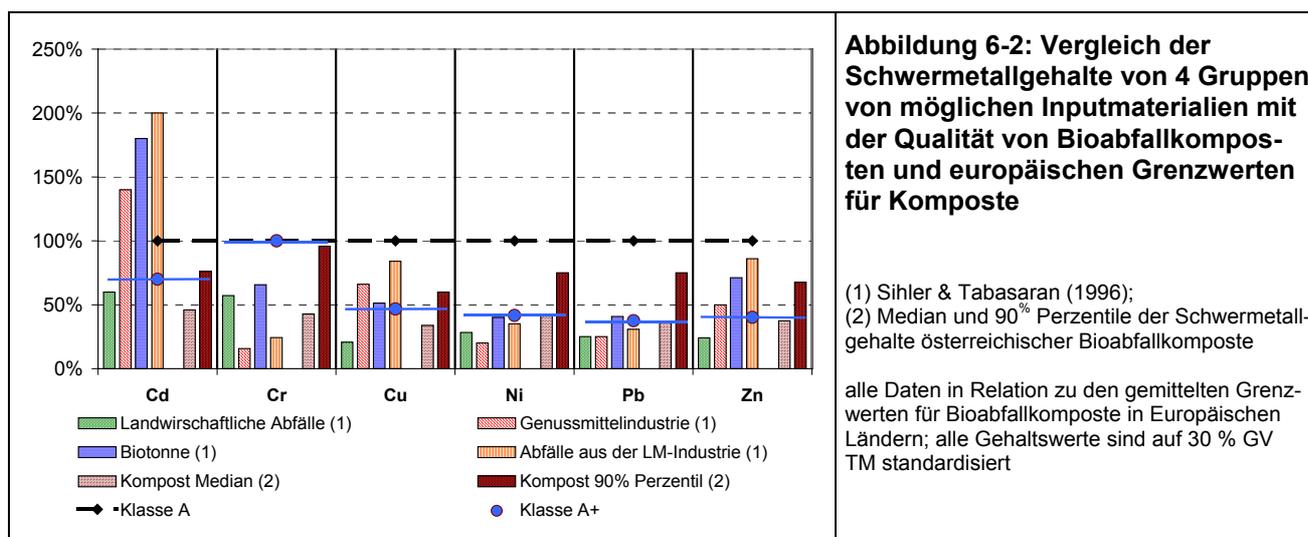
Als Beispiel für eine Reihe von Untersuchungen an potenziellen Rohstoffen zur Kompostierung dient eine Gegenüberstellung typischer Materialgruppen. Der Vergleich der auf 30% organische Substanz standardisierten Werte mit den gemittelten Grenzwerten europäischer Länder macht deutlich, dass vor allem die Cadmiumgehalte der Ausgangsmaterialien mit Ausnahme der landwirtschaftlichen Abfälle die Grenzwerte kaum einhalten können. Bei einer Kompostierung von reinen Abfällen aus der Lebensmittelindustrie würden auch die Zinkwerte die Grenzwerte überschreiten. Ein Vergleich mit den deutlich strengeren Grenzwerten der EU-Verordnung (EC) Nr. 2092/91 für den Ökologischen Landbau würden nur mehr die Chromwerte bei allen Typen von Inputmaterialien merklich unter den erlaubten Grenzwerten bleiben.

**Tabelle 6-7: Mittlerer Schwermetallgehalt von organischen Abfällen als Ausgangswert [mg kg<sup>-1</sup> TM] und bezogen auf 30% OM (fett gedruckt)**

	n	OM [%]	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
<b>Landwirtschaftliche Rückstände</b> <sup>(1)</sup>	16-17	74	0,4	26	18,5	-	9,5	18	70
		<b>30</b>	<b>0,6</b>	<b>40</b>	<b>31</b>		<b>17</b>	<b>30</b>	<b>120</b>
<b>Bioabfall</b> <sup>(1)</sup>	23	85	0,3	8	18	-	8	16	70
		<b>30</b>	<b>1,8</b>	<b>46</b>	<b>77</b>		<b>24</b>	<b>49</b>	<b>356</b>
<b>Lebensmittelverarbeitung</b> <sup>(1)</sup>	17-19	89	0,2	1,4	11,5	-	2,4	3	40
		<b>30</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>126</b>		<b>21</b>	<b>37</b>	<b>430</b>
<b>Genussmittel</b> <sup>(1)</sup>	21-23	91	0,2	2,2	23	-	2	4	50
		<b>30</b>	<b>1,4</b>	<b>11</b>	<b>99</b>		<b>12</b>	<b>30</b>	<b>250</b>
<b>Sonstige</b> <sup>(1)</sup>	7-10	88	0,25	1,8	10	-	1,2	7,5	50
		<b>30</b>	<b>1,4</b>	<b>20</b>	<b>81</b>		<b>9</b>	<b>45</b>	<b>292</b>
<b>Maximalwerte aller Materialtypen</b>			3.3-8	52-160	260-2500		34-107	140-640	996-3050
<b>Grenzwert Klasse A</b>			0,7	70	70	0,4	25	45	200
<b>Grenzwert Klasse A+</b>			1	70	150	0,7	60	120	500
<b>Kompost 75 %il</b> <sup>(2)</sup>	582		0,51	31	61	0,29	26	49	211
<b>Boden* 75 %il</b> <sup>(2)</sup>			0,28	48	28	0,22	30	23	92

(1) Sihler & Tabasaran (1996[FA35]), fett gedruckt ... standardisiert auf 30 % organische Masse

(2) Amlinger & Peyr (2001[FA36])



Mit Ausnahme von Cd haben bei allen Schwermetallen die Küchenabfälle höhere Gehalte als die anderen Rohstoffgruppen.

Eine Übersicht zu den Untersuchungen in verschiedenen Ländern zeigt, dass folgende Inputmaterialien tendenziell die gemittelten Grenzwerte für Bioabfallkompost in der EU bei Standardisierung auf einen OTM Gehalt von 30 % überschreiten würden:

- Papier (Cu, Zn)
- Kartoffeln (Cd, Cu, Zn)
- Tomaten (Cd)
- Spinat (Cd)
- Pilze (Cd, Cu, Hg, Zn)
- Gartenabfall (Cd)
- Küchenabfall (Cd, Ni)
- Holzhäcksel (Pb, Zn)

Davon unabhängig scheinen diese Rohstoffwerte insgesamt keinen größeren Einfluss auf die Kompostqualität zu haben.

**Tabelle 6-8: Anforderung an den Schwermetallgehalt in Kompostausgangsmaterialien gemäß KompostVo**

Materialien		Qualitätsanforderungen an das Ausgangsmaterial und Anforderungen an die Eingangskontrolle																																
201	Schlamm aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen	<p>Pro Herkunft und angefangenen 200 t TM übernommenem Klärschlamm – mindestens jedoch alle drei Jahre – muss eine Untersuchung auf Schadstoffe durch eine befugte Fachanstalt vorliegen. Die Untersuchungen sind jeweils rechtzeitig zu veranlassen, sodass die Erfüllung der Anforderungen für jede Herkunft kontinuierlich sichergestellt werden kann.</p> <p>Dabei spielt es keine Rolle, ob die Untersuchung durch den Komposthersteller oder die Kläranlage veranlasst wurde.</p> <p>Es ist eine eigene Liste mit den fortlaufenden Untersuchungsergebnissen getrennt nach der Schlammherkunft zu führen.</p> <p><b>Grenzwerte</b> für Schlämme zur Herstellung von Kompost und Qualitätsklärschlammkompost gemäß Kompostverordnung:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Kompostart:</th> <th>Cd</th> <th>Cr</th> <th>Cu</th> <th>Hg</th> <th>Ni</th> <th>Pb</th> <th>Zn</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td colspan="7">mg je kg TM Schlamm</td> </tr> <tr> <td>Kompost</td> <td>3</td> <td>300</td> <td>500</td> <td>5</td> <td>100</td> <td>200</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>Qualitäts-Klärschlammkompost</td> <td>2</td> <td>70</td> <td>300</td> <td>2</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>1200</td> </tr> </tbody> </table>	Kompostart:	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn		mg je kg TM Schlamm							Kompost	3	300	500	5	100	200	2000	Qualitäts-Klärschlammkompost	2	70	300	2	60	100	1200
Kompostart:	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn																											
	mg je kg TM Schlamm																																	
Kompost	3	300	500	5	100	200	2000																											
Qualitäts-Klärschlammkompost	2	70	300	2	60	100	1200																											
<b>Neue Schlüsselnummern und Bezeichnung gemäß AbfallverzeichnisVo:</b>																																		
92201	Kommunale Qualitätsklärschlämme	<p><b>Grenzwerte für Qualitätsklärschlämme</b> zur Herstellung von Qualitätsklärschlammkompost gemäß Kompostverordnung:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Cd</th> <th>Cr</th> <th>Cu</th> <th>Hg</th> <th>Ni</th> <th>Pb</th> <th>Zn</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td colspan="7">mg je kg TM Schlamm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2</td> <td>70</td> <td>300</td> <td>2</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>1200</td> </tr> </tbody> </table>		Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn		mg je kg TM Schlamm								2	70	300	2	60	100	1200								
	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn																											
	mg je kg TM Schlamm																																	
	2	70	300	2	60	100	1200																											
92212	Kommunale Klärschlämme	<p><b>Grenzwerte für Klärschlämme</b> zur Herstellung von Kompost gemäß Kompostverordnung:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Cd</th> <th>Cr</th> <th>Cu</th> <th>Hg</th> <th>Ni</th> <th>Pb</th> <th>Zn</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td colspan="7">mg je kg TM Schlamm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3</td> <td>300</td> <td>500</td> <td>5</td> <td>100</td> <td>200</td> <td>2000</td> </tr> </tbody> </table>		Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn		mg je kg TM Schlamm								3	300	500	5	100	200	2000								
	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn																											
	mg je kg TM Schlamm																																	
	3	300	500	5	100	200	2000																											
202	Schlämme oder Pressfiltrerrückstände aus getrennter Prozessabwassererfassung der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelindustrie mit geringen Belastungen durch chemische Reinigungs-, Fällungs- oder Extraktionsmittel, Schlamm aus einer betriebseigenen Abwasserreinigungsanlage	<p>Bei erster Anlieferung müssen die bei kommunalem Klärschlamm (201) angeführten Parameter einmal, in weiterer Folge mindestens einmal pro Jahr bzw. nach jeder Änderung des Entstehungsprozesses untersucht werden. Werden Schlämme von verschiedenen Anlagen übernommen, so sind die Schlämme vor dem Vermischen getrennt zu untersuchen. Die angeführte Untersuchungshäufigkeit gilt für jede einzelne Anlage. Auch eine Untersuchung im Auftrag des Anlagenbetreibers - und nicht nur eine im Auftrag des Kompostherstellers - wird anerkannt, sofern die Untersuchung von einer befugten Fachperson oder Fachanstalt durchgeführt wurde.</p> <p>Es gelten die gleichen Qualitätsanforderungen wie für kommunalen Klärschlamm (201)</p>																																

Materialien		Qualitätsanforderungen an das Ausgangsmaterial und Anforderungen an die Eingangskontrolle							
<b>Neue Schlüsselnummern und Bezeichnung gemäß Abfallverzeichnis Vo:</b>									
92202	Gering belastete Schlämme aus getrennter Prozessabwassererfassung der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelindustrie <u>ausschließlich pflanzlicher Herkunft</u> mit geringen Belastungen durch chemische Reinigungs-, Fällungs- oder Extraktionsmittel, Schlamm aus einer betriebs-eigenen Abwasserreinigungs-anlage	Bei erster Anlieferung müssen die bei kommunalem Qualitätsklärschlamm (SN 92201) angeführten Parameter einmal, in weiterer Folge mindestens einmal pro Jahr bzw. nach jeder Änderung des Entstehungsprozesses untersucht werden. Werden Schlämme oder Pressfilterrückstände von verschiedenen Betrieben übernommen, so sind diese vor dem Vermischen getrennt zu untersuchen. Die angeführte Untersuchungshäufigkeit gilt für jede einzelne Herkunft. Auch eine Untersuchung im Auftrag des Anlagenbetreibers bzw. Abfallbesitzers - und nicht nur eine im Auftrag des Kompostherstellers - wird anerkannt, sofern die Untersuchung von einer befugten Fachperson oder Fachanstalt durchgeführt wurde. Es gelten die gleichen Qualitätsanforderungen wie für kommunalen Qualitätsklärschlamm (SN 92201)							
92203	gering belastete Pressfilterrückstände aus der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelindustrie mit geringen Belastungen durch chemische Reinigungs-, Fällungs- oder Extraktionsmittel								
92501	Gering belastete Schlämme aus getrennter Prozessabwassererfassung der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelindustrie <u>tierischer Herkunft</u> mit geringen Belastungen durch chemische Reinigungs-, Fällungs- oder Extraktionsmittel, Schlamm aus einer betriebs-eigenen Abwasserreinigungs-anlage								
205 neue SN: 92205	Bleicherde	Pro Herkunft und angefangenen 100 t TM ist die Einhaltung der Grenzwerte für anorganische Schadstoffe (Tabelle B.7) zu überprüfen. <u>Grenzwerte</u> für Bleicherde zur Herstellung von Kompost und Qualitätsklärschlammkompost gemäß Kompostverordnung:							
mg je kg TM									
Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn			
1	70	150	0,7	60	120	500			
301 neue SN: 92301	Fangoschlamm und -erde natürlicher Herkunft ohne Zumischungen und Verunreinigungen	Folgende Grenzwerte sind gemäß Kompostverordnung einzuhalten:							
mg je kg TM									
Cd	Cr <sub>ges</sub>	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As		
1,1	90	60	0,7	55	100	300	30		
Bei erstmaliger Verwendung ist ein Analysenzeugnis des Erzeugers anzufordern, aus dem hervorgeht, dass die oben stehenden Grenzwerte eingehalten werden.									
303 neue SN:	Pflanzenaschen (Asche aus Biomassefeuerungen)	Maximale Zugabe 2 % FM, keine Feinstflugasche.							
mg je kg TM									
Cd	Cr <sub>ges</sub>	Cu	Ni	Pb	Zn	V	Co	Mo	As
8	250	250	100	100	1500	100	100	20	20
Bei erstmaliger Verwendung ist ein Analysenzeugnis des Erzeugers anzufordern, aus dem hervorgeht, dass die oben stehenden Grenzwerte eingehalten werden.									

Materialien		Qualitätsanforderungen an das Ausgangsmaterial und Anforderungen an die Eingangskontrolle							
304 <i>neue SN:</i> 92304	Bodenaushubmaterialien und –aufschlämmungen: natürlich gewachsener, nicht verunreinigter Boden; Waschschlämme von Hackfrüchten; natürlicher Moorschlamm und Heilerde ohne Zumischungen	Maximale Zugabe 15 % FM. Folgende Grenzwerte sind gemäß Kompostverordnung einzuhalten:							
		mg je kg TM							
		Cd	Cr <sub>ges</sub>	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
		1,1	90	60	0,7	55	100	300	30
		Zu untersuchen ist vor allem im Verdachtsfall, zB bei offensichtlichen Ölverunreinigungen oder bei problematischer Herkunft; Waschschlämme nur ohne chemische Reinigungs-, Fällungs- oder Extraktionsmittel.							

### 6.2.1.3 Verunreinigung mit Fremd- und Ballaststoffen (Plastik, Metalle, Glas)

Verunreinigungen mit Fremd- oder Ballaststoffen spielen in der Regel nur bei der getrennten Sammlung biogener Abfälle aus Haushalten bzw. bei spezifischen gewerblichen Abfällen eine Rolle (zB Restaurantabfälle mit Tellern/Bechern aus Stärke oder Papier, getrennt gesammelte Friedhofsabfälle).

Die Reduktion des Störstoffanteils im BIOTONNEN-Material ist, wie die Erfahrung zeigt, nicht vollständig über eine entsprechende Öffentlichkeitsarbeit zu lösen. Der Störstoffanteil liegt in Abhängigkeit der Siedlungsstruktur zwischen 0,5 und 5 % (m/m). Störstoffe sollten weitgehend vor, während und nach Abschluss der Kompostierung ausgelesen werden, um einerseits ein optisch einwandfreies Kompostprodukt, andererseits die höchstmögliche Schadstofffreiheit zu gewährleisten.

Sortenrein (nur eine Abfallart) angelieferte organische Materialien (z. B. Grünschnitt) sind in der Regel fast frei von unerwünschten Fremdstoffen.

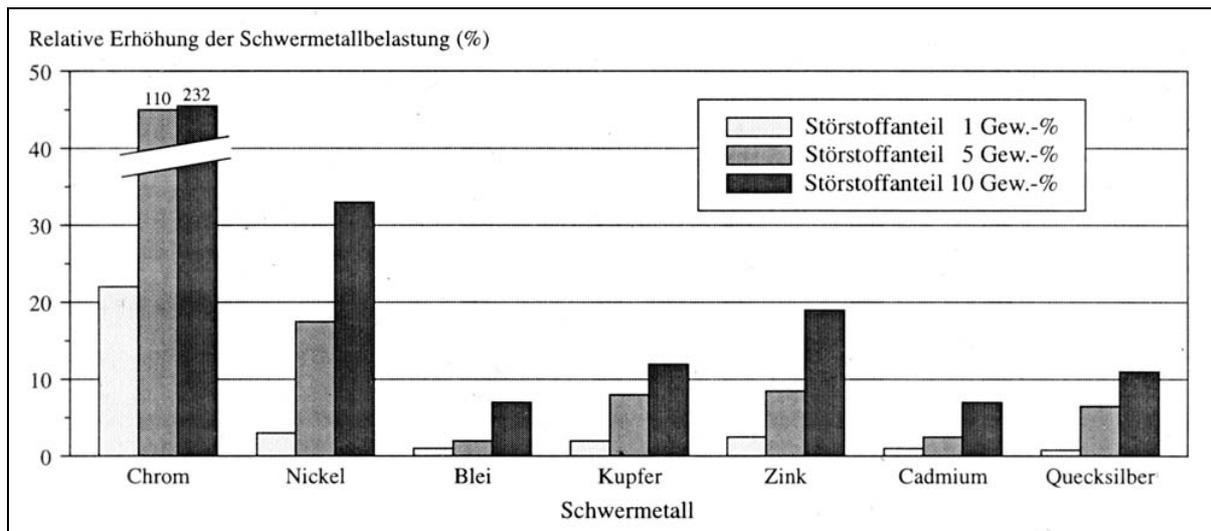
Zu den Störstoffen zählen:

- Kunststoffe
  - Plastikgebilde aus Hartplastik (i.W. aus PP, PE, PVC)
  - Plastikfolien aller Art
  - PET-Flaschen
  - Styroporverpackungen
- Metalle
  - NE-Metalle (vor allem Aluminium-Getränkedosen)
  - Eisenmetalle, Blechdosen
- Glas

Die Bedeutung der Aussortierung der mittels Sichtkontrolle erfassbaren Fremdstoffe verdeutlicht Abbildung 9-3. Das Maß der erreichbaren Reinheit hängt wesentlich vom ursprünglichen Verunreinigungsgrad ab und erreicht unter optimalen Voraussetzungen 95 %.

Metalle können von allen Fremdstoffen am stärksten zum Schwermetallgehalt im Endprodukt beitragen. In einer Untersuchung von Gronauer et al. (1997) wurden Cr (max: 52.900 [!] mg kg<sup>-1</sup>) und Ni (max: 1.100 [!] mg kg<sup>-1</sup>) mit hohen Konzentrationen in Schraubverschlüssen, Besteck und Dosen gefunden. Hg und Zn zeigten erhöhte Konzentrationen in Reifen und Löffeln. Cu kommt in hohen Konzentrationen in Nicht-Eisenmetallen vor. Hartplastik wies Cr und Hg Gehalte über den Kompostgrenzwerten in Deutschland auf (Cr: >100 mg kg<sup>-1</sup>; Hg: >1,0 mg kg<sup>-1</sup>), während die relativ höchsten Gehalte bei Cd (3,3 mg kg<sup>-1</sup>) und Zn (1.730 mg kg<sup>-1</sup>) festgestellt wurden.

Selbstverständlich ist neben der Schwermetallbelastung der einzelnen Störstofffraktionen deren Menge im gesammelten Bioabfall ausschlaggebend für die letztendliche Kompostqualität. Abbildung 6-3 zeigt den relativen Anstieg der Schwermetallkonzentration im Kompost in Abhängigkeit von 3 verschiedenen Fremdstoffniveaus im Bioabfall (1 %, 5 % und 10 % m/m).



**Abbildung 6-3: Beitrag unterschiedlicher Fremdstoffgehalte auf den Schwermetallgehalt im Kompost (Gronauer et al., 1997)**

Das Ergebnis zeigt, dass bei einem Verunreinigungsgrad von nur 1 % (m/m) der Chromanstieg bereits 20 % betrug. Zur Bedeutung der Störstoffabtrennung siehe Kap. 9.2.2.

Gemäß ÖNORM S 2201 gelten folgende Anforderungen an die Sortenreinheit bzw. den Fremdstoffgehalt für übernommenes Material:

*Es ist sicherzustellen, dass der Anteil an Stör-, Ballast- und Fremdstoffen im angelieferten Material den nachfolgenden Kompostierungsprozess und das Endprodukt nicht negativ beeinflusst.*

*Für eine möglichst geringe Verunreinigung der biogenen Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen sollte bereits in der Gemeinde durch eine effiziente Abfallberatung und durch Kontrollen während der Bioabfallsammlung gesorgt werden.*

*Als Richtwert für eine akzeptable Verunreinigung getrennt gesammelter biogener Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen gilt ein maximaler Verunreinigungsgrad von 1 % in der Frischmasse (FM).*

*Auch in dicht besiedelten Gebieten sollten 2 % in der Frischmasse nicht überschritten werden.*

*Werden die angeführten Richtwerte überschritten, ist mit einem erhöhten Sortieraufwand zu rechnen.*

*Ist die Sortenreinheit der Anlieferungen für die angestrebte Kompostqualität nicht ausreichend, so ist die Übernahme dieser Abfälle zu verweigern, sofern nicht durch vorhandene, vor allem technische Maßnahmen (zB durch Siebung, Windsichtung, Metallabscheidung) bei der Kompostherstellung der Störstoffanteil so weit gesenkt werden kann, dass eine ausreichende Qualität erreicht wird.*

#### 6.2.1.4 pH-Wert

Hohe Anteile an Küchen- oder Gemüseabfällen führen in der Startphase zu einer mehr oder weniger ausgeprägten Absenkung des pH-Wertes. Ohne entsprechende Zugabe von Grünschnitt und evtl. altem Kompost, Erde oder zB kalkhaltigem Gesteinsmehl können im Endprodukt auch pH-Werte von < 7 auftreten. In der Regel ergeben aber Komposte aus den üblichen Mischungen aus Grünschnitt und biogenen Haushaltsabfällen pH-Werte über dem Neutralpunkt (7,5 bis 8). Mit der Zugabe von Kalk sollte sehr vorsichtig umgegangen werden, da diese ein Austreiben des Stickstoffs in Form von Ammoniak bewirken kann und eine biologische Stickstoff-Einbindung, insbesondere bei pH-Werten über 8, hemmt.

#### 6.2.1.5 Nährstoffgehalt und Salzgehalt

Siehe hierzu Abschnitt 8.2.

### **6.3 Ausgangsmaterialien gemäß KompostVo**

Die Kompostverordnung regelt abschließend die Ausgangsmaterialien, die zur Herstellung von Kompost eingesetzt werden dürfen. Die 2 Hauptkategorien (Anlage 1 Teil 1 und Teil 2) unterscheiden sich hinsichtlich möglicher Gehalte an Schadstoffen und den damit einhergehenden Anforderungen an Eingangskontrolle und Herkunftsnachweise. Weiters wurden Zuschlagstoffe, die der Optimierung des Kompostierungsprozesses dienen, sowie die Anforderungen für die Herstellung von Müllkompost definiert. Für die Aufzeichnungen wurden ähnliche Ausgangsmaterialien zum Teil zu Gruppen zusammengefasst.

Eine detaillierte Beschreibung der zulässigen Ausgangsmaterialien, sowie die Anforderungen an die Eingangskontrolle sind der ÖNORM S 2201 zu entnehmen. Weitere Hinweise zu den erforderlichen Aufzeichnungen sowie Vordrucke für entsprechende Formblätter befinden sich den vom BMLFUW herausgegebenen Fachinformationen zur Kompostverordnung (BMLFUW, 2002[A37])

Mit Inkrafttreten der Abfallverzeichnisverordnungsnovelle 2005 werden die Abfallarten der KompostVo in das allgemeine Verzeichnis der Abfallarten aufgenommen. Hierbei werden in Abstimmung mit dem Gesundheitsressort die Erfordernisse der Tierischen Nebenprodukteverordnung (EG) Nr. 1774/2002 (TNP-Vo) berücksichtigt. In der KompostVo werden in der Folge die Abfallarten und deren Bezeichnung in Anlage 1 angepasst.

### **6.4 Hilfs- und Zuschlagstoffe**

#### **6.4.1 Zuschlagstoffe**

Kompostzuschlagstoffe sind organische oder mineralische Hilfsmittel, welche der Verbesserung des Rotteprozesses dienen und mengenmäßig meist eine untergeordnete Rolle spielen. Gehäckselter Baum- und Strauchschnitt oder Rinde, die als Strukturmaterial eingesetzt werden, werden nach der Definition der KompostVo nicht als Zuschlagstoff sondern als Ausgangsmaterial definiert. Im Sinne der prozesstechnischen Optimierung werden diese aber in der folgenden Tabelle mitangeführt.

Weitere Funktionen der Zuschlagstoffe sind:

- Potenzielle Reduktion der Geruchsbildung durch die Zugabe von Diabasmehl, Kalk, sonstige Gesteinsmehle, Altkompost
- Bindung von überschüssiger Feuchtigkeit (trockener Altkompost, Tonmehl, fein zerfasertes Schreddermaterial)
- Die mikrobielle Aktivierung (Beimpfung) mit Stamm- oder Altkompost, die Anregung der Humusbildung mit Tonmehl oder lehmhaltiger Erde, Nährstoffergänzung.

In Bezug auf die Qualitätsanforderungen und Mengenbegrenzungen gelten die Anforderungen der KompostVo, Anlage 1 Teil 4.

Die spezifischen Wirkungen von Kompostzuschlagstoffen auf den Kompostierungsprozess bzw. auf das Endprodukt können der Tabelle 6-9 entnommen werden.

#### **6.4.2 Hilfsstoffe**

Hilfsstoffe werden meist in kleinen, unter Umständen homöopathischen Mengen dem Rottegut mit der Zielsetzung den Rotteverlauf zu beschleunigen und/oder das Endprodukt positiv zu beeinflussen beigegeben. Der Einsatz von Komposthilfsmitteln (Kompoststarter - Bakterienpräparate mit und ohne Nährstoffe, Kalkstickstoff und sonstige stickstoffhaltige Präparate, die Einengung des C/N - Verhältnisses mit Blut-, Hornmehl oder getrocknetem Geflügelmist, Ton - und Gesteinsmehl, Kräuterextrakte,...) wird vorzugsweise bei kleinen Kompostierungen erforderlich sein, bei welchen nicht die erforderliche Vielfalt der Roh-

stoffe gegeben ist, und sich die ökologischen Lebensbedingungen für die Populationen der Mikroorganismen nicht im Optimum befinden.

Beispiele häufig verwendeter Kompostzuschlags- und -hilfsstoffe, deren Zusammensetzung bzw. Angaben über deren Wirkung sind der Tabelle 6-9 zu entnehmen.

**Tabelle 6-9: Zuschlagstoffe und Hilfsstoffe für die Kompostierung**

<b>Kompost – Zuschlagstoffe (nicht im engen Sinn der KompostVo)</b>		
<b>Bezeichnung</b>	<b>Code-Nr. KompostVo / AbfVerzVo [falls Abfall]</b>	<b>Anmerkungen / Wirksamkeit</b>
Altkompost	---	Rottebeschleunigung durch Eintrag von Mikroorganismen, Schutz vor Trockenheit
Baum - Strauchschnitt, gehäcksel	105 / 92105 67	Strukturverbesserung, Durchlüftung, Kohlenstoffquelle
Rinde, Rindenmulch	104 / 92104	Strukturmaterial, Kalk und Stickstoffzugabe erforderlich, schwer abbaubar
Sägemehl	105 / 92105 68	C - reich, Kalk- u. Stickstoffzugabe erforderlich
Stroh	106 / 92106	C - reich, Kalk- u. Stickstoffzugabe erforderlich
Pflanzenasche	303 / 92303; 92303 71; 92303 73	Eintrag von Phosphor und Kaliumcarbonat
Torf, Weiß-, Schwarztorf	---	Strukturverbesserung, Durchlüftung, hohe Wasserkapazität, sauer
Urgesteinsmehl (Granit, Lava, Porphy, Diabas, Feldspat)	301 / 92301	Spurenelementversorgung, Dauerhumusbildung, Geruchsbindung, z.T. mikrobielle Aktivierung.
Basaltmehl	301 / 92301	Spurenelementeintrag, Dauerhumusbildung
Diabasmehl	301 / 92301	Geruchsbindung, Rottebeschleunigung, Anregung der mikrobiellen Aktivität, Spurenelementeintrag, Dauerhumusbildung
Bentonite	301 / 92301	Verbesserung der Wasserkapazität, Ton-Humuskomplexbildung, Nährstoffbindung
Erde	304 / 92304	Strukturverbesserung, erhöht das Nährstoffbindungsvermögen, Anregung der Bodenorganismen und Regenwürmer
Tonerde, Lehm	304 / 92304	Verbesserung der Wasserkapazität, Ton-Humuskomplexbildung, Nährstoffbindung, Anwendung bei Sandböden
Sand, Quarz	301 / 92301	dosierte Beigabe, Strukturverbesserung, Silikatfreisetzung

Kompost - Hilfsstoffe		
Bezeichnung	Code-Nr. KompostVo / AbfVerzVo [falls Abfall]	Anmerkungen / Wirksamkeit
Bakterienpräparate	---	Impfmittel, bedingte Wirksamkeit
Kompoststarter	---	meist nährstoffreich mit und ohne Bakterienkulturen (Neubeimpfung)
Biologisch-dynamische Kompostpräparate	---	Vergleichmäßigung des Rotteprozesses; Förderung der Humifizierung
Heil- Kräuterpräparate	---	Wurmaktivierung, verhindert Fäulnis
Harnstoff, (Jauche)	---	Stickstoff rasch wirksam, neutral
Guano, Geflügelmist	---	Stickstoff-, Phosphorversorgung
Algenkalk	302 / 93302	Carbonat- u. Stickstoffquelle, basisch
Kalkstickstoff	---	Carbonat- u. Stickstoffquelle, basisch; ACHTUNG: biozide Wirkung ca. 14 Tage
Kaliumpermanganat	---	Oxidationsmittel gegen Fäulnis
Rohphosphat	---	schwer lösliche Phosphorquelle; nur zur Herstellung von Spezialkomposten mit erhöhtem P-Gehalt
Schwefelblüte	---	gegen zu hohe pH Werte, sauer
Eierschalen	108 / 92405	Nur aus Küchen und der Nahrungsmittelbereitung; Kalkversorgung
Holzkohle	---	Geruchsbindung, langsame C - Quelle
Ammonsulfat	---	Stickstoffmineraldünger, löslich, sauer
Hornspäne	112 / 92408	Nur aus der Tierkörperverwertung; Einengung des C/N-Verhältnisses, schwer lösliche organische N - Quelle
Tierhaare	112 / 92408	Keine Felle
Federn	112 / 92408	Schwer lösliche organische N - Quelle

Notwendige Vorkehrungen bei Verwendung von tierischen Abfällen bzw. tierischen Nebenprodukten im Sinne der EU-HygieneVo sind in Abschnitt 7.4 behandelt.

Weitere grundlegende Ausführungen zur biologischen und technologischen Konditionierung der Ausgangsmaterialien siehe Abschnitt 9.2.

## 6.5 Besondere Anforderungen bei der Kompostierung von Friedhofsabfällen

Getrennt gesammelte biogene Anteile des Friedhofsabfalls stellen ein wertvolles Ausgangsmaterial für die Kompostierung dar. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass vom Sammelsystem sowie über das gesamte Kompostierungsverfahren die Fremdstoffe möglichst aus dem Material entfernt werden.

Gemäß KompostVo dürfen Friedhofsabfälle nur direkt von Friedhöfen übernommen werden, auf denen „ein System zur getrennten Sammlung mit einer ausreichenden Kontrolle der Freiheit von Störstoffen wie Blumendraht, Kunststoffteilen oder -folien vorhanden ist“. Auch bei optimaler Aufstellung und Kennzeichnung der Abfallbehälter- und boxen muss bei organischen Friedhofsabfällen mit einem erhöhten Fremdstoffanteil gerechnet werden.

### **Anforderungen an die Störstoffabtrennung und Qualitätssicherung bei Friedhofsabfällen**

Je nach Qualität und Zusammensetzung der angelieferten Materialmischung haben sich folgende Schritte der Rohstoffaufbereitung bewährt:

- Aussortieren von Bäumen, großen Stauden und Betonbrocken mit einem Greifbagger
- Absiebung von Erdmaterial, welches noch an den Abfällen anhaftet, sowie von Streu und Grabriesel sowie Steinen mit einer Trommelsiebmaschine bei einer Maschenweite von 20 mm
- Anschließend am Sortierband Handauslese folgender Fraktionen:
  - Ziegel, Betonbrocken, Grabsteinreste
  - verunreinigte Kunststoffe und Kranzschleifen als Sperrmüll → zur Entsorgung
  - Metalle
  - Wurzelstöcke, die vom Beschickungsbagger nicht erfasst wurden
- Vorzerkleinerung mit langsam laufendem Schredder
- Abtrennung der Eisenmetalle (vorwiegend bereits freigelegte Kranzdrähte) mit einem nachgeschalteten Überbandmagneten
- Eventuell Zwischenabsiebung nach Abschluss der ersten Phase der Hauptrotte (je nach Intensität der Rotteführung nach 6 – 12 Wochen) bei einer Maschenweite von 25 – 35 mm
  - Der Überlauf durchläuft wieder den gesamten Kompostierungsvorgang mit Nachzerkleinern, Magnetausscheidung, Kunststoffabtrennung, Windsichter und kann in Frischmaterial eingemengt oder eigens nachgerottet werden.
- Bedingt durch das weite C/N-Verhältnis der Ausgangsmaterialien und den meist hohen Anteil an Koniferenholz und -nadeln kann die Nachrotte und erforderliche Ausreifung je nach Verwendungszweck bis zu weiteren 9 Monaten in Anspruch nehmen.
- Endabsiebung bei einer Maschenweite von jedenfalls < 15 mm, um den Störstoffanteil im Feinkompost ausreichend abzutrennen.
- Nochmalige Magnetabscheidung auch des Feinkomposts zur Entfernung von Drahtresten.

**Tabelle 6-10: Charakterisierung der Inputmaterialien für die Kompostierung nach Rotteeigenschaften und Nährstoffen (in Anlehnung an Rieß et al., 1993; Sihler, 1993; Grabbe & Schuchardt, 1993)** Die hier angeführten Materialien beschreiben charakteristische Rohstoffe wie sie traditionellerweise in der Kompostierung eingesetzt wurden und werden. Die Bezeichnungen stimmen nicht immer mit jenen der KompostVo überein. Hinsichtlich der Hygienisierung wird – insbesondere auch unter Berücksichtigung der EU HygieneVo – auf Abschnitt 7.4 verwiesen.

Reststoffart	Wertbestimmende Inhaltsstoffe	Nährstoffgehalt	C/N-Verhältnis	Verwendung als		Wassergehalt	Geruchsneigung	zu erwartender Schadstoffgehalt	Hygienisierung erforderlich		Empfehlungen
				C-Quelle	N-Quelle				Phytohygiene	Humanhygiene	
Küchenabfall	Zellulose, Eiweiß	++	15-20	-	++++	++	++++	+ / ++	+	+	Strukturmaterial zumischen
Bioabfall aus Haushalten (Bio- tonne)	Zellulose, Lignin, Eiweiß	++	20-40	++	+++	++	+++	+ / ++	+	+	Strukturmaterial zumischen
Gemüse- und Obstabfälle	Zucker, Zellulose, Eiweiß	+++	13-20	++	++ / +++++	+++	++++	+	+	-	Strukturmaterial zumischen
Lebensmittelabfälle (Großkü- che)	Zellulose, Eiweiß	+++	12-20	+	++ / +++++	+++	++++	+ / ++	+	++	Strukturmaterial zumischen
Streu und Kot von Haustieren	Lignin, Zellulose, Eiweiß, Ton	++	++	++	- / ++	+	+++	+ / ++	-	++	intensiv mit weiteren Reststof- fen abmischen, Erde und Kom- post vormischen
Altpapier, Kartonagen	Zellulose, Lignin	+	> 60	+++	-	-	-	+ / +++ (Tiefdruck- erzeugnisse; Chlorbleiche)	-	-	Strukturmaterial und Nährstoff- träger zumischen, nicht mehr als 10 %
Rasenschnitt (jung)	Zellulose, Eiweiß	++++	12-25	+	+ / +++++	+++	+++	- / +++++ (Straßen- begleitgrün)	+	+	Strukturmaterial zumischen, anwelken
Mähgut (alt, Straßenmeisterei)	Zellulose, Lignin	+ / ++	15-30	++	- / +++++	++	++	- / +++++ (Straßen- begleitgrün)	+	-	Strukturmaterial und Nährstoff- träger zumischen; ggf. anwel- ken
Strauch- und Baumschnitt	Zellulose, Lignin	++	100-150	+++	- / +	+	+	- / ++ (Emissions- standorte)	-	-	Eiweißträger zumischen
Laub (Gärten, Kommune)	Zellulose, Lignin, Gerb- stoffe	++	30-60	+++	+ / +++++	+	+	- / +++++ (Emissions- standorte)	-	-	Strukturmaterial zumischen Eiweißträger zumischen
Rinde	Zellulose, Lignin, Gerb- stoffe	+	100-130	+++	- / +++++	-	-	+ / ++ (Zn, Cr, Pestizide)	+	-	Eiweißträger zumischen
Holzhäcksel (Altholz, Säge- werk)	Lignin	+	100-500	+++	-	-	-	+ / ++ (Pestizide)	-	-	Eiweißträger zumischen
Traubentrester	Zellulose, Lignin, Eiweiß	+++	16-30	++	++	++	-	+ (evtl. Cu)	-	-	vormischen mit Erde oder Kompost
Obsttrester	Zellulose, Lignin, Eiweiß	++	45-50	++	++	++	+	+	-	-	Strukturmaterial zumischen
Schlempe (Obst, Getreide, Kartoffel)	Zellulose, Lignin, Eiweiß	+++	+++	++	++++	++	++	+	-	-	Strukturmaterial zumischen
Filtrationskieselgur (Kelterei ..)	Kieselgur, Eiweiß	-	2-6	-	+++	+++	-	+ (ggf. Asbest)	-	-	positiver Einfluss auf die Pflan- zengesundheit

Tabelle 5–11 (Fortsetzung)

Reststoffart	Wert- bestimmende Inhaltsstoffe	Nährstoff- gehalt	C/N- Verhältnis	Verwendung als		Wasser- gehalt	Geruchs- neigung	zu erwartender Schadstoff- gehalt	Hygienisierung erforderlich		Empfehlungen
				C- Quelle	N- Quelle				Phyto- hygiene	Human- hygiene	
Getreideabfälle (Schalen, Spelzen)	Zellulose, Lignin	++	18-25	+++	-	-	-	+	+	-	Strukturmaterial und Eiweißträger zumischen
Melasse (Zuckerindustrie)	Zucker	+++	+++	+	++	++++	+	+	-	-	als Nährstoffzusatz geeignet
Vinasse (Hefeindustrie)	Kohlenhydrate, Eiweiß	++++	3-5	+	+++	-/++++	+	+	-	-	als Nährstoffzusatz geeignet
Rübenerde	Mineralstoffe	++	++	+	+	+/++++	-	+	++	-	Strukturmaterial zumischen
Panseninhalt	Zellulose, Eiweiß, Bakterienflora	++++	3-5	+	+++	++++	++	+	-	++	Strukturmaterial zumischen, abpressen
Borsten, Hornabfälle	Eiweiß	+++	3-6	+	+++	-	++	+	-	++	zerkleinern, als Nährstoffzusatz geeignet
Knochenabfälle	P, Ca, Eiweiß	+++	+++	+	+	-	-	+	-	++	zerkleinern, als Nährstoffzusatz geeignet
Pilzmycel (Pharmazeut. Industrie)	Glucosamin (Chitin)	++++	1-5	+	+	+	++	+ (Penicillin)	-	-	Strukturmaterial zumischen
Tabakabfälle	Zellulose, Eiweiß	++/+++	18-24	++	++	-	-	++ (Nikotin)	-	-	Strukturmaterial, Erde oder Kompost zumischen
Kakaoschalen	Zellulose, Lignin	+++	20	++	++	-	-	++	-	-	Andere Grünschnitte/ Biotonne, Erde oder Kompost zumischen
Ölsaatenrückstände	Zellulose	++	40	++	+	+	+	+ (Extraktionsmittel)	-	-	Strukturmaterial zumischen
Gärrückstände	Je nach Input	++/+++	10-25	++	++	++++	++	+ (je nach Input)	-	+	Strukturmaterial zumischen, abpressen
Kommunaler Klärschlamm	P, N	++/+++	8-12	+	+++	++++	+/+++	+++ (evtl. org. Schadstoffe)	+	+++	Hygienisierung je nach Vorbehandlung; Strukturmaterial: > 50 % (v/v)
<b>Legende:</b>	-	+	++	+++	++++						
<b>Nährstoffgehalt/Geruchsneigung</b>	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch						
<b>C/N-Verhältnis</b>	sehr weit	weit	mittel	eng	—						
<b>Geeignet als C- od. N-Quelle</b>	ungeeignet	geeignet	gut geeignet	sehr gut geeignet	—						
<b>Wassergehalt</b>	zu trocken	gering	mittel	hoch	zu feucht						
<b>Schadstoffgehalt</b>	sehr gering	gering	mittel	hoch	—						
<b>Hygienisierung erforderlich</b>	bedenklich	eingeschränkt unbedenklich	bedenklich	—	—						

## 7 Emissionen bei der Kompostierung und Grundsätze eines emissionsarmen Betriebes

Eine umfassende Umweltsicherung und die Einhaltung allgemeiner Umweltstandards werden für sämtliche abfallwirtschaftliche Behandlungsverfahren gefordert. Unter Emissionen versteht man die von einem Behandlungsprozess über die flüssige Phase oder über die Luft ausgehenden stofflichen Austräge. Die Beurteilung deren Schädlichkeit hängt neben den Eigenschaften des emittierten Stoffs selbst vor allem von

- dessen Konzentration,
- dem Ort der Immission (Ort des Eintrags),
- der Sensibilität des jeweiligen „betroffenen Schutzgutes“ (Umweltkompartiment, Konsument)

ab.

Es müssen rein objektive (Prozesswasseraustrag in Grund- und Oberflächengewässer, Staub- und Keimemissionen, Emission von Luftschadstoffen) Auswirkungen/Emissionen auf die Umwelt bzw. den Menschen von jenen unterschieden werden, bei denen zum Teil subjektive Kriterien im Vordergrund stehen (Geruchs- und Lärmemissionen).

Bei der Vorschreibung von Maßnahmen zur Emissionsminderung muss das *Prinzip der Verhältnismäßigkeit* angewendet werden. Es ist EU-Konsens, dass die biologische Abfallwirtschaft insbesondere mit der getrennten Sammlung einen wertvollen Beitrag zur stofflichen Verwertung darstellt. Österreich hat seit den 90er Jahren mit dezentralen, kleinräumigen Lösungen (zB *Landwirtschaftliche Kompostierung*) ein sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch erfolgreiches Konzept umgesetzt. Gerade in diesem Kontext müssen die geforderten Maßnahmen in einem wirtschaftlich nachhaltig tragfähigen Verhältnis zu dem Reduktionseffekt stehen. Dies entspricht dem Grundsatz der wirtschaftlichen Verhältnismäßigkeit bezüglich eines Verwertungsverfahrens, wie er im Österreichischen Abfallwirtschaftsgesetz § 1(2) formuliert ist.

In Kombination mit dem Vorsorgeprinzip des § 1(1), die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich zu halten, heißt dies:

*Wenn die Verwertung getrennt gesammelter biogener Abfälle über die Kompostierung grundsätzlich als ökologisch zweckmäßig anerkannt wurde, dann sind die Umweltstandards und die zu deren Einhaltung erforderlichen Technologien so abzustimmen, dass hinsichtlich des tatsächlichen Emissionspotenzials (Geruch, VOC, THG) für dessen Reduktion nicht überproportionale Anforderungen entstehen.*

Im folgenden Abschnitt werden die im Zuge der Kompostierung auftretenden Emissionen systematisch beschrieben und die emissionsmindernden Maßnahmen nach dem Stand des Wissens und der Technik zusammengefasst.

Dabei wird zwischen technisch-konstruktiven Maßnahmen und solchen der Betriebsführung und der Prozesssteuerung unterschieden.

Eine erste, grobe Einteilung der Emissionen einer Kompostierungsanlage lässt sich nach den grundsätzlichen Emissionspfaden vornehmen:

- Wasser (Sickersäfte, niederschlagsbedingte Auswaschungen, Kondenswasser u.a.)
- Boden (Schadstoffe im Kompost)
- Luft (Gerüche, Staub, Keime, organische und anorganische Luftschadstoffe, Lärm)

Die zu berücksichtigenden Emissionen in der Kompostierung sind:

- Geruchsemissionen
- Flüssige Emissionen
- Keimemission
- Staubemissionen
- Organische u. anorganische Luftschadstoffe (inklusive klimarelevanter Gase)
- Lärmemissionen

In Tabelle 7-1 sind die relevanten Emissionen und ihre sich aus dem Betriebsablauf einer Kompostanlage ergebenden Anfall- bzw. Austrittsstellen dargestellt (s.a. Abbildung 7-1).

**Tabelle 7-1: Emissionsrelevante Verfahrensteile bei der Kompostierung**

Verfahrensschritt	Aggregat/ Anlagenteil	Emissionen <sup>2)</sup> über		
		Wasser	Boden	Luft <sup>3)</sup>
Anlieferung	Übernahmebereich (zB Flachbunker)	Press-/Sickerwässer	Keine **	Gerüche, Lärm (Staub) (Keime)
Vorbehandlung Grobaufbereitung	Siebung, Störstoff- abtrennung, Mi- schung etc.	Press-/Sickerwässer Kondenswässer aus Abluftbehandlung	Keine **	Gerüche, Lärm (Staub) (Keime)
Hauptrotte (Intensivrotte)*	Reaktor, Tunnel, Trommel (Mieten)	Press-/Sickerwässer Kondenswässer	Keine **	Gerüche, Staub Keime (Lärm)
Nachrotte	Mieten (evtl. einge- haust) (Reaktor, Tunnel)	Press-/Sickerwässer (Kondenswässer)	Keine **	(Gerüche), Keime (Staub) (Lärm)
Konfektionierung Feinaufbereitung	Siebung, Hartstoff- abscheidung etc.	keine	keine	(Gerüche), Staub, Keime, Lärm
Endprodukt	Kompostlager	keine <sup>1)</sup>	Schwermetalle, andere Schadstoffe	(Gerüche), Staub (Keime) (Lärm)

<sup>1)</sup> Zur Anforderung der Überdachung gegen Vernässung in niederschlagsreichen Gebieten siehe Abschnitt 9.6  
<sup>2)</sup> Angaben in *(Klammern)* bedeuten einen eingeschränkten bzw. verfahrensspezifischen Anfall  
<sup>3)</sup> die Freisetzung sonstiger Luftschadstoffe ist hauptsächlich bei der Rotte zu erwarten  
\* Intensivrotte wird nur jener Rotteabschnitt der Hauptrotte bezeichnet, der unabhängig von der Selbsterwärmung des Rottegutes in technisch unterstützten (zwangsbelüfteten, bzw. gekapselten) Anlagenteilen durchgeführt wird.  
\*\* unter der Voraussetzung, dass es sich um eine Fläche mit Basisabdichtung (Dichtflächen) handelt

Hauptquellen für **Press- und Sickerwässer** sind der Übernahmebereich bei schwacher Struktur des Bioabfalls aber auch Aufbereitungsaggregate, wie Misch- oder Rottetrommeln, und der Rotteteil eines Kompostwerkes. Kondenswässer fallen hauptsächlich in den Aggregaten der Abluftführung und -reinigung (bei gekapselten Prozessabschnitten), aber auch an den Oberflächen von Bauteilen und Maschinenteknik in geschlossenen Rottehallen bzw. -aggregaten an.

**Geruchsstoffe** aber auch andere leichtflüchtige Substanzen werden über den Luftpfad emittiert. Sie entstehen sowohl im Übernahme-, Aufbereitungs- und im gesamten Rottebereich, hauptsächlich aber in der Hauptrotte. Kritische Punkte im Verfahrensablauf sind hierbei alle Stellen, an denen das Kompostmaterial bewegt bzw. umgeschichtet wird. Bei geschlossenen Rottesystemen stellt der (Bio-)Filter die Hauptquelle der Geruchsemissionen dar. Ein kritisches Moment ist hier das Auslagern des Rottegutes aus gekapselten Hauptrottebereichen im Falle nicht ausreichender Stabilisierung geruchsrelevanter Stoffe.

**Staub- und Keimemissionen** können im Übernahmebereich, bei der Inputvorbehandlung, beim Umsetzen und bei der Konfektionierung des Kompostes und im Lagerbereich auftreten. Eine Umhausung einzelner Anlagenteile, wie Bunker, Vorbehandlung und Feinaufbereitung, die gezielte Absaugung von Einzelaggregaten (Siebe, Übergabestellen, Hartstoffabscheider etc.) und die Entstaubung der zugehörigen Abluftströme können je nach Anlagenstandort empfehlenswert sein.

**Organische und anorganische Luftschadstoffe sowie klimarelevante Gase** werden im wesentlichen im gesamten Rottebereich, hauptsächlich aber zu Beginn der Hauptrotte emittiert. Typische organische Verbindungen sind biologisch gebildete, flüchtige Stoffwechselprodukte, wie Aceton, Ethanol, 2 Butanon und Limonen (VOC). Die organische Hauptkomponente ist jedoch nicht selten das Methan (CH<sub>4</sub>). Von den möglichen anorganischen Luftschadstoffen ist hier lediglich Ammoniak (NH<sub>3</sub>) zu nennen. Hinzu kommt das klimarelevante Lachgas (N<sub>2</sub>O), das im Zuge der Nitrifikation und Denitrifikation als Zwischenprodukt gebildet wird.

**Lärmemissionen** werden in allen Anlagenteilen von der dort eingesetzten Maschinenteknik verursacht. Hierbei sind besonders zu nennen alle dieselbetriebenen Aggregate (Radlader, mobile Zerkleinerungs- und Siebaggregate), aber auch Ventilatoren für die Zu- und Abluftströme.

Der **Kompost** selbst ist in zweierlei Hinsicht als Emissionsträger einzustufen:

- Eintrag der bereits im Inputmaterial enthaltenen und nicht während der Rotte abgebauten potenziellen Schadstoffe in den Boden und
- Staub und Keimemissionen (v.a. Pilzsporen) im Zuge der Ausbringung von trockenen Komposten.

Die wesentlichen Einflussgrößen auf die Außenwirkung einer Kompostierungsanlage sind neben der Auswahl eines möglichst unproblematischen Standortes und einer auf die örtlichen Gegebenheiten angepassten Planung

- der Anlagendurchsatz (Bearbeitungskapazität und Durchsatzleistung in Hinblick auf die Tages-Inputmenge),
- die Art der verarbeiteten Abfälle (Materialeigenschaften),
- das gewählte Rotteverfahren (Personalaufwand, technische Ausstattung),
- der Grad der Einhausung von geruchsemitterenden Anlagenteilen,
- die erzielte Reinigungsleistung (Abscheidung) in Abluftströmen aus eingehausten Anlagenteilen und
- die Betriebsführung (betriebliche Maßnahmen bei der Rotteführung und Materialmanipulation bzw. hinsichtlich emissionsmindernder Maßnahmen).

Die wesentlichen Einflussgrößen hinsichtlich Menge und Umweltrelevanz sind:

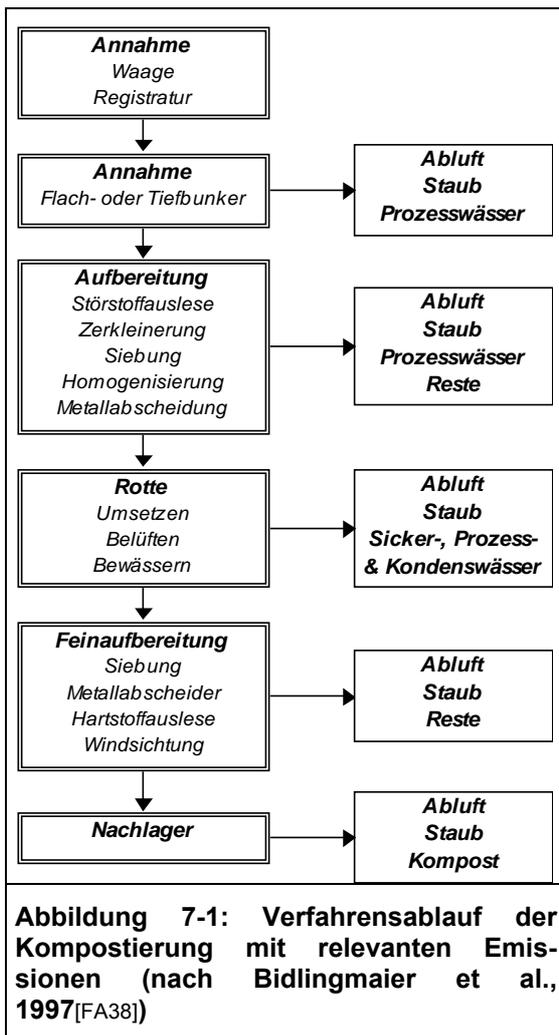
- Standort
- Eigenschaften der zu verarbeitenden Materialien (siehe auch Abschnitt 6.1)
- Bearbeitungskapazität (Maschinen/Personal) und die erforderliche Tages- bzw. Wochen-Durchsatzleistung, samt diesbezüglicher Reserven
- Technische Ausstattung und Maßnahmen in den einzelnen Rotteabschnitten und Anlagenteilen
- Betriebliche Maßnahmen der konkreten Rotteführung und Materialmanipulation u.a. hinsichtlich emissionsmindernder Maßnahmen.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass eine Vielzahl der hier beschriebenen Voraussetzungen für einen ordnungsgemäßen Betrieb und die entsprechende Dokumentation oft mehrere Teilanforderungen zugleich erfüllen. So werden zB mit einer sauberen Betriebsführung, einer zügigen Materialaufarbeitung und einer bedarfsgerechten Materialmischung und Bewässerung die Anforderungen an Geruchsmanagement, Hygienisierung und Reduktion der Keimemissionen gleichermaßen erfüllt.

Ein Überblick zu den relevanten Emissionen im Betriebsablauf ist in Abbildung 7-1 dargestellt.

Die einzelnen Verfahren und Verfahrensschritte können hinsichtlich emissionspezifischer Merkmale nach folgenden betrieblichen Rahmenbedingungen differenziert werden:

- Ausgangsmaterial differenziert nach den generellen Kriterien
  - Feuchtigkeitsgehalt; Dichte (Strukturfestigkeit), Stickstoffgehalt (C/N)
- sowie nach speziellen Kriterien:
  - Biotonne differenziert nach Winter/Sommerbetrieb und Standzeit (Abholrhythmus)
  - Grünschnitt (Grasschnitt, Laub, Baum- und Strauchschnitt u.a.)
  - reine Rindenkompostierung
  - Klärschlamm aus aerober bzw. anaerober Stabilisierung
  - Gärrückstand aus der anaeroben Behandlung
  - Mist
  - gewerbliche Abfälle aus der Futtermittel und Lebensmittelverarbeitung
- Standortbedingungen hinsichtlich
  - Ausbreitungsverhältnisse für Geruchsstoffe
  - Lage zu Nachbarn (Immissionsbetrachtung)
- Mengendurchsatz (Größe der Anlage)
- Vorlager/Zwischenlagererfordernis für Ausgangsmaterialien (zB typischerweise für Klärschlämme oder verholzte Garten- und Parkabfälle bzw. Häckselgut)



## 7.1 Die Bedeutung des Anlagenstandorts

Die Anforderungen an den Standort einer Kompostierungsanlage orientieren sich zwangsläufig daran, über welche emissionsmindernde Einrichtungen und Möglichkeiten das jeweils gewählte System verfügt. Hinsichtlich der *Nachbarschaft* sind die Emissionen in folgender Reihenfolge mit zunehmender Standortabhängigkeit:

*Geruch > Keimemissionen > Staub > Lärm > Abwasser*

Prozess- und Niederschlagswasser spielen hinsichtlich des Standortes eine untergeordnete Rolle, da mit Ausnahme der Kompostierung geringer Mengen an reinem Strauch- und Baumschnitt sowie Rinden die Rotteflächen flüssigkeitsdicht mit einer geordneten Oberflächenwassererfassung auszuführen ist (siehe Mindestanforderungen in Abschnitt 9.3.2). Selbstverständlich müssen Niederschlagshöhe und -verteilung hinsichtlich der Notwendigkeit der Überdachung zur Aufrechterhaltung einer ordnungsgemäßen Rotteführung berücksichtigt werden. Siehe hierzu Abschnitte 9.1.3, 9.3.2, 9.4.3 und 9.6.3.

Die allgemeinen Rahmenbedingungen und emissionsmindernden Maßnahmen werden in den Abschnitten 7.2 bis 7.7 behandelt. Wo erforderlich, werden die spezifischen Anforderungen der einzelnen Rotteabschnitte in Abschnitt 9 ergänzt.

Die für die Beurteilung möglicher Geruchs-, Keim-, Lärm- oder Staubemissionen gestellten Anforderungen an Verfahrenstechnik und Betriebsführung müssen immer auch die standörtlichen Bedingungen mitberücksichtigen.

Insbesondere in der Frage der Geruchsemissionen ist eine standortunabhängige Beurteilung wissenschaftlich und sachlich nicht haltbar und daher abzulehnen.

Das wurde bereits in der ÖNORM S 2205 „Technische Anforderungen an Kompostierungsanlagen zur Verarbeitung biogener Abfälle“ berücksichtigt. ZB wurde ein standortbezogenes Geruchsemissionsgutachten nur in bestimmten Einzelfällen als erforderlich angesehen, oder wenn die Wohnbevölkerung innerhalb von 300 m betroffen ist. Aufbauend auf diesen Erfahrungen wird ein standort- und materialabhängiges Beurteilungsschema in Abschnitt 7.2.9 vorgeschlagen.

## 7.2 Geruchsemissionen

Bei allen Kompostierungsverfahren kommt es selbst bei ordnungsgemäßer Betriebsführung und Anlagenausstattung zu Geruchsemissionen. Potenzielle Geruchsquellen sind bei der Anlieferung, Lagerung und Manipulation von in biologischer Umsetzung befindlichem Material gegeben.

### 7.2.1 Geruchsemissionen und Anlagenstandort

Emissionen von Geruchsstoffen sind heute ein zentrales Problem in der "Technischen Kompostierung". Schon bei der Anlieferung der Abfallstoffe können abfallspezifische flüchtig-chemische Substanzen und auch Gärungsstoffwechselprodukte freigesetzt werden. Fettsäuren, wie Essigsäure, Buttersäure, Valeriansäure etc., treten besonders während der ersten Rottephase auf und können bei Umsetzungsvorgängen oder durch Zwangsbelüftung an die Außenluft abgegeben werden.

Eine hinsichtlich Gerüchen bereits übersensibilisierte betroffene Bevölkerung lehnt meist jedwede Geruchsemission ab - also auch eine solche, die gerade erst an der Geruchsschwelle liegt. Tatsache ist, dass der Mensch in Abhängigkeit von seiner psychischen und physischen Verfassung, aber auch seinem Lebensalter, Gerüche unterschiedlich stark wahrnimmt. Nach den Erfahrungen von Amann (2003<sup>[SP39]</sup>) ist die Geruchswahrnehmung jedoch nicht so stark streuend und weder vom Alter noch vom psychischen oder physischen Zustand abhängig, abgesehen von einer leicht sinkenden Tendenz in höherem Alter. Auch fand Amann (2003<sup>[SP40]</sup>) kaum Unterschiede zwischen Rauchern und Nichtraucher. Die Reaktionen auf die Geruchsemission bzw. die subjektive Einstufung der Belästigungsschwelle sind jedoch sehr unterschiedlich. Die objektive Beurteilung einer Geruchsemission ist sogar für jemanden, dem wissenschaftliche Methoden zur Verfügung stehen, äußerst schwierig.

Natürliche Belüftung, wie sie bei offenen Rottesystemen angewendet wird, benötigt, wenn die Rotte sorgfältig durchgeführt wird, keine spezielle Abluftentsorgung; die beim Umsetzungsvorgang freigesetzten Geruchsstoffe können jedoch in Abhängigkeit von ihrer Intensität und der vorherrschenden Witterung die nächste Umgebung belasten. Eine anstelle des oftmaligen Umsetzens vorgenommene drückende Zwangsbelüftung kann im Fall offener Systeme nur dann ohne entsprechende geruchsmindernde Maßnahmen durchgeführt werden, wenn die Zuluftmenge dem tatsächlichen Sauerstoffbedarf sehr differenziert angepasst werden kann. Nur so können die beim Rotteprozess entstehenden geruchintensiven Stoffwechselprodukte im Außenbereich des Mietenkörpers wieder abgebaut werden - dieser ca. 20 cm starke Randbereich ist sehr stark mit geruchstoffabbauenden Mikroorganismen besetzt und wirkt in diesem Fall als GeruchsfILTER (hierbei spielen die Mietengröße und die Materialzusammensetzung eine wichtige Rolle). Diese Vorgangsweise erfordert einen großen Betreuungsaufwand und ein entsprechendes Verständnis für den biologischen Prozess. Für offene Systeme ist daher grundsätzlich eine ausreichende Entfernung von geschlossenen Siedlungsgebieten erforderlich (siehe Abschnitt 6.2.9). Anderenfalls ist ein detailliertes Emissions- und Immissionsgutachten zu erstellen.

### 7.2.2 Eigenschaften von Geruchsstoffen

Nach Jager et al. (1995) zählen die meisten der insgesamt bekannten Geruchsstoffe zu den organischen Verbindungen (zB Kohlenwasserstoffe, sowie sauerstoff-, schwefel- und stickstoffhaltige Verbindungen, ätherische Öle etc.). Aber auch eine geringe Zahl von anorganischen Substanzen (zB Schwefelwasserstoff, Ammoniak) löst Geruchseindrücke aus, während von den chemischen Elementen nur die Halogene (Fluor, Chlor, Brom und Jod), Phosphor und Arsen sowie Sauerstoff in der Form von Ozon riechen.

Eine Einordnung von Geruchsstoffen nach chemischen oder physikalischen Merkmalen, die es ermöglichen, eine Auswahl bezüglich der Stärke oder der hedonischen Tönung<sup>5</sup> zu treffen, steht allerdings bis heute aus. Jager & Zeschmar-Lahl (1993) weisen zB darauf hin, dass Verbindungen mit sehr ähnlicher

---

<sup>5</sup> Hedonische Wirkung: Wirkung eines Geruchstoffes, die durch eine einordnende Bewertung des Reizes zwischen den Merkmalspolen „äußerst angenehm“ und „äußerst unangenehm“ erfasst wird (VDI-Richtlinie 3882, Blatt 2).

molekularer Struktur verschiedene Geruchseindrücke hervorrufen können, während Substanzen, die sich von ihrer Struktur her deutlich unterscheiden, ähnlich riechen. So hängt offensichtlich der Geruch makrozyklischer Verbindungen mehr von der Ringgröße ab, als von den funktionellen Gruppen. Der Geruchseindruck ringförmiger aliphatischer Ketone verändert sich beispielsweise mit zunehmender Ringgröße im Geruchseindruck von "Minze" über "Campher" und "Holz" bis hin zu "Moschus" (Jäger & Zeschmar-Lahl, 1993). Hingegen kommt bei Benzolderivaten der Stellung der Substituenten eine größere Bedeutung zu als deren Art.

Daher lassen sich bisher nur Basiseigenschaften von Geruchsstoffen darstellen, die jedoch hauptsächlich mit den Transportbedingungen über die Atmosphäre und in der Nase bis zur Auslösung eines Geruchseindrucks zu tun haben und nur wenig mit einer chemisch/physikalischen Klassifikation im Sinne einer analytischen Erkennbarkeit des Geruchs. Damit ein Stoff einen Geruchseindruck hervorrufen, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein (Jäger et al., 1995; VDI, 1986a):

- **Niederes Molekulargewicht:** Die etwa 30.000 bekannten riechenden Substanzen haben ein Molekulargewicht unter 300 (Herberhold, 1995).
- **Hinreichende Flüchtigkeit:** Es müssen genügend Geruchsmoleküle in der Atemluft vorhanden sein, um in die Nase zu gelangen und dort einen Reiz auszulösen. Die Flüchtigkeit einer Substanz (Dampfdruck) ist stark temperaturabhängig, weshalb mit zunehmender Temperatur vermehrt Geruchsstoffe freigesetzt werden (siehe auch Selbsterwärmung beim Kompostierungsprozess).
- **Hinreichende Wasserlöslichkeit:** Die Riechschleimhaut in der Nase besitzt eine wässrige Schicht, die am besten durchdrungen werden kann, wenn der Geruchsstoff wasserlöslich<sup>6</sup> ist.
- **Fettlöslichkeit:** Die fetthaltige Membran der Riehzellen kann von fettlöslichen Geruchsstoffen leicht durchdrungen werden. Daher begünstigt eine gute Fettlöslichkeit die Wahrnehmung.
- **Vorhandensein funktioneller Gruppen und Strukturen:** Am Rezeptor des olfaktorischen Systems der Nase muss eine Reaktion ausgelöst werden, um einen Geruchseindruck auszulösen. Diese Reizauslösung kann zB von osmophoren Gruppen aber auch durch Doppelbindungen und aromatische Systeme erfolgen (Bartsch et al., 1997).

Nachfolgend werden aus der einschlägigen Literatur bekannte Zusammenhänge zwischen der chemischen Struktur von Geruchsstoffen und dem wahrnehmbaren Geruchseindruck bzw. der Geruchsschwelle dargestellt. Tabelle 6.2 gibt einen Überblick über verschiedene Geruchsstoffe, die bei der biologischen Abfallbehandlung, der Abwasserreinigung und in Deponiegasen anzutreffen sind und zeigt deren charakteristischen Geruch sowie die Geruchsschwellenwerte in Luft bzw. in Wasser.

Grundsätzlich nimmt mit zunehmender Anzahl der Kohlenstoffatome der Geruchsschwellenwert ab, wie auch die Wasserlöslichkeit von der Kettenlänge abhängig ist (Ranson, 1989; Schnabel, 1982). Die niedrigsten Schwellenwerte sind bei Verbindungen mit zwischen 6 und 12 Kohlenstoffatomen zu finden. Der Geruchseindruck von Aldehyden verändert sich ebenfalls mit steigender Anzahl von Kohlenstoffatomen: Bittermandelartige Gerüche verändern sich zu seifig/fruchtig oder metallisch, "grüne" Geruchsnoten zu "biskuitartig".

Stechender Geruch trat nur bei kleinen Molekülen mit höchstens fünf Kohlenstoffatomen bei den untersuchten Substanzen (Alkohole, Aldehyde, Ketone) sowie bei einer Säure und einem Ester auf. Ätherische Gerüche wurden bei einer Reihe von Alkoholen, Aldehyden, Ketonen, Estern und Säuren gefunden, die mit Ausnahme verzweigter Ester nicht mehr als acht C-Atome aufwiesen. Bei geradkettigen Aldehyden und Säuren ergab sich dagegen kein überwiegend ätherischer Geruch. Fruchtig riechende Verbindungen kamen bei geradkettigen und verzweigten Alkoholen, Ketonen und Estern, nicht jedoch bei Säuren und Aldehyden vor, wobei auffiel, dass sich die Gesamtkohlenstoffzahl bei ätherisch und fruchtig riechenden Substanzen entsprach und bei vier bis acht C-Atomen lag (Schnabel, 1982).

Bei den niederen Karbonsäuren Ameisen-, Essig- und Propionsäure (ein bis drei C-Atome), die im Rotteprozess v.a. in der Anfangsphase und bei unzureichender Sauerstoffversorgung auch im älteren Rottegut

---

<sup>6</sup> Neuere Untersuchungen schreiben der Wahrnehmbarkeit unpolarer, d.h. nicht wasserlöslicher Duftstoffe, dem Vorhandensein von speziellen Proteinen in der Nasenschleimhaut zu. Diese Proteine sollen Geruchsstoffmoleküle, die nicht ohne weiteres in Wasser löslich sind, binden und damit deren Lösung im Nasenschleim ermöglichen [Brand, 1995].

auftreten, ist ein intensiver, stechender Geruchseindruck festzustellen (Balderas, 1991). Niedere Fettsäuren mit 4 bis 9 Kohlenstoffatomen (v.a. Butter-, Valerian- und Capronsäure) sind in Abhängigkeit von der Temperatur flüssig bis fest und stark übelriechend, während höhere Fettsäuren (10 und mehr C-Atome, zB Dekan-, Palmitin- und Stearinsäure) kein Geruchserlebnis auslösen. Die Wasserlöslichkeit nimmt in der Reihe der Karbonsäuren ab dem 5. Kohlenstoffatom ab. Hervorzuheben ist dabei die extrem niedrige Geruchsschwelle von Butter- und Valeriansäure, die auch bei Rotteprozessen freiwerden.

Eine weitere Gruppe von Geruchsstoffen kann auf Maillard-Reaktionen bei Temperaturen über 80 °C zurückgeführt werden. Diese Reaktionen, die auch im Kompostierungsprozess bei einer überhitzten Rotte (Heißrotte) auftreten, werden auch als nicht-enzymatische Bräunung bezeichnet. Sie kommen zwischen Zucker- und Eiweißverbindungen vor und produzieren zahlreiche flüchtige Verbindungen mit teilweise sehr niedriger Geruchsschwelle. Eine wichtige Gruppe dieser Verbindungen sind stickstoffhaltige Heterocyclen, wie Pyridine und Pyrazine, aber auch die Bildung der sehr geruchsintensiven Furanone kann auf Maillard-Prozesse zurückgeführt werden (Mayer, 1990).

Der bestimmende Geruch der Mischung "Rottegas", die je nach Rottestadium starken Schwankungen in der stofflichen Zusammensetzung des "riechenden Prinzips" unterworfen ist, kann von nur sehr geringen Anteilen einzelner Substanzen erzeugt werden, was die Suche nach Leitsubstanzen für die jeweils auftretenden Gerüche extrem schwierig macht. Die zudem auftretenden synergistischen und kompensatorischen Wirkungen verschiedener Geruchsstoffe in Mischungen tragen nicht eben zur Vereinfachung dieser Suche bei.

**Tabelle 7-2: Ausgewählte Geruchsstoffe und deren Geruchsschwellenwerte (zusammengestellt nach Haug, 1980 und Mayer, 1990; umgerechnet auf mg m<sup>-3</sup> Luft)**

Chemische Verbindung		Geruchsschwelle [mg m <sup>-3</sup> ] in Luft (20 °C, 1013 hPa)	Geruchseindruck, charakteristischer Geruch
<b>Aldehyde</b>	Acetaldehyd	0,00482 mg m <sup>-3</sup>	stechend, fruchtig
	Benzaldehyd		mandelartig
	Salicylaldehyd		seifig, medizinisch
<b>Alkohole</b>	Phenylethanol		blumig, seifig
<b>Amine</b>	Butylamin		sauer, ähnlich Ammonium
	Cadaverin		faulig, verwesendes Fleisch
	Dibutylamin	0,01928 mg m <sup>-3</sup>	fischig
	Diisopropylamin	0,004218 mg m <sup>-3</sup>	fischig
	Dimethylamin	0,056635 mg m <sup>-3</sup>	fischig, faulig
	Ethylamin	1,00015 mg m <sup>-3</sup>	nach Ammoniak
	Methylamin	0,025305 mg m <sup>-3</sup>	fischig, faulig
	Putrescin		faulig, ekeleerregend
	Triethylamin	0,0964 mg m <sup>-3</sup>	fischig, nach Ammoniak
<b>Anisole</b>	Trichloranisol		muffig
<b>Karbon-säuren</b>	Buttersäure		schweißig
	Isobuttersäure		schweißartig
	Isovaleriansäure	0,002169 mg m <sup>-3</sup>	käsige, schweißartig
	Valeriansäure		schweißartig
<b>Furanone</b>	HydroxyDiMethylFuranon		karamelig, bei hoher Konz. wie Curry, würzig
<b>Ketone</b>	Acetophenon	0,00229 mg m <sup>-3</sup>	blumig, seifig
	Methylacetophenon		aromatisch
	Methylheptenon		fruchtig
	Octanon	120,5 mg m <sup>-3</sup>	aromatisch
<b>Mercaptane</b>	Allylmercaptan	0,00006 mg m <sup>-3</sup>	nach Kaffee, stark nach Knoblauch
	Amylmercaptan	0,000362 mg m <sup>-3</sup>	eklig, modrig
	Benzylmercaptan	0,000229 mg m <sup>-3</sup>	eklig, ranzig
	Crotylmercaptan	0,000035 mg m <sup>-3</sup>	nach Skunk
	Ethylmercaptan	0,000229 mg m <sup>-3</sup>	nach verfaulendem Kohl
	Methylmercaptan	0,001326 mg m <sup>-3</sup>	nach faulendem Kohl, schweflig
	Propylmercaptan	0,00009 mg m <sup>-3</sup>	eklig
<b>Pyrazine</b>	Pyrazin		brenzlich
	Isopropylmethoxy-pyrazin		herb, krautig
	Isobutylmethoxy-pyrazin		herb, paprikaartig
<b>Sulfide</b>	Dimethylsulfid	0,001205 mg m <sup>-3</sup>	nach verfaulendem Gemüse
	Dimethyltrisulfid		faulig
	Diphenylsulfid	0,000058 mg m <sup>-3</sup>	eklig
<b>Terpene</b>	Limonen		fruchtig
	Myrcen		fruchtig

**Tabelle 6–2 (Fortsetzung)**

Chemische Verbindung	Geruchsschwelle [mg m <sup>-3</sup> ] in Luft (20 °C, 1013 hPa)	Geruchseindruck, charakteristischer Geruch	
<b>Ohne Gruppen- namen</b>	Ammonium	0,044585 mg m <sup>-3</sup>	stechend sauer, herb
	Buttersäureethylester	0,001205 mg m <sup>-3</sup>	aromatisch
	Diacetyl	0,00241 mg m <sup>-3</sup>	nach Butter, sahnig
	Jonon		blumig
	Methylisoborneol		pilzig, modrig
	Octenol	0,01205 mg m <sup>-3</sup>	pilzig
	Pyridin	0,004459 mg m <sup>-3</sup>	unangenehm, schmerzend
	Schwefelwasserstoff	0,000566 mg m <sup>-3</sup>	nach faulen Eiern
	Skatol (Methylindol)	0,001446 mg m <sup>-3</sup>	nach Fäkalien, eklig
	Thiokresol	0,000121 mg m <sup>-3</sup>	nach Skunk, ranzig
	Thiophenol	0,000075 mg m <sup>-3</sup>	modrig, nach Knoblauch
	Vanillin	0,00482 mg m <sup>-3</sup>	vanillig

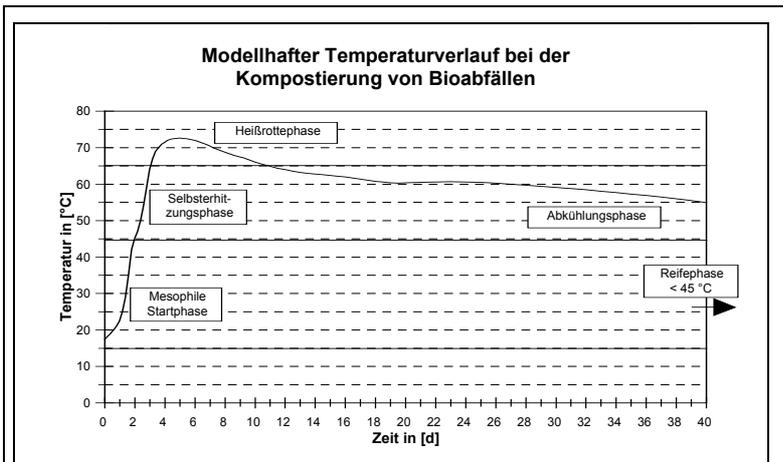
### 7.2.3 Entstehung von Geruchsstoffen bei der Kompostierung

Die wichtigsten Randbedingungen zur Unterscheidung der bei der Kompostierung entstehenden Geruchsstoffe hinsichtlich ihrer chemischen Struktur und ihrer Freisetzung in verschiedenen Rottephasen sind Sauerstoffversorgung und Art der jeweils aktiven Mikroorganismen, sowie die Temperatur und der pH-Wert im Kompostmaterial. Kuchta (1994) und Jager et al. (1995) gehen beispielsweise zur Einteilung der jeweils entstehenden Geruchsstoffe von vier verschiedenen lang anhaltenden Rottephasen aus:

- mesophile Startphase,
- Selbsterwärmungsphase,
- thermophile Phase und
- Reifungsphase

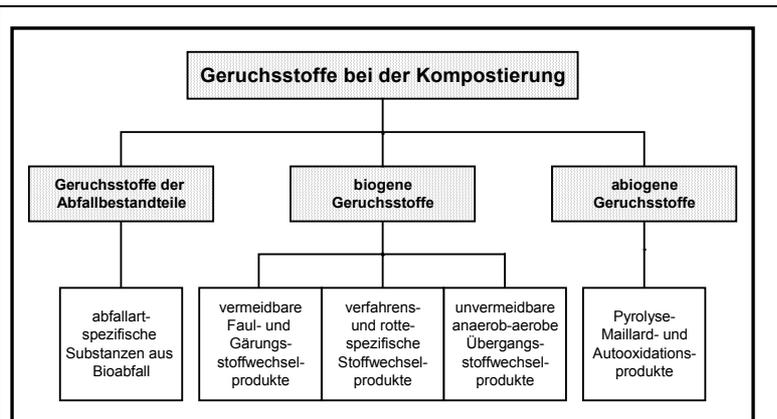
Diese Untergliederung folgt zwar der Temperaturentwicklung während des Rottevorganges, setzt aber andere Prioritäten, wie die unter rein biologischen Gesichtspunkten gewählt. Als thermophile Phase wird von den genannten Autoren nur der Abschnitt mit Temperaturen über 70 °C im Rottegut bezeichnet. Thermophile Organismen sind jedoch bereits ab 45 °C vorherrschend. Zudem engt sich das Artenspektrum beginnend mit 60 °C über 70 °C deutlich ein, was zum einen die Abbaugeschwindigkeit verlangsamt und zum anderen zur Bildung von Stoffwechselprodukten führt, die sich von denen bei niedrigeren Temperaturen deutlich unterscheiden (Rüprich, 1990).

Obige Einteilung berücksichtigt die Gesamtdauer des Kompostierungsprozesses (mindestens 8-10 Wochen in technischen Anlagen) nur unzureichend in bezug auf Rottetemperatur und -milieu. In Anlehnung an verschiedene Autoren (Mayer, 1990; Pöhle, 1994) und eigene Erfahrungen ist es sinnvoll, den Rotteprozess in fünf für die Bildung von Geruchsstoffen typische Abschnitte zu gliedern (Abbildung 7-1). Die hier getroffene Einteilung in fünf verschiedenen lang anhaltende Rottephasen orientiert sich an den jeweils in diesen Phasen typischerweise entstehenden Geruchsstoffen. Sie weicht also von der sonst üblichen Phaseneinteilung der Kompostierung in Abschnitt 4.2 leicht ab.



**Abbildung 7-2: Modellhafter Temperaturverlauf bei der Kompostierung und Zuordnung der verschiedenen Prozessphasen**

- **Mesophile Startphase:** Erster Teil der Initialphase, Temperatur im Rottegut ca. 15 bis 40 °C. Auch saure Startphase genannt
- **Selbsterwärmungsphase:** Zweiter Teil der Initialphase, Temperatur im Rottegut bis über 60 °C ansteigend, Übergang zur thermophilen Phase.
- **Heißrottephase:** Erster Teil der thermophilen Phase, Temperaturen bis über 70 °C ansteigend, eingeschränktes, stark spezialisiertes Mikroorganismenspektrum<sup>7</sup>.
- **Abkühlungsphase:** Zweiter Teil der thermophilen Phase, auch Abbauphase genannt, Temperatur im Rottegut von 65 °C langsam abnehmend auf unter 45 °C (mesophile Organismen).
- **Reifungsphase:** Im ersten Teil mit maximalen Temperaturen von 45 °C der Umbauphase und im zweiten Teil der Aufbauphase mit Temperaturen deutlich unter 30 °C identisch.



**Abbildung 7-3: Geruchsstoffe bei der Kompostierung (Jager. et al., 1995)**

Den o.a. Phasen des Rotteverlaufes können nach Schildknecht et al. (1977) und Jager, J. (1979) drei Arten von Gerüchen der biochemischen Geruchsbildung bei der Kompostierung zugeordnet werden:

- Müllgerüche, Geruchsstoffe der Ausgangsprodukte,
- biogene Gerüche, rottespezifische Stoffwechselprodukte,
- abiogene Gerüche, wie zB Pyrolyse-, Maillard- und Autooxidationsprodukte.

### 7.2.3.1 Mesophile Startphase (erster Abschnitt der Initialphase)

Der typische Müllgeruch des Ausgangssubstrates wird von abfallspezifischen Substanzen bestimmt. Er entsteht insbesondere beim Entladen, bei der Zwischenlagerung und der Vorbehandlung der Bioabfälle sowie zu Beginn des Kompostierungsprozesses in der mesophilen Startphase. Die vom Material ausgehenden Gerüche sind nicht nur von den Inhaltsstoffen abhängig, sondern in hohem Maße auch davon, ob sich die Abfälle bereits bei der Anlieferung in einem angerotteten Zustand befinden oder die Behandlung des Bioabfalls nicht ordnungsgemäß verläuft. Der Geruchseindruck wird vorwiegend bestimmt von Komponenten wie Limonen und anderen Terpenen und Intermediaten anaerober Abbauprozesse (Kuchta, 1994).

<sup>7</sup> Für den Rottefortschritt sind Temperaturen über 60 - 65 °C hemmend und daher unerwünscht. In belüfteten Rottesystemen wird aus diesem Grund eine Temperaturkontrolle angestrebt, um nach einer kurzen Hygienisierungsphase im Rottegut Temperaturen unter 60 °C zu gewährleisten.

In der Startphase der Kompostierung entsteht eine Vielzahl organischer Säuren, die für den niedrigen pH-Wert im Kompostmaterial dieser Rottephase verantwortlich sind. Als geruchsintensive Substanzen werden neben niederen Karbonsäuren (Balderas, 1991) vor allem Alkohole, Aldehyde, Karbonsäureester, Ketone und Terpene (Jäger, J. 1979 und Pöhle, 1994) im Rottegas gefunden. Auch Mayer (1990) weist auf die Entstehung von Iso-Valeriansäure und anderer niederer Karbonsäuren hin. Diese sind Abbauprodukte des mikrobiellen Lipidstoffwechsels und der bakteriellen Oxidation niederer Alkohole, die beim Kohlehydratabbau frei werden.

Die freigesetzten Terpene (v.a. Limonen, aber auch Myrcen und Pinen) stammen in der ersten Rottephase meist aus Holzbestandteilen, darin und in anderen Pflanzenteilen enthaltenen Harzen und ätherischen Ölen und aus Zitrusfrüchten. Im frisch aufbereiteten Rottegut gelangen sie durch die mechanische Zerstörung des pflanzlichen Gewebes, mit fortschreitender Kompostierung durch die Zersetzung des Materials in die Rotteabluft.

Die Beschreibungen der Geruchseindrücke in der Initialphase der Kompostierung reichen von alkoholisch und fruchtig bis zu käsig und schweißartig, je nach vorherrschendem Geruchsstoff bzw. Rottemilieu. Normalerweise dauert die mesophile Phase bei den im technischen Maßstab (Zwangsbelüftung oder tägliches mechanisches Umsetzen) betriebenen Kompostierungsanlagen zwischen einem und drei Tagen.

#### 7.2.3.2 Selbsterwärmungsphase (zweiter Abschnitt der Initialphase)

Der rasche Populationsaufbau und die entsprechend starke Sauerstoffzehrung in der Selbsterwärmungsphase ist für die in diesem Rotteabschnitt in Abhängigkeit von der technischen Rotteführung partiell auftretende Sauerstoffarmut und der damit einhergehenden Möglichkeit von anaeroben Zuständen im Rottegut verantwortlich. Dadurch prägen aerob-anaerobe Übergangsstoffwechselprodukte sowie Faul- und Gärungsstoffwechselprodukte die Geruchsemissionen aus dem rottenden Material. Außerdem werden durch das höhere Temperaturniveau schwerer flüchtige Geruchskomponenten ausgetragen (Jäger, J. et al., 1995). Durch Belüftung oder Umsetzen des Kompostes werden diese Geruchsstoffe verstärkt freigesetzt.

Bei den in der Selbsterwärmungsphase entstehenden geruchsintensiven Substanzen dürfte es sich im wesentlichen um die in der mesophilen Startphase genannten handeln. Bartsch et al. (1997) haben bei der Untersuchung einer Abgasprobe aus einem Rotteaktor bei Temperaturen im Rottegut von 43 °C und einer Geruchsstoffkonzentration von 18.000 GE/m<sup>3</sup> hauptsächlich Terpene (Limonen, Myrcen, Pinen u.a.), Ester (zB Karbonsäureester), Alkohole und deren Derivate identifiziert. Auch niedere Fettsäuren (Isovalerian-, Butter- und Mercaptansäure) sowie Diazethyl und Dimethylsulfid wurden in dieser Probe gefunden.

Die Dauer des hier als Selbsterwärmungsphase bezeichneten Rotteabschnittes liegt bei technischen (offenen und geschlossenen) Kompostierungssystemen i.d.R. zwischen zwei und fünf Tagen.

#### 7.2.3.3 Heißrottephase (erster Abschnitt der thermophilen Phase)

Da die leicht abbaubaren Substanzen im Bioabfall in der thermophilen Phase noch reichlich vorhanden sind, steht die Bildung biogener Geruchskomponenten zunächst nach wie vor im Vordergrund. Gleichzeitig entstehen jedoch bei hohen Temperaturen abiogene Geruchsstoffe, die auf rein chemischem Wege frei werden, durch Pyrolyse-, Autooxidations- und Maillardprozesse. Mit steigenden Temperaturen nimmt deren Bildung zu.

Mayer (1990) macht für den typischen Heißrottegeruch bei Temperaturen um 80 °C die Entstehung von HDMF (3-Hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanon) neben Karbonsäuren und stickstoffhaltigen Heterocyclen (Pyrazine und Pyridine) verantwortlich. Derselbe Autor äußert die Vermutung, dass dieser Heißrottegeruch nur dann entsteht, wenn der pH-Wert des Rottegutes im sauren bis neutralen Bereich liegt, aber bereits im leicht alkalischen Milieu nicht mehr gebildet wird. Daher dürfte die Emissionsdauer dieser Stoffe in der Phase mit Temperaturen über 70 °C im Kompostmaterial (Heißrotte) je nach Rottesystem auf wenige Tage bis zu maximal zwei Wochen beschränkt sein.

Sowohl für HDMF als auch für Pyrazine und Pyridine sind alle für deren Entstehung notwendigen Verbindungen in den Komposten der thermophilen Abbauphase vorhanden. Beim HDMF sind dies organische

Säuren und Acetaldehyd, bei den Pyrazinen und Pyridinen Aminosäuren und Zucker bzw. Aminosäuren und/oder Ribose/Aldehyde (Mayer, 1990).

Für Pöhle (1994) beginnt die thermophile Phase der Geruchsentstehung erst beim Umschlag des pH-Wertes in den alkalischen Bereich, mithin mit dem Verschwinden von Karbonsäuren, Karbonsäureestern und Alkoholen, allesamt Stoffwechselprodukte des anaeroben (!) Kohlehydratabbaues. Derselbe Autor gibt als typische Geruchsstoffe für die frühe thermophile Phase Ketone (Propanon, Butanon), schwefelorganische Verbindungen (Methanthiol, Sulfide), Terpene (Limonen, Myrcen, Pinen) und gegen Ende dieses Rotteabschnittes Ammoniak an.

Terpene (Limonen, Myrcen, Pinen) kommen im weiteren Verlauf der thermophilen Rottephase ebenfalls vor, jedoch in abnehmender Konzentration, da bei diesen Stoffen keine mikrobielle Neubildung stattfindet. Die Sulfidentstehung im thermophilen Temperaturbereich ist wohl auf Proteinabbauvorgänge zurückzuführen (Pöhle, 1994).

Die Geruchstönung für die in der Heißrottephase mit Temperaturen über 65 °C (Dauer: Wenige Tage bis zu mehreren Wochen) freigesetzten Rottegerüche wird von süßlich-pilzig über "typischer Heißrottegeruch" bis zu unangenehm-muffig beschrieben.

#### 7.2.3.4 Abkühlungsphase (zweiter Abschnitt der thermophilen Phase)

Die Gesamtschau der in der thermophilen Kompostierungsphase bei Temperaturen über 55 °C ablaufenden mikrobiellen Prozesse zeigt, dass die Kompostierungstechnik einen großen Einfluss auf die biochemischen Abbauvorgänge bzw. das vorherrschende Milieu im Rottegut und damit auf die Entstehung und Freisetzung von Geruchsstoffen hat.

So stellt sich bei unbelüfteten Mieten ein anaerob-aerobes Gleichgewicht ein, bei dem anaerobe Stoffwechselprodukte aus dem Mieteninnern von den Mikroorganismen der äußeren Mietenschicht als Nahrungsgrundlage verwendet und damit abgebaut werden.

Wird dieses Gleichgewicht zB durch Umsetzungsvorgänge gestört, kommt es zur Freisetzung der stark riechenden Übergangsstoffwechselprodukte (Jäger, J. et al., 1995), zu denen Karbonsäuren, Ketone und Alkohole zählen. Auch bei aktiv belüfteten Mieten sind anaerobe Stoffwechselvorgänge nie ganz auszuschließen, wobei jedoch die Sauerstoffversorgung des Substrates im Mieteninnern bei entsprechender Rotteführung (insbesondere ausreichendem Feuchtigkeitsgehalt) sicher deutlich verbessert wird, was sich im Rückgang der Geruchsstoffbildung im anaeroben Milieu und in der Zunahme von Gerüchen aus dem aeroben Milieu [zB Dimethylsulfid und Ammoniak (Pöhle, 1994)] äußert.

Die bei Temperaturen unter 65 °C festgestellten Geruchsstoffe sind nach Pöhle (1994) den Sulfiden (Dimethylsulfid, Dimethyltrisulfid), den Terpenen (nur Limonen) und dem beim Proteinabbau freigesetzten Ammoniak zuzuordnen. Parallel zur Temperaturabnahme im Rottegut sinkt die Konzentration der freigesetzten Geruchsstoffe und damit auch die Intensität der Geruchsemissionen aus dem Kompostierungsprozess.

Die Geruchseindrücke im Temperaturbereich 45 - 65 °C, der bis zu drei Monate andauern kann, werden mit muffig-stechend und ammoniakalisch beschrieben.

#### 7.2.3.5 Reifungsphase (Um- und Aufbauphase)

Im zunehmend reifen Kompost treten dann bei Temperaturen unter 45 °C die pilzigen und die erdigen Gerüche in den Vordergrund, welche nach Jäger, J. et al. (1995) den in dieser Phase des Rotteprozesses zunehmend gebildeten Huminstoffen zuzuschreiben sind. Insgesamt kann die Reifungsphase in Abhängigkeit von der gewählten Rotteführung mehrere Wochen dauern, wobei das Temperaturniveau unter 30 °C vom Beginn dieser Phase an gerechnet im Regelfall nach spätestens drei bis vier Wochen erreicht ist.

Zusammenfassend können die über den gesamten Rotteprozess frei werdenden Geruchsstoffe gemäß der in Tabelle 6.3 vorgeschlagenen Einteilung des Rotteprozesses dargestellt werden. Diese Einteilung folgt zum einen der in Abschnitt 4 gewählten Einteilung und ist damit den mikro-biologischen Vorgängen im Rottegut kompatibel, zum anderen werden die für die Entstehung der Geruchsstoffe relevanten Randbedingungen berücksichtigt (v.a. Temperatur und Milieu im Rottegut).

**Tabelle 7-3: Phasen der Entstehung geruchsaktiver Substanzen beim Rotteprozess (zusammengestellt nach (Pöhle, 1994; Mayer, 1990; Jager, J. et al., 1995) und eigenen Untersuchungen)**

Rottephase und Temperaturbereich	Charakteristische Geruchsbildner <sup>1)</sup>	Bestimmender Geruchseindruck	Geruchsstoffkonzentration [GE m <sup>-3</sup> Abluft]	Dauer der Phase <sup>2)</sup>	pH-Wert im Rottegut
Mesophile Startphase (15-45 °C)	Niedere Carbonsäuren, Aldehyde, Alkohole, Carbonsäureester, Ketone, Terpene, auch Sulfide	alkoholisch-fruchtig bis käsig-schweißartig	6.000 - 25.000 <sup>3)</sup>	wenige Tage bis max. eine Woche	4 bis 6
Selbsterwärmungsphase; Temperatur steigt weiter auf 45-65 °C	wie Startphase	wie Startphase	Spitzenwerte über 30.000 <sup>4)</sup>	wenige Tage bis max. eine Woche	4 bis 6
Hochtemperaturphase (> 65 °C, teilweise bis > 70 °C)	Ketone, schwefelorganische Verbindungen, Terpene, Pyrazine, Pyridine, HDMF, auch Ammoniak	süßlich-pilzig, Heißrottegeruch, unangenehm-muffig	1.000 - 9.000 <sup>3)</sup> bis über 10.000 <sup>4)</sup>	wenige Tage bis zu mehreren Wochen	6 bis über 7
Abkühlungsphase (65 - 45 °C)	Sulfide, Ammoniak, auch Terpene	muffig-stechend, ammoniakalisch	150 - 3.000 <sup>3)</sup>	bis zu 12 Wochen	bis über 8
Reifungsphase (< 45 °C)	Huminstoffe	pilzig, erdig	unter 500 <sup>4)</sup>	mehrere Wochen	> 7

<sup>1)</sup> ohne Anspruch auf Vollständigkeit  
<sup>2)</sup> stark abhängig vom gewählten Rotteverfahren  
<sup>3)</sup> Literatur siehe Grundlagenstudie  
<sup>4)</sup> eigene Untersuchungen

## 7.2.4 Grobaufbereitung des Ausgangsmaterials und Rotteführung – Eckpunkte eines geruchsarmen Betriebes

Möglichkeiten der Einflussnahme auf den biologischen Prozess durch eine aktive Rotteführung zwecks Geruchsreduktion sind:

- gezielte Mischung der Ausgangsmaterialien,
- Steuerung der Rottetemperatur,
- Steuerung des Wasserhaushaltes und
- ausreichende Sauerstoffversorgung des rottenden Materials.

Bereits bei der *Aufbereitung und Mischung der Inputmaterialien* sind im späteren Rotteprozess auftretende Geruchsemissionen vorteilhaft beeinflussbar. So kann durch optimierte Einstellung des verfügbaren (freien) Luftporenvolumens die Sauerstoffversorgung der für die Abbauvorgänge verantwortlichen Mikroorganismen und damit die Prozessgeschwindigkeit gesteigert werden. Zudem wird auf diese Weise der Bildung von anaeroben Zonen im Kompost vorgebeugt. Bei gleichzeitiger Verbesserung der Strukturstabilität und Regulierung des Feuchtgehaltes des Rohkompostes durch Mischung verschiedener Abfälle ist dieses Ziel im praktischen Betrieb durchaus erreichbar. Für die Betriebsführung entsteht durch diese Maßnahmen zwar ein erhöhter Aufwand, der aber durch die Vorteile des verbesserten Prozessablaufes und des abgesenkten Emissionspotenzials bei weitem kompensiert wird.

Die *Steuerung der Temperatur im Rottegut* ist aus mehreren Gründen wünschenswert. Zunächst führt eine Überhitzung der Rotte auf Temperaturen über 65/70 °C zu einer deutlicheren Einengung des Artenspektrums bei den abbauenden Mikroorganismen und damit zu einer Verlangsamung des Rotteprozesses. Der überhitzte Prozess setzt zudem, neben den verstärkt aus dem Rottegut ausgetriebenen biogenen Stoffwechselprodukten, noch abiogene Geruchsstoffe mit hoher Geruchsintensität frei. Die Begrenzung der Temperatur in der thermophilen Phase der Kompostierung ist – bei gegebener Materialmischung – über eine forcierte Belüftung, die Änderung des Mietenquerschnitts bzw. Wasserzugaben möglich. Bei ungünstigen Materialmischungen (zu hoher Biotonnen-/Eiweiß-/Klärschlammanteil) kann dies in

den ersten 3 bis 5 Wochen (je nach Bearbeitungsintensität) zu einer höheren Geruchsfracht durch größere Abluftströme oder durch vermehrtes Umsetzen führen. Da andererseits jedoch auch aus Gründen des Minimierungsgebotes für Emissionen klimarelevanter Gase eine ausreichende Belüftung erforderlich ist, ist insbesondere mit ansteigender Mietenhöhe ein regelmäßiges mechanisches Umsetzen unabhängig von einer vorhandenen Zwangsbelüftung unerlässlich. Eine intensivere Bewässerung ist je nach Verfahren sehr genau auf den Rottekörper, die jeweilige Prozessphase und die Strukturstabilität des Materials abzustimmen, da Vernässungen, insbesondere im Bereich der Mietensohle zu anaeroben Zonen führen können.

Ein optimierter Wasserhaushalt ist für den erzielbaren Rottefortschritt bedeutsam. Gleichzeitig ist die Vermeidung von zu großen Abwassermengen aus emissionstechnischen Gründen wichtig. Sicker- und Kondenswässer stellen nicht unerhebliche Geruchsquellen dar, ebenso durch zu hohe Wassergehalte verursachte Anaerobien (Beispiel: nasser Mietenfuß). In diesem Zusammenhang sind sowohl die dosierte Wasserzugabe als auch die Fassung und Ableitung von Brühen (Kondensate von Oberflächen) und Sickerwässern von Bedeutung. Besonders in technischen Anlagen begünstigen ein Trockenschrank oder andere Einrichtungen für die Wassergehaltsbestimmung zur Erstellung von Wasserbilanzen und für die Rotteüberwachung einen optimierten Kompostierungsbetrieb mit minimalen Geruchsemissionen.

Ohne ausreichende Versorgung der Rotteorganismen mit Sauerstoff kommt der aerobe Kompostierungsprozess zum Erliegen. Von dieser Prämisse ausgehend sind zunächst alle Maßnahmen, die den Sauerstoffgehalt im Rottegut auf hohem Niveau halten, von Vorteil. Aus der Sicht der höchstmöglichen Minderung von Geruchsemissionen ergeben sich jedoch gravierende Unterschiede.

**Tabelle 7-4: Maßnahmen gegen mangelnde Sauerstoffversorgung der Rotte (Bidlingmaier & Müsken, 1997)**

<b>Maßnahmen gegen Wasserüberschuss</b>	<p><u>Minderung des Wasserinputs:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswahl trockener, saugfähiger Ausgangsstoffe</li> <li>• Zumischen trockener Zuschlagsstoffe (Papier, Sägemehl, Holzhäcksel, Rinde etc.)</li> <li>• Als Schutz vor Regen Abdecken der Miete mit wasserabweisendem aber luftdurchlässigem Material, zB Geotextilien, Häckselgut, Reifekompost, Stroh</li> </ul> <p><u>Erhöhung des Wasseroutputs:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Starke Zwangsbelüftung</li> <li>• Häufiges Umsetzen, ohne jedoch die Auskühlung des Kompostes (bei niedrigen Temperaturen) zu riskieren</li> <li>• Aufdecken der Miete an Tagen mit hoher Evaporation</li> <li>• Exposition der Miete in Hauptwindrichtung</li> </ul>
<b>Maßnahmen zur Verbesserung der Struktur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zumischen strukturreicher Stoffe</li> <li>• Die durch Sackung besonders gefährdete Mietenbasis wird besonders strukturreich gehalten (zB Aufbau der Miete auf einer strukturreichen Häckselnschicht)</li> </ul>
<b>Rottetechnik- und -verfahren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Miete zu lockerem Haufwerk aufsetzen</li> <li>• die mögliche Mietenhöhe richtet sich nach dem Rottestadium (je ausgereifter desto höher), den Struktureigenschaften des Rottematerials und den (Zwangs-)Belüftungsmaßnahmen</li> <li>• Eine strukturreiche Unterlage unter der Miete kann ein ausreichendes Luftporenvolumen zur Wasserabfuhr und Luftnachlieferung sicherstellen, die Schichtenmiete verhindert Setzungen im gesamten Rottekörper.</li> <li>• In dynamischen und bedingt auch in quasi-dynamischen Rotteverfahren werden verfahrensbedingt in kürzeren Abständen neue Oberflächen und ein hoher Luftaustausch gefördert.</li> </ul>

Auch unbelüftete Mietensysteme müssen gewährleisten, dass zwischen den Umsetzungsvorgängen Frischluft bis in den Mietenkern diffundieren kann. Daher ist bei der unbelüfteten offenen Mietenkompostierung eine besonders sorgfältige Abstimmung zwischen Mietenquerschnitt, Materialmischung (insbesondere

Luftporenvolumen, Wassergehalt, Strukturstabilität) und Umsetzrhythmus notwendig. Allerdings ist auch bei kleinen Kompostvolumen der Sauerstoffgehalt im Material unbelüfteter Haufenwerke nicht immer günstig. Besonders in der Intensivrottephase während der ersten Wochen des Kompostierungsprozesses kann es zu partiellen Unterversorgungen kommen, was sich dann spätestens beim Umsetzungsvorgang in erhöhten Geruchsfrachten niederschlagen kann. Nachteilig auf die Emissionssituation kann sich auch der geringe Wasseraustrag über den Luftpfad auswirken, v.a. dann, wenn ohne Dach oder Abdeckung in niederschlagsreichen Gegenden bzw. Jahreszeiten gearbeitet wird (zur Anforderung der Überdachung gegen Vernässung in niederschlagsreichen Gebieten siehe 7.3, 9.3, 9.4 und 9.6)

Natürliche Belüftung, wie sie bei offenen Rottesystemen angewendet wird, benötigt, wenn die Rotte sorgfältig durchgeführt wird, keine spezielle Abluftentsorgung; die beim Umsetzungsvorgang freigesetzten Geruchsstoffe können jedoch in Abhängigkeit von ihrer Intensität und der vorherrschenden Witterung die nächste Umgebung belasten.

Dies ist der Hauptgrund, warum insbesondere bei offenen Mietensystemen die Randbedingungen des Standorts (Abstand zu immissionsrelevanten Orten, lokale Wetterverhältnisse etc.) in Kombination mit der Art der Inputmaterialien und der Verfahrensweise in die *Beurteilung der Erheblichkeit bzw. der Zumutbarkeit* von Emissionen mit einbezogen werden müssen (siehe die Voraussetzungen hierzu in Abschnitt 7.2.9).

Verschiedene *Belüftungssysteme* haben – in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial und der Belüftungstechnik – ebenfalls unterschiedliche Auswirkungen auf die Geruchsemissionen eines Kompostwerkes. So wird bei saugbelüfteten Mieten in der Regel das Problem des nassen Mietenfußes bestehen, da zusätzlich zu den immer anfallenden Sicker- und Presswässern auch noch die wassergesättigte Rotteabluft nach unten geführt wird. Das eingeschränkte freie Luftporenvolumen in diesem Bereich kann dann trotz aktiver Belüftung zu anaeroben Zonen mit entsprechendem Emissionspotenzial führen (v.a. beim Umsetzen können dadurch höhere Stoßemissionen entstehen). Die hohen Geruchsstoffkonzentrationen in den Luftleitungen von Saugsystemen sind zudem nicht nur auf die konzentriert anfallende Mietenabluft, sondern auch auf die ausfallenden Kondenswässer zurückzuführen.

Bei *nicht eingehausten Mieten* wird der Vorteil, dass bei Saugbelüftung (im Gegensatz zu Druckbelüftung) im Ruhezustand der Mieten ein Anteil der Geruchsfracht nicht in die Außenluft gelangt, durch die Notwendigkeit der Reinigung des Mietenabluftstromes konterkariert. Aufgrund des geringeren Luftbedarfs älterer Mieten reicht es oft nicht aus, die Abluft der Hauptrotte über eine druckbelüftete Nachrotte zu führen, um so eine Desodorierung zu erreichen. Abgesehen vom höheren Energieaufwand einer Saugbelüftung, die immer entgegen der Thermik in einer Miete arbeiten muss, besteht daher in der Regel auch noch Bedarf an einer separaten Abluftreinigungsanlage.

Saugbelüftung der Mieten in geschlossenen Hallen hat den Vorteil, dass weniger Wasserdampf in die Hallenatmosphäre austritt (besseres Hallenklima). Jedoch werden sämtliche Geruchsstoffe aus den Mieten direkt der Abluftreinigung zugeführt, während bei druckbelüfteten Mieten die Mietenrandzone bereits eine filternde Wirkung aufweist. Daher entsteht bei Mietensaugbelüftung in Hallen ein höherer Aufwand bei der Abluftreinigung. Unter dem Gesichtspunkt der Luftmengenminimierung in Rottehallen schneiden reine Saugbelüftungen ebenfalls schlechter ab als Druckbelüftungen, da keine Umluft gefahren werden kann<sup>8</sup>. Dies wäre (eingeschränkt) nur bei kombiniertem Druck-/Saugbetrieb möglich. In der Boxenkompostierung kommen die beschriebenen Nachteile der Saugbelüftung nicht zum Tragen, da das Hallenvolumen wegfällt.

### 7.2.5 Minderungsmaßnahmen für Geruchsemissionen bei offenen Anlagen

Generelle Einflussmöglichkeiten auf die Emission von Geruchsstoffen aus offenen Anlagen sind

- die sofortige und zügige Verarbeitung der angelieferten Abfälle,
- die Herstellung eines strukturreichen Rohmaterials für die Rotte (ausreichender Strukturgutvorrat zur Mischung mit nassen Bioabfällen oder Schlämmen),

<sup>8</sup> Umluftbetrieb ist nur möglich, wenn der Frischluftanteil an der Hallenzuluft ausreichend hoch bleibt, um trotz Nutzung gebrauchter Luftströme (zB aus anderen Betriebshallen) einen Hallenunterdruck aufrecht zu erhalten (Verhinderung diffuser Geruchsquellen aus Undichtigkeiten der Hallenhaut).

- die Rotteführung (zB regelmäßiges Umsetzen zur Vermeidung anaerober Zonen in den Mieten, Begrenzung der Mietenhöhe in Abhängigkeit von Strukturstabilität sowie Umsetz- bzw. Belüftungssystem),
- eine saubere Betriebsführung (regelmäßige Reinigung der Verkehrswege etc.) und
- die Wahl des Umsetzzeitpunktes (zB nur bei günstiger Windrichtung)

Eine weitere, wichtige Einflussgröße auf den Rotteverlauf und auf das Geruchsemissionspotenzial in offenen Anlagen stellt die Niederschlagsmenge dar.

An Standorten in niederschlagsreichen Gebieten stellt sich die Frage der Abdeckung von Dreiecksmieten mit atmungsaktivem, wasserableitendem Kompostvlies sofern keine überdachten Flächen verfügbar sind. Je kleiner die Mieten, desto größer ist die Gefahr der Vernässung. Größere Dreiecksmieten (ca. > 1,50 m) sowie Trapez- und Tafelmieten sind aufgrund ihres Oberflächen/Volumenverhältnisses weniger anfällig. Im Rottestadium fortgeschrittene Mieten neigen aufgrund der geringen Verdunstungsrate eher zum Vernässen. Anaerobe Zonen und die dadurch ausgelösten Geruchsemissionen sind die Folge. Zudem wird durch nasse Materialien die mechanische Bearbeitung (Umsetzen, Sieben, Störstoffabscheidung) behindert.

Neben der Wahl einer materialspezifisch geeigneten Mietengröße und -form sind an weiteren geruchsmindernden Maßnahmen zu nennen:

- Erd- bzw. Kompostzusatz [ca. 10 % (m/m)] zur Erhöhung der Sorptionskapazität für geruchstofftragende Sickersäfte,
- Temperatur im Rottegut nicht über 65 °C und eine möglichst rasche Stabilisierung auf unter 55 °C,
- Abdeckung der Mieten mit wasserabweisendem Vlies bei geringen Mietenhöhen (< 1,5 m)

Besteht die optionale Möglichkeit, die CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> Konzentration in der Mietenluft mittels Sonden zu messen, so zeigt ein wiederholt auftretender Summenwert größer als 20,8 % (v/v) bereits einen Übergang zu anaeroben Bedingungen an<sup>9</sup>.

Ein weiterer Erfahrungswert in der Mietenkompostierung ist ein Mindest-Sauerstoffgehalt von 5 % in der Mietenluft, der nicht unterschritten werden sollte. Normalwerte in der ersten Phase der Hauptrotte liegen zwischen 7 und 12 % (v/v) O<sub>2</sub>. Weiters sollte der CO<sub>2</sub> Gehalt 10-12 % (v/v) und der CH<sub>4</sub> Wert nicht 1 % (v/v) überschreiten.

#### 7.2.5.1 Sonderfall der Mietenabdeckung mit biologischen Abdeckmaterialien

Eine Betriebsvariante für kleinere bis mittlere Anlagengrößen mit offenem Rotteteil stellt die Abdeckung der Mieten während der ersten Rottephase dar. Folgende organische Abdeckmaterialien kommen in Betracht:

- Reifer Kompost
- Häcksel/Shreddergut (aus Grünschnitt, Holz, Siebrückstand)

An Anwendung der „Abdeckmethode“ kommen länger andauernde nicht geplante Geruchsemissionen eigentlich nur dann vor, wenn nach Umsetzvorgängen die frisch aufgesetzten Mieten nicht sofort wieder abgedeckt werden oder die Deckschichten nicht ordnungsgemäß aufgebracht werden. Die Geruchsemission kann durch Mietenabdeckung weitgehend reduziert werden. Dies gilt auch für Werke, die mit Druckbelüftung arbeiten.

Neben einer mikrobiellen "Biofilterwirkung", die bei den *biogenen Deckschichten aus Kompost und Häckselgut* anzunehmen ist, trägt auch die Auskondensation von Geruchsstoffen aus dem Rotteabgas an bzw. in der relativ zur Miete kühleren Abdeckung ganz wesentlich zu der desodorierenden Wirkung solcher Deckschichten bei. Bei optimierter Mietenzusammensetzung wird davon ausgegangen, dass in den ersten Tagen und Wochen die geruchsrelevanten Zwischenprodukte bereits abgebaut sind bzw. weitgehend in der organischen „Biofilterschicht“ abgefangen wurden. Voraussetzung für die Reduzierung der Geruchsemissionen ist hier jedoch, dass über eine Periode von 10 bis 15 Tagen nicht umgesetzt wird.

<sup>9</sup> Binner E., Grassinger D., Humer M. 2002: „Composting conditions preventing the development of odorous compounds“ in: Microbiology and Composting, Springer Verlag, pp. 551-560,

Zur Effektivität dieser Methode hinsichtlich der Geruchsminderung liegen nur wenige Untersuchungen vor. Daher kann hierzu noch keine abschließende Empfehlung abgegeben werden. Zu unterscheiden sind auch zwangs- und natürlich belüftete Verfahren. Eine zusätzliche moderate drückende Zwangsbelüftung kann die Frischluftnachlieferung der natürlichen Konvektion unterstützen. Zu beachten ist, dass bei längeren Phasen ohne mechanische Bearbeitung eine homogene Befeuchtung u.U. schwer zu erreichen ist.

Mit Blick auf eine umfassende emissionsseitige Optimierung (auch unter Berücksichtigung des Minimierungsgebotes für die Emission klimarelevante Gase), sind folgende Voraussetzungen zu beachten:

- Die Abdeckung mit einer Biofilterschicht aus frischem Häckselgut oder ungesiebttem Fertigungskompost sollte mindestens 10 – 15 cm betragen
- Bei unbelüfteten Systemen ausschließlich Dreiecksmieten mit einer maximalen Höhe von 1,50 m und optimierter Strukturstabilität (Sicherstellung des Gasaustausches durch den Kamineffekt)
- Homogen eingestelltes, evtl. leicht erhöhtes C/N-Verhältnis (ca. 25 - 35 : 1)
- Die ordnungsgemäße thermische Hygienisierung gemäß Abschnitt 7.4.2 muss ggf. durch nachfolgende Rotteabschnitte gewährleistet sein.

#### 7.2.5.2 Mietenabdeckung mit semipermeablen Kunststoffmembranen

Die speziell für das Geruchsmanagement in der Mietenkompostierung entwickelten semipermeablen Kunststoffmembranen weisen gegenüber Kompost- bzw. Häckselgutauflagen einige Vorteile auf. So sind Planen über die ganze Oberfläche homogen, was zu einem sehr gleichmäßigen Abströmverhalten bei druckbelüfteten Mieten<sup>10</sup> führt. Präferenzkanäle für den Abluftstrom sind außer bei Beschädigung der Plane und an den Übergangsstellen von der Plane zum Boden nicht zu befürchten. Darüber hinaus halten die normalerweise eingesetzten Membranen Niederschlagswasser zuverlässig ab, eine Vernässung der Mieten mit daraus resultierenden Geruchsproblemen (anaerobe Zonen) kann so sicher vermieden werden. Semipermeable Membranen werden auch bei offenen Rotteboxen und -containern eingesetzt. In diesen Fällen lassen sich die relativ aufwändigen Arbeitsschritte des Auf- bzw. Abdeckens vereinfachen oder sogar automatisieren. Die Wirkungsweise ist ähnlich jener von biogenen Deckschichten, wobei die Auskondensation von Geruchsstoffen an der Membran stärker im Vordergrund steht. Eine Biofilterwirkung, wie sie bei biogenen Deckschichten gegeben ist, kann nur eingeschränkt über die Ausbildung eines „biologischen Rasens“ auf der Planenunterseite angenommen werden.

Die Abdeckung mit dem sogenannten Kompostvlies wirkt hinsichtlich der Reduktion von Geruchsemissionen nur indirekt durch die Ableitung von Niederschlagswasser und die Erhaltung der gleichmäßigen Durchfeuchtung und damit des homogenen Abbaus bis in die Randzonen. Eine Biofilterwirkung ist hier nur sehr eingeschränkt gegeben, Kondensationseffekte wie bei biogenen Deckschichten und Planen (Membranen) dagegen schon.

Alle Abdeckmaßnahmen verlieren notwendigerweise ihre Wirkung, wenn das Rottegut aufgesetzt, umgesetzt oder abgetragen werden muss. Die aus diesen Betriebsvorgängen resultierenden Stoßbelastungen können jedoch weitgehend auf den Zeitraum der reinen Materialbewegung beschränkt werden.

#### **7.2.6 Technische Maßnahmen der Abluftbehandlung**

Die Desodorierung der Abluft aus der Kompostierung ist bei (teilweise) geschlossenen ausgeführten Anlagen ein für die Außenwirkung entscheidende Verfahrensschritt. Aufgrund der Abgaszusammensetzung, aus der mikrobiellen Zersetzung von organischen Stoffen hervorgegangene Abbau- oder Zwischenbauprodukte, eignen sich biologische Verfahren zur Geruchsminderung, wie Biofilter und Biowäscher, besonders gut.

---

<sup>10</sup> Zudem ergibt sich bei druckbelüfteten Mieten der Effekt, dass sich unter der Plane ein leichter Überdruck aufbaut, der die Sauerstoffversorgung des Rottegutes im Vergleich zu „drucklosen“ Systemen weiter verbessert.

Seit einigen Jahren werden auch sogenannte "Geruchsabsorber", also Substanzen, die zB auf die Mietenoberfläche, auf Materialströme oder auf den Biofilter gesprüht werden, angeboten. Diese sind sicher im Falle akuter Betriebsstörungen ein Mittel der Wahl. Allerdings muss darauf geachtet werden, dass nur solche Produkte zum Einsatz kommen, die Geruchsstoffe auch tatsächlich absorbieren oder adsorbieren und damit unschädlich machen, und nicht nur eine "Maskierung" der unangenehmen Gerüche durch Überdeckung mit anderen Geruchsstoffen stattfindet [vgl. auch (Sporenberg et al., 1996) und (Rudolph, 1996)].

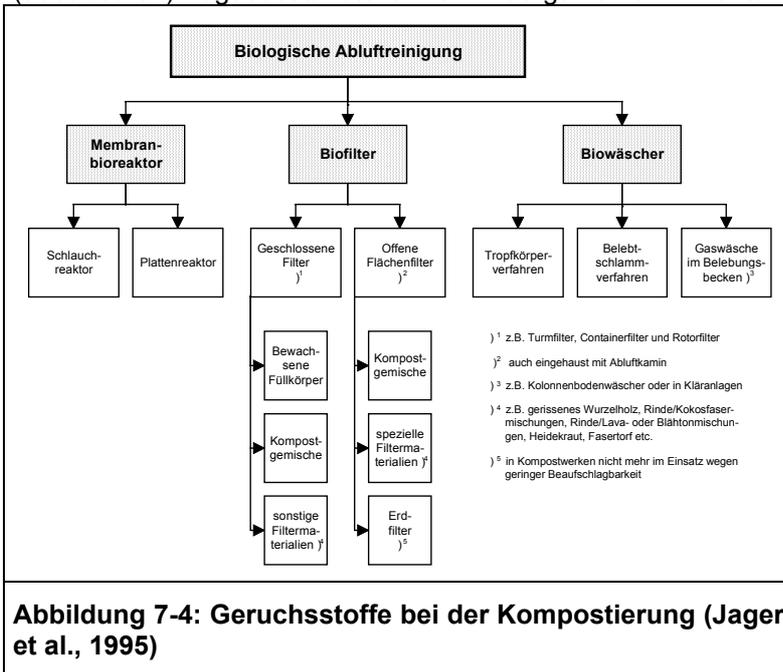
Die in diesem Abschnitt der Vollständigkeit halber noch erwähnten thermischen, katalytischen und chemischen Verfahren zur Abgasreinigung sowie in der Industrie gebräuchliche Adsorptionsverfahren (zB mit Aktivkohle) kommen in Anlagen der biologischen Abfallbehandlung praktisch nicht vor. Einzig die Zugabe von oxidierenden Reagenzien sowie Natronlauge oder Schwefelsäure hat in Abluftwäschen, die mit hochbeladenen Luftströmen (zB Ammoniak aus der [Mit-]Kompostierung von Abwasserschläm) beaufschlagt werden, eine gewisse Bedeutung.

### 7.2.6.1 Biologische Abgasreinigung

Den Verfahren der biologischen Abluftreinigung können im wesentlichen die Verfahrensvarianten

- Biofilter,
- Biowäscher und
- Biomembranverfahren

zugeordnet werden (s.a. Abbildung 7-4). Gemeinsames Merkmal dieser Verfahren ist die mikrobielle Tätigkeit von Organismengesellschaften (syntrope Lebensgemeinschaften und Konsortien), welche in der Lage sind, organische und einige anorganische Abluftinhaltsstoffe biochemisch unter aeroben Bedingungen günstigstenfalls bis zu den Spaltprodukten Wasser, Kohlendioxid und Wärme zu mineralisieren. Die drei genannten Verfahrensvarianten unterscheiden sich dabei vor allem in der Art und Weise, wie die (abbaubaren) Abgasbestandteile mit Mikroorganismen in Kontakt gebracht werden (Fischer, 1997).



Derzeit bekannte biologische Abluftreinigungsverfahren (modifiziert nach (Fischer, 1997).

Für das Funktionieren biologischer Abluftreinigungssysteme ist die Einhaltung folgender Randbedingungen essentiell (VDI, 1991 und 1996 a; Fischer, 1997):

- Die zu entfernenden Abluftinhaltsstoffe müssen zumindest eine geringe **Wasserlöslichkeit** aufweisen, um von den aktiven Mikroorganismen abgebaut werden zu können (Aufnahme von Nahrung nur in gelöster Form) und
- sie müssen auf jeden Fall **biologisch abbaubar** sein.
- **Toxische Stoffe** dürfen im Abluftstrom ebenso wenig enthalten sein, wie
  - große Mengen an **Stäuben**

#### und Fetten.

- Die **Zulufttemperatur** soll zwischen 15 und 45 °C (Optimalbereich 25 bis 35 °C) liegen.

Anorganische Gase wie Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) oder Ammoniak (NH<sub>3</sub>) können ebenfalls mikrobiell oxidiert werden. Die Abbauprodukte dieser Abluftinhaltsstoffe (Schwefel und Sulfat bzw. Nitrat) reichern sich jedoch im Filtermedium im Lauf der Zeit an und verändern dadurch den pH-Wert des Waschwassers oder Filtermaterials.

Der große Vorteil biologischer Abluftreinigungsverfahren, praktisch keine Abfallstoffe zu generieren, wird in diesen Fällen weitgehend hinfällig (Fischer, 1997). Insgesamt betrachtet wird jedoch klar, dass die hier betrachteten Geruchsstoffe mit biologischen Verfahren weitgehend eliminiert werden können. Weitere Hinweise zur Effizienz von Biofiltern im Abbau flüchtiger Organischer Verbindungen (VOC) sind im Kapitel 7.6.5 zusammengestellt. Zur Eignung von Biofiltern mit und ohne vorgeschalteten Luftbefeuchtern (Wäschern) zur Reduktion der Keimemissionen siehe Abschnitt 7.5.5.

**Tabelle 7-5: Eignung verschiedener Abluftinhaltsstoffe zum Abbau in Biofiltern und Biowäschern [zusammengestellt nach (VDI, 1991) und (VDI, 1996 a)]**

Abgasinhaltsstoffe	Biofilter	Abbaubarkeit <sup>1</sup> im Biowäscher <sup>2</sup>		Rieselbettreaktor
		a	b	
<b><u>Aliphatische Kohlenwasserstoffe (KW)</u></b>				
- Methan	o	-	-	-
- Pentan	o	-	-	-
- Hexan	+	-	+	?
- Acetylen	?	-	-	k.A.
- Cyclohexan	o	-	?	?
- längerkettige gesättigte KW	k.A.	-	+	?
- längerkettige ungesättigte KW	k.A.	-	?	?
<b><u>Aromatische Kohlenwasserstoffe</u></b>				
- Benzol	+	-	+	?
- Toluol	++	-	+	?
- Xylol	++	-	+	?
- Styrol	+	-	+	o
<b><u>Alkohole, wie zB</u></b>				
- Methanol	++	+	+	+
- Ethanol	++	+	+	+
- Butanol	++	+	+	+
<b><u>Ether, wie zB</u></b>				
- Tetrahydrofuran	++	-	?	?
- Diethylether	o	-	?	?
- Dioxan	o	-	?	?
<b><u>Aldehyde, wie zB</u></b>				
- Formaldehyd	++	+	+	+
- Acetaldehyd	++	+	+	+
<b><u>Ketone, wie zB</u></b>				
- Aceton	+	+	+	+
<b><u>Karbonsäuren, wie zB</u></b>				
- Buttersäure	++	+	+	+
- Propionsäure	++	+	+	+
- Essigsäure	++	+	+	+
<b><u>Karbonsäureester, wie zB</u></b>				
- Essigsäureethylester	+	+	+	+
- Methacrylsäuremethylester	?	+	+	+
- Essigsäurebutylester	k.A.	+	+	+
- Glykolsäureester	k.A.	+	+	+
<b><u>Phenole, wie zB</u></b>				
- Phenol	+	+	+	+
- Kresol	+	+	+	+
<b><u>Schwefelhaltige Verbindungen</u></b>				
- Sulfide (Thioether)	+	o	+	?
- Dimethylsulfid	+	k.A.	k.A.	k.A.
- Schwefelheterocyclen	+	+	+	o
- Mercaptane	+	+	+	+
- Schwefelkohlenstoff	+	-	o	o

Abgasinhaltsstoffe	Biofilter	Abbaubarkeit <sup>1</sup> im Biowäscher <sup>2</sup>		Rieselbettreaktor
		a	b	
<b><u>Stickstoffhaltige Verbindungen</u></b>				
- Amide	+	?	?	?
- Amine	++	+	+	+
- Stickstoffheterocyclen (zB Pyridin)	+	+	+	+
- Nitroverbindungen	o	-	+	?
- Nitrile	+	?	?	?
- Isonitrile	+	?	?	?
<b><u>Halogenkohlenwasserstoffe</u></b>				
- Dichlormethan	o	-	+	+
- Trichlorethylen	?	-	-	o
- Perchlorethylen	?	-	-	-
- Chlorphenole	+	+	+	+
- 1,1,1-Trichlorethan	-	-	-	-
<b><u>Anorganische Verbindungen</u></b>				
- Schwefelwasserstoff	+	+	+	+
- Ammoniak	+	o	o	+
<sup>1</sup> ++ ... sehr gute Abbaubarkeit    + ... gute Abbaubarkeit o ... grundsätzlich geeignet    - ... nicht geeignet ? ... keine gesicherten Erkenntnisse <sup>2</sup> a ... ohne Lösungsvermittler    b ... mit Lösungsvermittler				

### 7.2.6.2 Biofilter

#### **Filtertypen und -konstruktionen**

Die heutzutage am häufigsten eingesetzten Biofiltertypen lassen sich in (meist offene) Flächenfilter und in (geschlossene) Containerfilter einteilen. Als Sonderformen geschlossener Filter sind auch Turm- bzw. Etagenfilter in Betrieb. Den schematischen Aufbau einer Biofilteranlage zeigt die Abbildung 7-5.

Der Ausgestaltung des Luftverteilungssystems kommt v.a. bei Flächenfiltern eine große Bedeutung zu. Am besten bewährt haben sich bisher Filterunterbauten, die in Form einer Druckkammer ausgebildet sind. Vorteile dieses Bauprinzips sind u.a.

- eine gleichmäßige Luftverteilung über die gesamte Filterfläche,
- seine Wartungsfreundlichkeit (Reinigung und Kontrolle) und
- die gute Entwässerung des Filterbodens und damit auch des Filtermaterials (besonders wichtig bei offenen Filtern).

Als nachteilig können die relativ hohen Baukosten angeführt werden, v.a. dann, wenn der Filterboden befahrbar sein muss. Die Gefahr ungleichmäßiger Durchströmung großer Filter bei einer Belegung mit Materialien mit niedrigem Gegendruck (zB gerissenes Wurzelholz) bzw. bei ungleichmäßiger Schüttung des Filtermaterials besteht auch bei anderen Filterbodenkonstruktionen.

Da Flächenfilter bodennahe Geruchsquellen darstellen, kommen an emissionstechnisch kritischen Standorten vermehrt Einhausungen mit einer Ableitung des Reingases über einen Kamin zum Einsatz. Die Fassung und Ableitung der Filterabluft bereitet naturgemäß bei Container- oder Turmfiltern geringere Probleme, da diese Filter konstruktionsbedingt geschlossen sind. Auch können Containerfilter sowohl im Upflow- als auch im Downflow-Modus betrieben werden, während bei Flächenfiltern praktisch nur eine Betriebsweise im Upflow-Modus in Betracht kommt.

Die Vorteile von im Downflow-Modus betriebenen Filtereinheiten liegen v.a. in der besseren Durchfeuchtung des Filtermediums, da Austrocknungszonen im Anströmbereich durch Berieselung wirksam verhin-

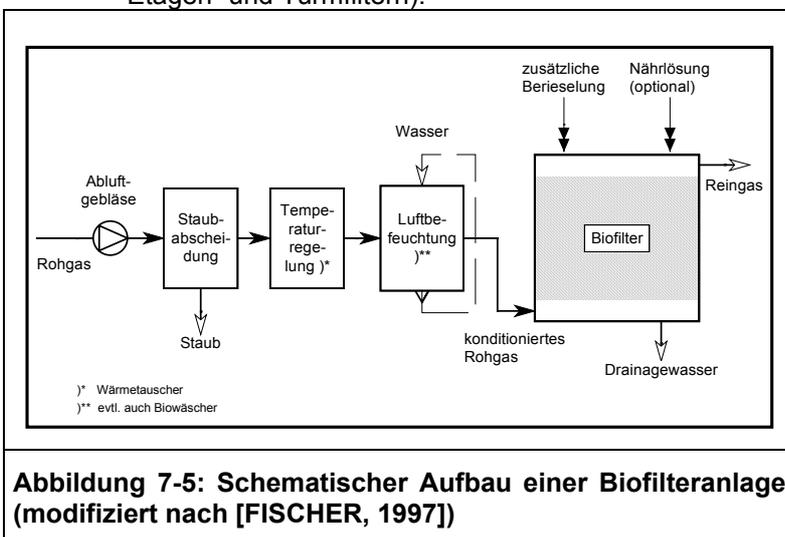
dert werden können. Bei im Upflow-Modus betriebenen Filtern muss trotz wassergesättigter Zuluft fast immer mit Trockenzone am Filterfuß gerechnet werden.

Generell haben geschlossen ausgeführte Filtersysteme gegenüber offenen Filtern Vorteile [vgl. auch (Sabo et al., 1997)]:

- Bei starkem Regenfall kommt es bei offenen Flächenfiltern zu vermehrter Abschwemmung von Feinmaterialien, die Gefahr von Verstopfungen im Filterboden bzw. im Zuluftverteiler wächst. Aber auch das für die Filterwirkung wichtige freie Porenvolumen kann bei schlechter Wasserabführung stark reduziert werden.
- Geschlossene Filtereinheiten sind weniger witterungsabhängig, was sich auch bei warmem Wetter positiv auf den Wasserhaushalt auswirkt (weniger Verdunstung).
- Durch modularen Aufbau geschlossener Filtereinheiten (zB Container) kann sowohl die Anströmung als auch die Durchströmung des Filtermaterials besser geregelt werden (kleine Einheiten). Hier haben Flächenfilter mit zunehmender Filterfläche deutliche Schwächen.
- Die Bestimmung der Reinigungsleistung ist bei geschlossenen Systemen sehr einfach, da nur ein definierter Reingasstrom vorliegt und beprobt werden muss. Bei Flächenfiltern ist eine aufwendige und i.d.R. weniger zuverlässige Rastermessung notwendig (außer bei eingehausten Filtern).
- Die Regulierung des Wasserhaushaltes ist bei geschlossenen Filtern einfacher zu bewerkstelligen, v.a. bei modularer Bauweise (zB Container).

Nachteilig bei geschlossenen Biofiltereinheiten im Vergleich zu offenen Filtern sind:

- Der Wegfall der optischen Kontrollmöglichkeit, die bei offenen Filtern jederzeit möglich ist und die erfahrenem Betriebspersonal wichtige Informationen zum Zustand des Filters liefern kann. Dies ist zB für die Beurteilung des Abströmverhaltens (Dampfbildung) aber auch für den Zustand des Filtermaterials (Sackungen, Abbau etc.) von Bedeutung.
- Die aufwendigere Probenahme aus dem Filtermaterial zur Filterkontrolle (v.a. bei Container-, Etagen- und Turmfiltern).



Abschließend sei an dieser Stelle noch darauf hingewiesen, dass natürlich auch die gebrauchstüchtige Konstruktion des gesamten Abluftsystems in einer Kompostierungsanlage für die Funktionalität der Abgasreinigung eine Rolle spielt. So ist darauf zu achten, dass eine wirksame Kondensatableitung aus dem gesamten Rohrleitungsnetz, den Ventilatoren und aus den Filterböden vorgesehen wird. Aber auch die Materialwahl für die Lüftungstechnik (Rohrleitungen, Lüfter, Klappen etc.) ist von Bedeutung. Hier empfehlen sich nicht-korrosionsanfällige Werkstoffe, wie Edelstahl und Kunststoffe. Auf eine

leicht auszuführende Reinigung des gesamten Luftleitungsnetzes aus Gründen der Betriebssicherheit großer Wert gelegt werden.

### Filtermaterialien und Kombinationslösungen

Derzeit werden meist Flächenbiofilter mit Auflagen aus Kompost, Rindenschrot, Mischungen mit Blähton oder gebrochener Lava, gerissenes Wurzelholz, Grünschnitthäcksel (Grobfraktion), weniger oft mit Kokosfasern, Fasertorf und Heidekraut eingesetzt, um geruchsbeladene Abluftströme zu desodorieren. Auch in Containerfiltern sind diese Materialien im Einsatz. Bei hochbelasteten Abluftströmen (zB Rotte-

trommeln, Mietenabluft aus Saugbelüftungen) kommen noch vorgeschaltete Biowäscher<sup>11</sup> hinzu, da ansonsten die Rohgaskonzentration zu hoch ist, um auch bei Filterwirkungsgraden > 95 % reingasseitig befriedigende Ergebnisse (niedrige Geruchsstoffkonzentrationen) zu erzielen. Eine Befeuchtungsstrecke für den Abluftstrom vor dem Biofilter wirkt durch die Auswaschung von Geruchsstoffen ebenfalls konzentrationsmindernd.

Bei großen Abluftmengen (mehrere zehntausend Kubikmeter je Stunde) haben sich auf Flächenfiltern gerissenes Wurzelholz und Siebüberstand aus der Grünabfallkompostierung bzw. Häckselgut mit 40 - 120 mm Korngröße gut bewährt. Als Abdeckmaterialien kommen für diese Filtertypen Fichtenrinde mit ca. 60-80 mm Korngröße, grobe Komposte (> 20 mm) o.ä. in Frage. Mit den genannten Filtermaterialien lassen sich Standzeiten von ca. zwei Jahren (Material aus der Grünabfallkompostierung, grobe Komposte) bis über drei Jahre (gerissenes Wurzelholz) erreichen. Auch für Rinden/Kokosfasermischungen werden Standzeiten von über zwei Jahren erwartet (Müsken, 1997).

Zerkleinertes Holz und andere grobe Filtermaterialien, aber auch zB Kokosfasern, weisen eine relativ geringe biologische Eigenaktivität (langsamer Abbau → lange Standzeit) bei geringem Strömungswiderstand auf. Außer bei Kokosfasern ist bei diesen Materialien jedoch eine relativ ungleichmäßige Porenverteilung vorherrschend. Dies führt dazu, dass solchermaßen ausgerüstete Biofilter nur mit einer relativ geringen Raumbelastung gefahren werden können, was wiederum ein großes Filtervolumen bedeutet. Die daraus oft resultierenden großen Filterflächen machen eine gleichmäßige Luftverteilung i.d.R. schwieriger. Feinere Filtermaterialien, wie zB Heidekraut oder Fasertorf, aber auch Kompost, werden selbst eher stark abgebaut, was zu "weichen Stellen" im Filter und damit zu Filterdurchbrüchen führen kann. Auch Rindenmaterialien neigen zu schnellem Substanzverlust in hochbelasteten Filtern, es sei denn, sie werden mit einem Stützgerüst (zB Blähton oder gebrochene Lava) versehen. Generell gilt zwar, dass hohe mikrobiologische Aktivität auf dem Filtermaterial bessere Reinigungsleistungen erbringt, als Nachteil muss aber ein schnellerer Abbau desselben und damit eine kürzere Standzeit in Kauf genommen werden. Auch die Abschwemmung von Feinteilen des Filtermaterials in das Luftverteilsystem bei offenen Biofiltern ist zu beachten (Müsken, 1997).

Ein wichtiger Parameter für den störungsfreien Filterbetrieb ist die möglichst gleichmäßige Verteilung der von der Abluft durchströmten Poren im Filtermedium. Je ungleichmäßiger Grobporen verteilt sind, desto ungleichmäßiger ist die Durchströmung über die Filterfläche. Dies kann entweder durch Verwendung mehrerer Schichten mit unterschiedlicher Körnung oder durch die Vergrößerung des Filtervolumens ausgeglichen werden. Versuche in Österreich und in den Niederlanden zeigten auch vielversprechende Ergebnisse mit Kompostpellets, die in Schichten mit gleichen Korndurchmessern im Biofilter eingebaut werden (Friedl et al., 1994 und Oude Luttighuis, 1997). Eine Eignungsprüfung für diese Materialien im Praxisbetrieb steht jedoch noch aus.

### **Biofilterbetrieb und Biofilterpflege**

Der Betrieb von Abluftreinigungsanlagen, die in (teilweise) eingehausten Kompostwerken praktisch immer aus einem Biofilter bestehen – eventuell in Kombination mit einem Biowäscher – setzt ein ähnlich ausgeprägtes Fingerspitzengefühl voraus, wie der Rottebetrieb selbst. Wie alle biologischen Systeme bedürfen auch biologische Abluftreinigungen einer dauernden Überwachung und Pflege, wenn Sie mit optimiertem Wirkungsgrad gefahren werden sollen. Das ÖWAV-Regelblatt 513 gibt hierzu wertvolle Hinweise.

Aufgrund der zentralen Bedeutung für die Außenwirkung einer Kompostierungsanlage spielen der Filterbetrieb und die Filterpflege eine wichtige Rolle bei der Emissionskontrolle. Beim Betrieb eines Biofilters ist daher v.a. darauf zu achten, dass

- beim vorgesehenen Filtermaterial die maximal zulässige Raumbelastung des Biofilters im Regelbetrieb nicht überschritten wird,
- für die Auslegung und den Betrieb der Filteranlagen die Anforderungen des ÖWAV-Regelblattes 513 und der jeweils neueste Stand der Technik beachtet werden,

---

<sup>11</sup> Unter Biowäschern werden Aggregate verstanden, in denen Mikroorganismen entweder als biologischer Rasen auf Einbauten oder Füllkörpern siedeln (Tropfkörperverfahren) oder im Waschwasser suspendiert sind (Belebtschlammverfahren). Eine ausführliche Beschreibung dieser Systeme findet sich im Abschnitt b) dieses Kapitels.

- die Volumenbelastung des Biofilters im Regelfall für nicht mehr als  $100 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}\text{h}^{-1}$  ausgelegt wird (durch die Verringerung der spezifischen Filtervolumenbelastung auf  $50 \text{ m}^3$  Abluft je  $\text{m}^3$  Filtermaterial kann eine weitergehende Schadstoffabscheidung erzielt werden),
- eine hohe  $\text{NH}_3$ -Belastung des Rohgases die Vorschaltung einer sauren Wäsche notwendig machen kann; zu den Voraussetzungen für den Einbau eines sauren Wäschers siehe Abschnitt 7.6.3,
- ein segmentweiser Wechsel des Filtermaterials bei den verbleibenden Filtersegmenten kein zu starkes Absinken der Reinigungsleistung hervorruft (Redundanz),
- die Einhaltung des genehmigten Abluftwertes bei der vorgesehenen maximalen Raumbelastung zu gewährleisten ist,
- der Wassergehalt des Filtermaterials durch geeignete Maßnahmen (Zuluftbefeuchtung, Bewässerungsmöglichkeit) auf einem betriebstechnisch optimierten Wert gehalten wird,
- die Abluftventilatoren in ihrer Leistung so ausgelegt sind, dass auch bei einer Verdichtung des Filtermaterials und steigendem Gegendruck die Filterfunktion nicht beeinträchtigt wird,
- die relative Feuchte der Filterzuluft möglichst im Bereich der Wasserdampfsättigung gehalten wird (evtl. Einbau einer Befeuchtungseinrichtung),
- die Zulufttemperatur im Biofilter im Bereich zwischen  $+ 15$  und  $+ 45 \text{ }^\circ\text{C}$  liegt (Optimum bei  $25 - 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ),
- der Filterkörper so gestaltet wird, dass v.a. im Randbereich keine Durchbrüche auftreten können und das Rohgas vor Eintritt in den Filter möglichst gleichmäßig verteilt wird,
- eine Änderung der Rohgasfracht sich in möglichst engen Grenzen hält,
- die Filterzuluft möglichst weitgehend entstaubt ist, um ein Zusetzen der Luftverteilungseinrichtungen und der unteren Filterschichten zu vermeiden,
- der pH-Wert im Biofiltermaterial im neutralen bis leicht sauren Bereich gehalten wird,
- ein rechtzeitiger Wechsel des Filtermaterials vor der völligen Erschöpfung der Reinigungsleistung erfolgt.

Darüber hinaus sind für die Einhaltung der vollen Funktionsfähigkeit des Biofilters die folgenden Filterpflege- und Kontrollmaßnahmen erforderlich:

- Möglichst arbeitstägliche visuelle Kontrolle der Filteroberfläche<sup>12</sup> (Feststellung von Durchbrüchen, Setzungen und Verdichtungen im Filtermaterial), am besten früh morgens (Wasserdampfbildung)
- Mindestens arbeitstägliche Messung der Zulufttemperaturen und der Luftvolumenströme.
- Kontinuierliche Überwachung der Zuluftfeuchte, um einer Austrocknung des Filters schnellstmöglich entgegenwirken zu können
- Regelmäßige, möglichst tägliche Messung des Filtergegendruckes (Luftzuleitung zum Filter) zur Feststellung von Verdichtungen im Filtermaterial
- Überprüfung der Reinigungsleistung durch olfaktometrische Messungen nach Bedarf bzw. mindestens jährlich
- Während Trockenperioden regelmäßige Abschätzung des Wassergehaltes im Filtermaterial nach Augenschein
- Auflockerung der Filteroberfläche bei ungleichmäßigem Abströmverhalten bzw. bei Bewuchs
- Überschüttung des Filters mit neuem Filtermaterial oder anderen geeigneten Stoffen (zB Rindenmulch o.ä.) zum Ausgleich von Setzungen über die Betriebszeit
- Regelmäßige Probenahme aus dem Filtermaterial und Bestimmung des pH-Wertes, evtl. auch der Leitfähigkeit und des Glühverlustes (organische Substanz)

---

<sup>12</sup> Prinzipiell ist es auch möglich, die gleichmäßige Filterabströmung über thermographische Aufnahmen sichtbar zu machen. Hierbei wird die Abhängigkeit unterschiedlicher Oberflächentemperaturen von der Abgasmenge je Flächeneinheit genutzt.

- Regelmäßige Funktionskontrolle der Beregnungseinrichtung zur Materialbefeuchtung und der Zuluftbefeuchtung (falls vorhanden)
- In regelmäßigen Abständen Reinigung der Gebläse, der Zuluftkanäle und der Luftverteilung in den Filterfeldern sowie der Einrichtungen zur Zuluftbefeuchtung (falls vorhanden)
- Die Untersuchung des Filtermaterials auf seinen Nährstoffgehalt (C, N, P) in regelmäßigen Intervallen ist nicht unbedingt erforderlich und richtet sich nach dem eingesetzten Filtermaterial

Gemäß ÖWAV-Regelblatt 513 sind des weiteren noch folgende Kontrollparameter zu beachten:

- Messung von Sauerstoff-, Ammoniak- und Schwefelwasserstoff im Rohgas
- Filterwirkungsgrad bezogen auf Geruch (> 95 % bei > 5.000 GE/m<sup>3</sup> im Rohgas, > 90 % bei > 2.500 GE/m<sup>3</sup>),
- Messung des Abströmverhaltens mit einer Probenahmehaube (Rastermessung),
- Messung von Wasserkapazität, Glühverlust und Luftporenvolumen im Filtermaterial.

In diesem Regelblatt finden sich auch detaillierte Vorgaben zur Überwachung der verfahrenstechnischen Parameter beim Biofilterbetrieb (Kontrollplan).

Wird ein Biowäscher dem Filter vorgeschaltet, so muss dieser ebenfalls in regelmäßigen Abständen auf seine einwandfreie Funktion hin kontrolliert und gewartet werden.

Wenn nun Geruchsbelästigungen, die ihre Ursache in Fehlfunktionen der Abluftreinigung haben, in der Umgebung eines Kompostwerkes auftreten, so hat dies meist folgende Gründe:

- Das Biofiltermaterial ist verbraucht, weshalb die Reinigungsleistung fortschreitend nachlässt
- Das eingesetzte Filtermaterial genügt den Anforderungen nicht und neigt zB zu Verdichtungen, baut sich nicht gleichmäßig ab oder hat einen hohen Wartungsaufwand (Stichworte: Hoher Druckverlust, Durchbrüche, häufiges Auflockern)
- Der Wasserhaushalt des Biofilters ist nicht ausgeglichen, es bilden sich Trockenzonen, die zu Filterdurchbrüchen führen
- Der Biofilter wird rohgasseitig nicht gleichmäßig angeströmt (zB Verstopfungen im Spaltenboden), es bilden sich Präferenzkanäle bzw. Zonen mit erhöhter Raumbelastung, die Folge sind erhöhte Emissionswerte oder sogar Filterdurchbrüche.
- Die Filterkontrolle und -pflege wird vernachlässigt, weshalb sich ankündigende Probleme, wie zB ungleichmäßiges Abströmverhalten, Trockenzonen etc., nicht rechtzeitig bemerkt werden.
- Das Luftmanagement für die eingehausten Anlagenteile ist fehlerhaft bzw. der vorgeschaltete Wäscher oder die Abluftkonditionierung arbeiten nicht einwandfrei, weshalb der Biofilter mit zu hohen Rohgaskonzentrationen und/oder -temperaturen beaufschlagt wird.

Tabelle 7-6 zeigt eine Übersicht über die oft auftretenden Fehlfunktionen in Anlagen zur Abluftreinigung (Biofilter), deren Auswirkungen auf die Emissionssituation und mögliche Ansätze zur Problemlösung. Der Bestimmung von Nährstoffgehalten im Filtermaterial kommt eine eher untergeordnete Bedeutung zu, da die Filter i.d.R. ausgetauscht werden, bevor ein Nährstoffmangel zu Problemen führt.

**Tabelle 7-6: Auswirkungen und Behebung von Fehlfunktionen der Abluftreinigung (Biofilter) durch den Anlagenbetreiber**

Probleme	Folgen	erforderliche Maßnahmen*
hohe Geruchsstoffkonzentration im Rohgasstrom (zB aus saugbelüfteten Mieten)	hohe Raumbelastung des Filters, trotz hoher Reinigungsleistung erhöhte Reingaskonzentrationen	Änderung der Rohmaterialmischung zur Kompostierung oder Rohgaskonditionierung bzw. Vorschaltung eines Wäschers
stark wechselnde Geruchsstoffkonzentrationen und/oder hohe Temperaturen im Rohgas	dauernder Wechsel des Nahrungsangebotes und des Milieus für die im Filter aktiven Mikroorganismen	Mischung verschiedener Abluftströme, evtl. Konditionierung von Teilströmen
schneller und/oder ungleichmäßiger Abbau des Filtermaterials	Erhöhung des Druckwiderstandes im Filter, ungleichmäßige Reinigungsleistung, evtl. Filterdurchbrüche	regelmäßige Lockerung und evtl. Wechsel des Filtermaterials, Einsatz von Filtermaterialien mit hoher Standzeit
Austrocknung des Filtermaterials	Abnahme der Reinigungsleistung bis hin zu Filterdurchbrüchen	Rohgasbefeuchtung, Bewässerungseinrichtung für die Filteroberfläche
ungleichmäßige Anströmung des Filters	Abnahme der Reinigungsleistung bis hin zu Filterdurchbrüchen	Bei Bedarf Reinigung der Zuluftführung
ungleichmäßiges Abströmverhalten	Abnahme der Reinigungsleistung bis hin zu Filterdurchbrüchen	Lockerung des Filtermaterials, Beseitigung von Austrocknungszonen
verbrauchtes Filtermaterial	Abnahme der Reinigungsleistung bis hin zu Filterdurchbrüchen	Lockerung bzw. Ersatz des Filtermaterials
Nährstoffmangel im Filtermaterial	Abnahme der Reinigungsleistung bis hin zu Filterdurchbrüchen	evtl. Lockerung des Filtermaterials

\* Eine regelmäßige Kontrolle des Zustandes und der Funktion des Biofilters gilt als Voraussetzung für sämtliche Parameter.

### 7.2.6.3 Biowäscher

Die wichtigsten Bauprinzipien für Biowäscher sind nach **VDI (1996)** und Fischer (1997):

- Belebtschlammverfahren
- Sprühwäscher
- Bodenkolonnenwäscher
- großtechnische Belebungsbecken (zB in Kläranlagen)
- Rieselbettreaktoren
- Füllkörperwäscher
- Tropfkörperwäscher

Wie bei den im vorhergehenden Abschnitt behandelten Biofiltern kommt es auch bei Biowäschern darauf an, über eine möglichst große Kontaktfläche einen möglichst schnellen und intensiven Austausch zwischen Gasphase und flüssiger Phase zu bewerkstelligen. Der Übergang von Abluftinhaltsstoffen in die Waschflüssigkeit erfolgt dabei in der Hauptsache durch Absorption, wobei die Löslichkeit der auszuwaschenden Stoffe von deren Polarität, vom Druck, von der Temperatur und vom pH-Wert im Wäschersystem abhängt. Die meisten Biowäscher werden im mesophilen Temperaturbereich (30 - 35 °C) betrieben, da hier zum einen Luftinhaltsstoffe bereits gut löslich sind und zum anderen der mikrobielle Stoffumsatz (Abbau von Geruchsstoffen) ein Optimum aufweist. Die wesentlichen Einflussgrößen auf den Betrieb von Biowäschern zeigt Tabelle 6.5.

Der Hauptvorteil von Biowäschern gegenüber Biofiltern ist, dass auch trockene Abluftströme problemlos behandelt werden können; Verdunstungsverluste werden durch die Zufuhr von Frischwasser ersetzt. Zudem ist bei Biowäschern von Vorteil, dass sie selbst hohe Rohgaskonzentrationen mit relativ hohem Wirkungsgrad desodorieren können, bei geringem Wasserbedarf und niedrigem Anfall an Abfallstoffen (Überschussschlamm). Der Wartungsaufwand ist nicht besonders hoch und der Verbrauch an Chemikalien (Zusätze zum Waschwasser) ist, falls überhaupt notwendig, aufgrund der je nach Abluftinhaltsstoffen

gezielt möglichen Zugabe niedrig. Nachteilig ist die verhältnismäßig lange Adaptionszeit im Hinblick auf wechselnde Abluftzusammensetzungen und größere Temperaturschwankungen. Im Bereich der Kompostierung finden Biowäscher nur begrenzten Einsatz. Dies liegt daran, dass aufgrund der vergleichsweise sehr kurzen Kontaktzeiten von Waschmedium und Abluft speziell die Geruchsstoffe nur eingeschränkt eliminiert werden können. Auch Belastungsspitzen können dadurch nur eingeschränkt im Wäscher gepuffert werden. Damit ist die effektive Geruchsminderung in einem Biowäscher nur bedingt möglich. Daher kommen sie in Kompostanlagen i.d.R. nur als Vorschaltaggregat für Biofilter in Frage.

### Sprühwäscher

Die einfachsten Ausführungen von Sprühwäschern dienen hauptsächlich zur Befeuchtung des Abluftstroms vor der eigentlichen Reinigung im Biofilter, wobei auch Geruchsstoffe auskondensieren und zB Konzentrationsspitzen reduziert werden können. Erst durch den Einbau eines Belebungsbeckens, in dem die Regeneration des Waschwassers stattfindet, wird ein volltauglicher Biowäscher definiert (s.a. Abbildung 6.5). Das Belebungsbecken ist in der Regel belüftet, um genügend Sauerstoff für die aerobe, mikrobielle Reinigung des Waschwassers zur Verfügung zu stellen. Gleichzeitig erzeugt die Belüftung des Beckens eine gewisse Turbulenz, die unerwünschte Schlammablagerungen verhindert (Fischer, 1997). Eine Sonderform des Sprühwäschers stellt der Rotationswäscher dar, in dem das Waschwasser über rotierende Düsen im Reaktorraum fein versprüht wird, was die Kontaktzeit zwischen Abluft und wässriger Phase verlängern soll.

### Venturiwäscher

Dieser Wäschertyp ist von der Wirkungsweise her ebenfalls eine Sonderform der Sprühwäscher. Sein Funktionsprinzip beruht auf der Eindüsung des Absorbens (Waschwasser) in den Rohgasstrom, der direkt nachgeschaltet ein Venturirohr zur Feinzerstäubung folgt. Nach der Tropfenabscheidung verlässt das Reingas den Reaktionsraum und die Waschflüssigkeit kann entweder über einen Pumpensumpf (Schlammabzug) oder nach der Regeneration in einem Belebungsbecken im Kreislauf geführt werden.

**Tabelle 7-7: Einflussgrößen beim Betrieb von Biowäschern und Rieselbettreaktoren [zusammengestellt nach (VDI, 1996 a) und (Ryser, 1993)]**

<b>Biowäscher</b>	<b>Rieselbettreaktoren</b>
<p><b><u>Absorber</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abluftinhaltsstoffe (Abbaubarkeit)</li> <li>- Rohgaskonzentration</li> <li>- Feinverteilung des Absorbens</li> <li>- Verweilzeit des Abgases im Absorber</li> <li>- Temperatur im Absorber</li> <li>- pH-Wert in der Waschflüssigkeit</li> <li>- Zusätze im Absorbens (zB Lösungsvermittler)</li> </ul> <p><b><u>Belebungsbecken</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- eingetragene Substratfracht und -zusammensetzung</li> <li>- Adaption der Mikroorganismen</li> <li>- Aufenthaltszeit des Absorbens (Beckengröße)</li> <li>- Feinverteilung der eingeblasenen Luft (O<sub>2</sub>-Ausnutzung)</li> <li>- Konzentration des gelösten O<sub>2</sub> im Belebtschlamm</li> <li>- Temperatur</li> <li>- pH-Wert</li> <li>- Salzgehalt</li> <li>- Nährstoffe</li> </ul>	<p><b><u>Abluftqualität</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abluftinhaltsstoffe (Abbaubarkeit)</li> <li>- Rohgaskonzentration</li> </ul> <p><b><u>Betriebsparameter</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berieselungsdichte</li> <li>- Verweilzeit des Abgases im Reaktor</li> <li>- Adaption der Mikroorganismen</li> <li>- Temperatur im Reaktor</li> </ul> <p><b><u>Milieu in der umlaufenden Waschflüssigkeit</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pH-Wert</li> <li>- Salzgehalt</li> <li>- Nährstoffe</li> </ul> <p><b><u>Füllkörper/Einbauten</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- benetzte Oberfläche</li> <li>- Besiedelungsdichte</li> <li>- Dicke des Biofilms</li> <li>- Sauerstoffübergang</li> </ul>

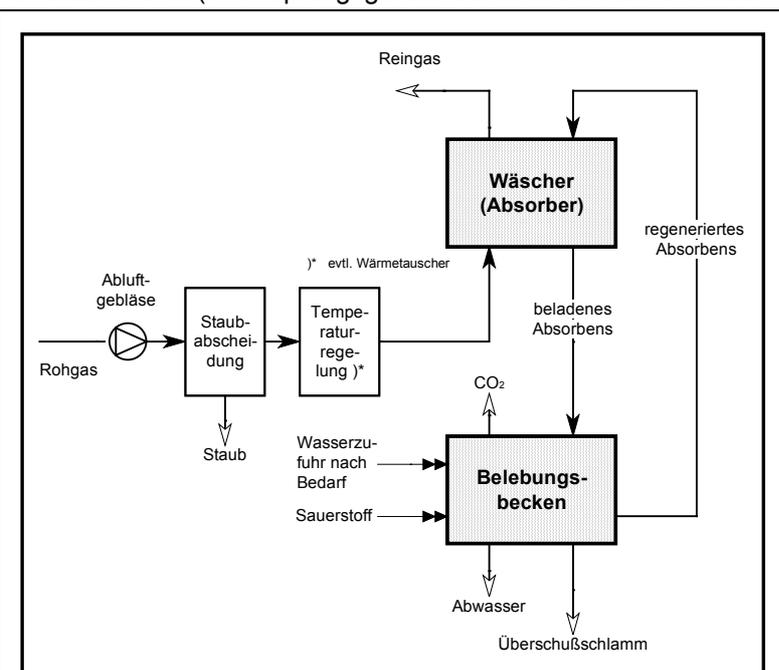
### Bodenkolonnenwäscher

Dieses Bauprinzip eines Biowäschers verlegt das Belebtschlammbecken auf mehrere Etagen (Kolonnen), die direkt von der feinverteilten Abluft von unten nach oben durchströmt werden. Die Absorption der zu entfernenden Abluftinhaltsstoffe (Geruchsstoffe) und die Regeneration der Waschflüssigkeit finden im gleichen Aggregat statt. Im Gegenstrom von oben nach unten wird Waschflüssigkeit zum Austrag von Überschussschlamm über die Kolonnenböden geleitet.

Jeder Boden wirkt über eine kurze Blasensäule wie ein kleines Belebungsbecken, was einen intensiven Kontakt zwischen Gas- und Wasserphase erlaubt (Fischer, 1997). Die Reinigungsleistung liegt in der Regel höher als bei klassischen Sprühwäschern mit getrennt angeordneten Belebungsbecken.

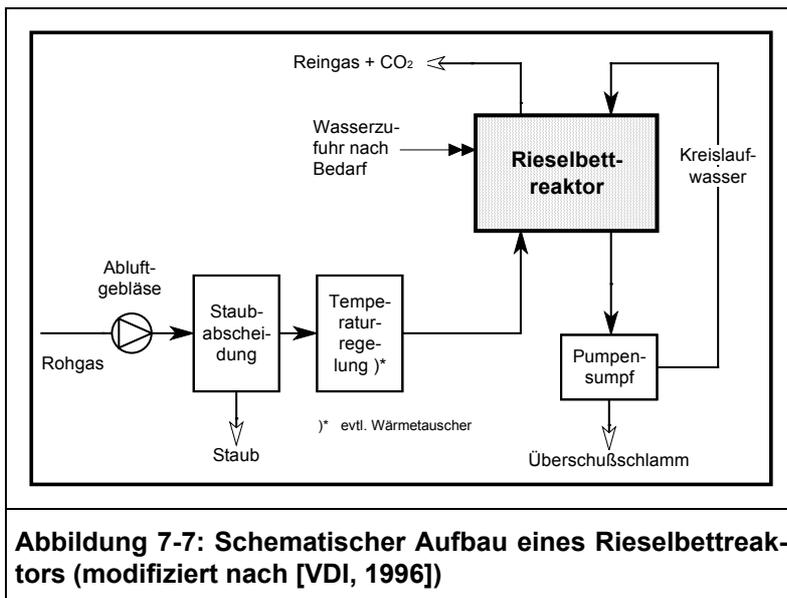
### Füll- und Tropfkörperwäscher

Im Gegensatz zum Belebtschlammverfahren, bei dem die mikrobielle Regeneration des Waschwassers in einem belüftetem Belebungsbecken oder auf Bodenkolonnen stattfindet, siedeln beim Rieselbettverfahren Mikroorganismen in Form eines biologischen Rasens direkt auf der Oberfläche der festen Einbauten (Tropfkörper) oder der im Reaktorraum befindlichen inerten Füllkörper. Die Leistungsfähigkeit von Rieselbettreaktoren hängt in erster Linie von der Größe des biologischen Rasens ab. Daher kommt den Füllkörpern bzw. Einbauten eine besondere Bedeutung zu. Ein ausgewogenes Verhältnis von aktiver Oberfläche, die möglichst groß sein sollte, und der Größe der für Wasser und Luft zugänglichen Kanäle ist anzustreben (Verstopfungsgefahr durch Wachstum der Mikroorganismen).



**Abbildung 7-6: Schematischer Aufbau eines Biowäschers [modifiziert nach (VDI, 1996)]**

Die Waschflüssigkeit wird bei diesem Wäschertyp über Düsen oder Drehsprenger gleichmäßig über die Einbauten/Füllkörper verteilt und durchströmt den Reaktor von oben nach unten. Zur Abscheidung von Überschussschlamm und als Pumpsumpf zur Kreislaufführung des Absorbens muss unterhalb des eigentlichen Reaktors eine Auffangwanne installiert sein (s.a. Abbildung 6.5). Der zu reinigende Abluftstrom kann sowohl im Gegen- als auch im Kreuzstrom zum Waschwasser durch den Wäscher geleitet werden. Für den Stoffübergang von der Gas- in die flüssige Phase spielt die Berieselungsdichte eine wichtige Rolle (Fischer, 1997).



**Abbildung 7-7: Schematischer Aufbau eines Rieseltbettreaktors (modifiziert nach [VDI, 1996])**

Abluft durch Membranschläuche geleitet, die die aus dem Luftstrom zu entfernenden Stoffe (zB Aromate wie Toluol und Styrol) sorbieren, welche dann aufgrund des Konzentrationsgefälles durch die Membran diffundieren. Die abbaubaren Mikroorganismen haben so direkten Zugang zu den zu eliminierenden Substanzen, ohne dass diese in der wässrigen Phase gelöst werden müssen [(Reiser et al., 1997) und (Fischer, 1997)].

Der Anwendungsbereich von Biomembranreaktoren ist allerdings v.a. in industriellen Prozessen zu sehen, die zB Lösemittel emittieren. Für die Reinigung von Abluftströmen, die mit Geruchsstoffen beladen sind, eignet sich das Verfahren zumindest bisher praktisch nicht.

### 7.2.6.5 Andere Reinigungsverfahren

Neben den oben behandelten biologischen Abluftreinigungsverfahren, die aufgrund ihrer spezifischen Reinigungswirkung speziell bei Geruchsstoffen aus Kompostierungsprozessen gute bis sehr gute Wirkungsgrade erreichen, existiert noch eine ganze Reihe von Abgasreinigungssystemen für verschiedenste Rohgaszusammensetzungen. Hierzu zählen im einzelnen:

- Chemische Absorptionsprozesse (in Ergänzung zu den physikalisch/oxidativen, die bei der biologischen Gaswäsche eingesetzt werden),
- Adsorptionsprozesse (physikalisch oder chemisch),
- Oxidationsprozesse (thermische und katalytische Verbrennung) und
- physikalische Verfahren (UV-Licht, elektrische Felder).

#### Absorption

Zur Eliminierung von Geruchsstoffen aus Kompostierungsabgasen sind in Sonderfällen v.a. chemische Absorptionsprozesse das Mittel der Wahl. So können zB Ammoniak und Amine durch saure Waschflüssigkeiten (Schwefelsäure, bzw. auch Salpetersäure bei Ammoniak) in weit stärkerem Maße aus dem Abluftstrom entfernt werden, als dies beim Einsatz von zusatzfreiem Wasser möglich wäre. Beispielsweise bei der Kompostierung von Abwasserschlamm oder Hühnerkot (enges C/N-Verhältnis) kann dies unumgänglich sein, da bei diesen Ausgangsstoffen aus dem aeroben Abbau stickstoffreicher Verbindungen Ammoniak in großen Mengen freigesetzt wird.

Zur Entschwefelung H<sub>2</sub>S-haltiger Abgase können dagegen oxidativ alkalische Waschlösungen beitragen. In diesen Fällen wird dem Washwasser Natronlauge zugegeben, was auch die Absorption von organischen Säuren, Phenolen und Kresolen fördert (Jüstel, 1987). Die Zugabe oxidierender Reaktionsmittel

Die Einflussfaktoren, die für den Betrieb von Rieseltbettreaktoren von Bedeutung sind, zeigt Tabelle 6.7.

### 7.2.6.4 Biomembranverfahren

Das Biomembranverfahren wurde speziell für schwer wasserlösliche und leichtflüchtige Stoffe entwickelt. Sein Funktionsprinzip beruht auf der Permeation von Abluftinhaltsstoffen durch eine Membran aus Silikonkautschuk zu einer wässrigen Lösung, die als Lebensraum für die auf der Membran siedelnden Mikroorganismen dient. Hierzu wird zB beim Schlauchreaktor die zu reinigende

(Kaliumpermanganat, Wasserstoffperoxid, Ozon etc. in wässriger Lösung) in die Waschflüssigkeit ist zwar prinzipiell möglich, wird aber bei der Desodorierung von Abluftströmen aus der Kompostierung derzeit kaum angewandt. Hier wird das Einblasen von Luftsauerstoff in das Belebtschlammbecken zur Regenerierung des Waschwassers in Biowäschern als ausreichend angesehen. In der VDI-Richtlinie 2443 (VDI, 1995 b) werden die Verfahren der oxidierenden Gaswäsche und die eingesetzten Oxidationsmittel näher beschrieben. Mögliche Einsatzgebiete sind:

- Kläranlagen
- chemische Industrie
- Halbleiterherstellung
- Metallveredelung

Für Abgase aus industriellen Prozessen (Glasherstellung, NE-Metallverarbeitung, Chemie etc.) und Verbrennungsanlagen kommen oft auch trocken oder halbtrocken arbeitende Reinigungsverfahren zum Einsatz, die sich des Prinzips der sogenannten Chemiesorption bedienen (VDI, 1995 b). Bei der Abluftreinigung in Kompostwerken spielen diese Verfahren aufgrund ihres Reinigungsprinzips keine Rolle.

**Tabelle 7-8: Beispiele für die chemische und oxidative Abgaswäsche (zusammengestellt nach (Jüstel, 1987) und (Krill et al., 1994))**

Waschflüssigkeit Lösungsmittel	Reaktion der Absorbentien	Absorbentien	auszuwaschende Stoffe
Wasser	alkalisch	Natronlauge Kalilauge Natriumhydrogencarbonat u.a.	Schwefelwasserstoff organische Säuren Phenole, Kresole Merkaptane
Wasser	sauer	Salpetersäure	Ammoniak
		Schwefelsäure	Ammoniak Amine Pyridine
Wasser	oxidierend	Kaliumpermanganat Wasserstoffperoxid ) <sup>1</sup> Ozon ) <sup>1</sup> Natriumhypochlorit ) <sup>2</sup> Chlor ) <sup>2</sup> u.a.	Schwefelwasserstoff Schwefeldioxid alle organischen Geruchs- stoffe
<sup>1</sup> zusätzliche UV-Bestrahlung erhöht die Reaktivität <sup>2</sup> Einsatz fraglich, da toxische oder explosive und/oder biologisch schwer abbaubare Oxidationsprodukte entstehen können [VDI, 1995 b]			

Unter Adsorptionsvorgängen bei der Abgasreinigung wird die Anlagerung von Gas- oder Dampfmolekülen (Adsorptive) an der inneren Oberfläche hochporöser Feststoffe (Adsorbentien) verstanden (Krill et al., 1994). Der zur Regenerierung bzw. Reaktivierung von verbrauchten Adsorbentien benutzte Austreibungsprozess der adsorbierten Stoffe heißt Desorption. Adsorbierungsvorgänge sind exotherm, zur Desorption muss Energie zugeführt werden.

Zur adsorptiven Abgasreinigung werden vor allem Aktivkohlen eingesetzt, die zu über 90% aus Graphitkristallen bestehen und bei guter Qualität innere Oberflächen von über 1.000 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> aufweisen. Weitere in technischen Prozessen zur Abscheidung von organischen Abgasinhaltsstoffen eingesetzte Adsorbentien sind sogenannte Adsorberharze (unpolare, makroporöse Polymere) und Zeolithe (Silizium-, Magnesium- und Aluminiumoxide). Wichtige Eigenschaften für technische Adsorbentien sind:

- Hydrophobie (möglichst geringes Aufnahmevermögen für Wasserdampf),
- hohe Selektivität für die abzuscheidenden Stoffe,
- hohe Adsorptionskapazität (große spezifische Oberfläche),
- gute Desorbierbarkeit (leichte Regeneration und Reaktivierung),

- chemische und Temperaturbeständigkeit.

Ihre hauptsächliche Verbreitung finden Adsorptionsverfahren zur Abluftreinigung in Betrieben mit lösemittelhaltiger Abluft (Lackierereien etc.), in der chemischen und in der Lebensmittelindustrie, bei der Eisen- und NE-Metallverhüttung und bei der Rauchgasreinigung. Weitere Anwendungsgebiete sind die Reinigung von Abluftströmen bei der Bodensanierung und von Biogasen (Deponiegas, Abfallvergärung). Prinzipiell sind Adsorber auch zur Geruchsverminderung verwendbar (zB Aktivkohlefilter), bei der Kompostierung von Abfällen werden sie jedoch derzeit nicht eingesetzt.

### **Thermische und katalytische Verfahren**

Organische Luftschadstoffe, Keime oder belästigend wirkende Abgasinhaltsstoffe / Geruchsstoffe, die im wesentlichen die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff enthalten, können durch Verbrennung (Regenerativ Thermischen Oxidation ([RTO]) bei 800 - 1.200 °C in CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O überführt werden. Dabei entstehen aber auch unerwünschte Abgaskomponenten (zB CO, NO<sub>x</sub>). Bei der Verbrennung von schwefelhaltigen Substanzen ist mit der Bildung von SO<sub>2</sub> und SO<sub>3</sub> zu rechnen, stickstoffhaltige Verbindungen führen zu NO und NO<sub>2</sub> im Abgas. Der einwandfreie Ausbrand hängt bei ausreichender Sauerstoffzufuhr (überstöchiometrisch) von folgenden Parametern ab:

- Konzentration und Art der zu oxidierenden Stoffe
- Vorwärmung auf Zündtemperatur
- Verweilzeit und Turbulenz in der Brennkammer
- Brennkammer-Endtemperatur
- Strömungsverhältnisse in der Brennkammer

Als Zusatzstoffe werden in der Regel Erdgas, Flüssiggas oder Heizöl EL verwandt, um eine möglichst schadstoffarme Verbrennung zu gewährleisten. Anwendungsgebiete sind zB Abgase aus

- chemischen und petrochemischen Prozessen,
- Lösemittel und Weichmacher verarbeitenden Prozessen,
- der Nahrungs- und Genussmittelindustrie,
- der Trocknung und Aufbereitung von Industrieabfällen und Klärschlämmen,
- der Tierkörperverwertung und
- der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung.

Aus dem Betrieb einer Regenerativ Thermischen Oxidation (RTO) resultiert ein hoher Brennstoffbedarf für die Stützfeuerung. Bei energieoptimierten Systemen (ca. 95 % thermischer Wirkungsgrad) muss mit einem Energieverbrauch von 9 bis 14 kWh Heizleistung/1.000 m<sup>3</sup> Abluft gerechnet werden. Da die entsprechende Heizleistung in der Abluft von Kompostierungsanlagen nicht enthalten ist – notwendig sind 1,5 bis 2 g TOC (C<sub>ges.</sub>) /m<sup>3</sup> – muss die erforderliche Heizleistung durch Fremdenergie bereitgestellt werden. Daraus errechnet sich ein Brennstoffverbrauch von ca. 0,7 bis 1,1 m<sup>3</sup> Erdgas/1.000 m<sup>3</sup> Abluft. Da es sich beim Erdgas um eine fossile Ressource handelt, schlagen die CO<sub>2</sub>-Abgase in diesem Fall klimarelevant zu Buche.

Die Investitions- und Betriebskosten für eine RTO sind vor dem Hintergrund der schwachbelasteten Abluft einer geschlossenen Kompostierungsanlage nach dem Stand der Technik unverhältnismäßig hoch.

Aus dem Bereich der Abfallkompostierung sind derzeit keine thermischen Abluftbehandlungsanlagen bekannt, obwohl sie sich aufgrund der chemischen Zusammensetzung von Geruchsstoffen im Prinzip auch zur Desodorierung von Kompostierungsabluft eignen würden. Die Menge der anfallenden Abgase aus geschlossenen Kompostwerken und die daraus resultierenden hohen Kosten (Brennstoff) dürften hierfür der Hauptgrund sein.

Bei 350 - 500 °C in Anwesenheit eines Katalysators stattfindende Oxidationsprozesse werden v.a. bei der Reinigung von Abgasen aus der Herstellung und Verarbeitung von Harzen, Lacken, Lebens- und Genussmitteln, chemischen und petrochemischen Produkten und aus Verbrennungsprozessen eingesetzt.

### **Physikalische Verfahren**

Auf dem Gebiet der physikalischen Verfahren ist zur Zeit eine schnelle Fortentwicklung des technischen Standards zu verzeichnen. Durch den Eintrag von hohen Energiemengen werden die in der Abluft enthaltenen Schadstoffe angeregt, so dass sie reaktiv werden und sich somit chemisch verändern. Dies wird u.a. durch UV-Bestrahlung oder durch hochfrequente elektromagnetische Wechselfelder erreicht.

Zwei Prinzipien haben einen Entwicklungsstand erreicht, der einen Einsatz unter großtechnischen Bedingungen erlaubt (ITU und Müsken, 1998):

- UV-Licht-Verfahren und
- Plasma-Verfahren.

Die Bestrahlung feuchter, sauerstoffhaltiger Gasgemische mit UV-Licht lässt über den Zwischenschritt Ozon und Wasserstoffperoxid stark reagierende OH-Radikale entstehen, die eine Kettenreaktion auslösen, die theoretisch zum vollständigen Abbau der Geruchsstoffmoleküle zu CO<sub>2</sub> und Wasser führt.

Die Plasma-Verfahren rufen durch pulsierende elektrische Felder Molekülschwingungen hervor (nicht-thermisches Plasma), die neben der Bildung von Ionen zur Abspaltung funktionaler Gruppen führen. In feuchter Luft entstehen wie beim UV-Verfahren hochreaktive Radikale. Durch die Regelung der Feldstärke kann die Reaktivität gesteuert und durch die Verwendung von Katalysatoren (zB Titandioxid) weiter gesteigert werden. Speziell bei hohen Geruchsstoffkonzentrationen sind hohe Wirkungsgrade möglich. Demgegenüber sind die Abscheidegrade der physikalischen Verfahren beim TOC als nicht zufriedenstellend zu bewerten (Rafflenbeul, 1998[SP41]; Fischer et al., 2002[SP42]).

Bei Untersuchungen diverser Anlagen in der Abfall- und Abwasserwirtschaft mit physikalischen Verfahren fand Amann (2003[SP43]) Geruchsabscheidegrade von max. 30%. Bei anderen industriellen Prozessen, wo die Anlage gezielt auf bestimmte Stoffe fokussiert werden kann, gibt es durchaus hohe Abscheidegrade. Generell ist nach Amann aber für die Zukunft nicht auszuschließen, dass physikalische Verfahren bzw. auch Kombinationsverfahren mit biologischen Verfahren (Fischer et al., 2002[SP44]) in der Abfallwirtschaft Anwendung finden.

### **7.2.7 Generelle Strategien und Methoden für Sanierungsmaßnahmen und Störfallbehebung**

Nicht dem Stand der Technik entsprechende, also vermeidbare Geruchsemissionen können grundsätzlich behoben werden durch:

- 1.) Technische Maßnahmen (Behebung von Planungsfehlern und technische Sanierungsmaßnahmen)
- 2.) Änderung der Betriebsführung (betriebliche Maßnahmen)
- 3.) Professionelles Reagieren auf objektive und subjektive (Anrainerbeschwerden) „Störfälle“

2.) und 3.) gehören zum Qualitätsmanagement der Kompostierung im engeren Sinne.

Es ist weiters eine Unterscheidung zu treffen zwischen Emissionen/Immissionen, die für Arbeitnehmer einerseits und andererseits für die Anrainer besonders zu berücksichtigen sind.

Es ist weiters eine Unterscheidung zu treffen zwischen Emissionen/Immissionen, die für Arbeitnehmer einerseits und andererseits für die Anrainer besonders zu berücksichtigen sind.

### 7.2.7.1 Mindestanforderungen an ein innerbetriebliches Konzept

Grundsätzlich ist ein *innerbetriebliches Konzept* erforderlich, das sämtliche Belange des ordnungsgemäßen Ablaufs bestmöglich unterstützt. Dies ist nur durch eine klare Anleitung, Kompetenz und Schulung des Betriebspersonals für den Regelbetrieb aber insbesondere auch für Störfälle möglich.

Jeder Anlagenbetrieb kann nur so gut sein, wie es die Motivation und die Ausbildung bzw. Erfahrung des Betriebspersonals zulässt. Aufbauend auf der Sensibilisierung des Personals für die Belange des Emissionsschutzes müssen zum emissionsarmen Betrieb des Kompostwerkes entsprechende Handlungsanweisungen vorliegen. Diese Anleitungen müssen umfassen:

- Alle notwendigen Hinweise zur Minimierung von Geruchsemissionen im laufenden Betrieb, wie zB die Handhabung des Luftmanagements, die Auswirkungen der Rotteführung, das Entstehen und die Vermeidung diffuser Geruchsquellen etc.
- Ggf. genaue Anweisungen zu Kontrolle und Wartung der Einrichtungen zur Abluftreinigung
- Eine möglichst detaillierte Beschreibung des Störfallmanagements, die auch die Vorgehensweise bei notwendigen Reparaturarbeiten enthält
- Ggf. Anweisungen zur Eigenkontrolle im betriebseigenen Labor

Dabei ist von folgenden Prämissen ausgehen:

- Das Betriebspersonal ist durch entsprechende Erfahrung und evtl. Schulung in der Lage, alle Anlagenteile ordnungsgemäß zu bedienen. Dies setzt voraus, dass während der Betriebszeit mindestens ein Entscheidungsbefugter anwesend ist und außerhalb der Betriebszeit durch die Einrichtung eines Notdienstes sichergestellt wird, dass innerhalb kürzester Zeit verantwortliches Personal auf der Anlage eintreffen kann, um Störfälle zu beheben.
- Die Wartung der für die Emissionssituation entscheidenden Anlagenteile (Entstaubungseinrichtungen, Zu- und Abluftaggregate, Biofilter etc.) erfolgt in regelmäßigen Abständen nach einem Wartungsplan, der die Betriebs- bzw. Standzeiten einzelner Aggregate sowie evtl. Vorgaben der jeweiligen Hersteller berücksichtigt. Eine entsprechende Vorhaltung von Ersatzteilen wird dabei vorausgesetzt.
- Zur Dokumentation der Witterungsverhältnisse im Zusammenhang mit den Bearbeitungsschritten kann die Messung folgender meteorologischen Daten hilfreich sein:
  - Lufttemperatur
  - Windrichtung und -stärke
  - Niederschlagsmengen
  - relative Luftfeuchte
- Eingangskontrolle für die in den einzelnen Betriebsteilen verarbeiteten Abfälle
- Durchführung von Analysen zur Eigenkontrolle, wie zB Wassergehalt und pH-Wert in Rottegut und Filtermaterial (bei geschlossenen Kompostierungsverfahren mit Zwangsbelüftung)
- Befolgung der Anforderungen an Betriebsführung und Dokumentation des Abschnitt 5.

Die Verhinderung von vermeidbaren Geruchsemissionen setzt voraus, dass beim Betrieb einer *eingehausten Kompostierungsanlage* stets darauf geachtet wird, dass

- im Außenbereich (Verkehrsflächen, Anlieferung von besonderen Abfällen, wie zB Grünabfällen oder stark wasserhaltigen Abfällen, Direktverladung von Kompost etc.) zur Verhinderung von diffusen Quellen eine regelmäßige (arbeitstägliche) Reinigung der Verkehrswege, der Verladestation für Kompost und des Anlieferungsbereiches vorgenommen wird,
- Hallentore nur dann geöffnet werden, wenn dies betriebstechnisch erforderlich ist, und sofort nach Gebrauch wieder geschlossen werden (zB Einbau von elektrischen Meldeeinrichtungen, die es möglich machen, von der Leitwarte aus offen stehende Tore zu erkennen),
- die Hallentore automatisch geöffnet und geschlossen werden können (Fernsteuerung zB vom Radlader aus),
- im Außenbereich möglichst keine Abfälle oder Kompost unkontrolliert zwischengelagert werden,
- Anlagenteile, in die geruchsbeladene Abluftströme eingeleitet werden (Mehrfachnutzung von Luftströmen), entsprechend abgesaugt und diese Luftströme entweder anderen geschlossenen und entlüfteten Anlagenteilen oder direkt dem Biofilter zugeführt werden,

- ein Steuerprogramm für alle Be- und Entlüftungseinrichtungen vorhanden ist, in dem alle Betriebszustände der Gesamtanlage sowie einzelner Teile bzw. Aggregate berücksichtigt werden (zB Tag- und Nachtbetrieb, Wartungsarbeiten in sonst arbeitsplatzfreien Anlagenteilen, Störfälle, Neubelegung von Filtersegmenten, Mindestluftwechselzahlen etc.), so dass die vorgegebenen Randbedingungen zur Minimierung von Geruchsemissionen eingehalten werden können,
- in den abgesaugten Anlagenteilen dauernd ein leichter Unterdruck erzeugt wird, um diffuses Austreten von Geruchsstoffen zu verhindern,
- die Vorgaben zur Filterpflege und zum Filterbetrieb (siehe Abschnitt Abluftreinigung) vorrangig erfüllt werden.

### 7.2.7.2 Umgang mit Beschwerdeführern

Das Betriebspersonal von Rotteanlagen für Bioabfälle ist normalerweise nicht für den behutsamen Umgang mit Menschen geschult, die sich in ihren Rechten oder sogar in ihrer körperlichen Unversehrtheit bedroht fühlen. Dabei ist es gerade beim Auftreten von deutlichen Geruchsimmissionen in der Nachbarschaft eines Kompostwerkes dringend notwendig, einem Beschwerdeführer mit etwas psychologischem Geschick und vor allem Einfühlungsvermögen nicht das Gefühl zu geben, seine Sorgen seien völlig unberechtigt. Im Gegenteil sollte die Gelegenheit sofort dazu genutzt werden, eventuelle Schwachstellen im eigenen Betrieb zu erkennen und wenn möglich zu beseitigen.

In allen Fällen, in denen es zu Beschwerden wegen Geruchsbelästigungen gekommen ist und in denen nur eine Hinhalte- und Beruhigungstaktik angewandt wurde, eskalierte der Konflikt mit der Nachbarschaft deutlich. Eine schlechte Presse, politische Auseinandersetzungen und die Gründung von Bürgerinitiativen erlaubten dann im Endeffekt nur noch eine Flucht nach vorn, mit entsprechend großem Aufwand an Personal und Geld. Der Grund der Auseinandersetzung, das Auftreten von Geruchsbelästigungen, musste in jedem Fall beseitigt werden.

Natürlich gibt es auch nach den Regeln des Immissionsschutzrechtes unzulässige Beschwerden, bei denen zB besondere Empfindlichkeiten oder sogar finanzielle Interessen eine Rolle spielen. In diesen Fällen bleibt als Möglichkeit der Konfliktbereinigung oft nur der Wegzug des Beschwerdeführers, was sicher mit nicht unerheblichen Kosten verbunden ist, oder eine Einigung auf der Basis eines finanziellen „Ausgleiches“. In beiden Fällen sollte die für die Betriebsgenehmigung der betroffenen Kompostierungsanlage zuständige Behörde eng in die Entscheidungsfindung eingebunden werden.

Gemäß ÖNORM S 2206-1 (2004) „Anforderungen an ein Qualitätssicherungssystem für die Herstellung von Komposten – Teil 1: Grundlagen für die Qualitätssicherung eines Betriebes und der betriebsinternen technischen Abläufe“ ist im Rahmen des Beschwerdemanagements zumindest Folgendes zu dokumentieren:

- Name, Adresse und Telefonnummer des Beschwerdeführers
- Datum, Uhrzeit
- Gegenstand der Beschwerde
- unmittelbare Beantwortung
- zum Zeitpunkt der Beschwerde durchgeführte Arbeiten
- Wetterverhältnisse (zB Temperatur, Windrichtung, Niederschläge)
- Betriebliche Maßnahmen auf Grund der Beschwerde
- Benachrichtigung des Beschwerdeführers.

### 7.2.7.3 Vermeidbare Geruchsemissionen bzw. -immissionen

Tabelle 7-9 fasst noch einmal mögliche Quellen für Geruchsemissionen und Regelmechanismen, die zu deren Vermeidung führen, zusammen. Die Maßnahmen zur Emissionsminderung reichen dabei von Eingriffen in den Betriebsablauf bis zur Umrüstung von Aggregaten.

Neben der einwandfreien technischen Ausrüstung kommt der Betriebsführung und dem Engagement des Anlagenpersonals die größte Bedeutung bei der Minimierung von Geruchsemissionen zu. Aber auch die technische Ausstattung eines Kompostwerkes und die vorausschauende Planung von Betriebsabläufen haben einen deutlichen Einfluss.

**Tabelle 7-9: Mögliche Quellen für vermeidbare Geruchsemissionen (nach VDI 3475 Blatt 1, 2003)**

Anlagenteil	Probleme	Folgen	zu ergreifende Maßnahmen
<b>Verkehrswege</b>	Verunreinigungen	diffuse Geruchsemissionen	strikte Einhaltung des Reinigungsprogramms
<b>Bunker</b>	geruchsintensive Anlieferung und/oder nasse Inputmaterialien	erhöhte Geruchsemission (auch in nachfolgenden Anlagenteilen)	Verkürzung des Abfuhrintervalls (Bioabfälle), bevorzugte und schnelle Verarbeitung (zB Markt- und Gastronomieabfälle)
	längere Zwischenlagerung von Abfällen (zB wegen Anlagenstillstand)	erhöhte Geruchsemission (auch in nachfolgenden Anlagenteilen)	Ausfallverbund mit anderen Werken, auf jeden Fall arbeitstägliche Leerung und Aufbereitung
	Presswässer aus Sammelfahrzeugen	erhöhte Geruchsemission im Übernahmebereich und auf Verkehrsflächen	separate Auffangeinrichtung für Fahrzeuge mit Presswassertank, regelmäßige Reinigung
	offene Tore	diffuse Geruchsemissionen	Automatiktüren (zB vom Radlader aus zu bedienen), Trennung von Annahmebereich und eigentlichem Bunker (Schleusenfunktion, v.a. bei Tiefbunkern praktikabel)
<b>Grob-aufbereitung</b>	nasse Inputmaterialien	Verstopfungen, Presswässer etc., daraus resultierend erhöhte Geruchsemissionen	Ausreichender Strukturgutvorrat
	mangelhafte Materialübergabestellen	Materialaustritt aus dem Stofffluss, Verunreinigungen am Boden und auf Aggregaten, daraus resultierend erhöhte Geruchsemissionen	Umrüstung der fehlerhaften Anlagenteile. Materialmischung ändern (C:N-Verhältnis, Struktur und Erhöhung des Wasserhaltevermögens durch Kompost und Gesteinsmehle, Lehmhaltige Erde)
	geruchsintensive Reststoffe	erhöhte Geruchsemission aus den Reststoffbehältern	im Außenbereich Abdeckung oder generelle Aufstellung im abgesaugten Innenbereich
	Falsche oder zu feine Aufbereitung von Strukturmaterial	verringertes Porenvolumen	Gezielte Aufbereitung
<b>Rotte</b>	Materialbewegungen bei ungünstiger Wetterlage/Windrichtung (offene Rotte)	erhöhte Geruchsemissionen in Richtung nahe gelegener Nachbarschaft	Umstellung des Betriebsablaufes
	zu geringer Strukturanteil im Rottegut	schlechte Sauerstoffversorgung im Rottegut, in der Folge erhöhte Geruchsemissionen	Anteil an Strukturmaterial erhöhen, weniger stark zerkleinern, Mietenquerschnitt verringern, aktiv (stärker) belüften
	mangelnder Rottefortschritt	erhöhte Geruchsemissionen beim Materialaustrag, in der Feinaufbereitung und im Lager	Optimierung des Rottebetriebes, evtl. Senkung des Durchsatzes bzw. Vergrößerung der Rottekapazität
	Wasserhaushalt (zu nasses bzw. zu trockenes Rottegut)	erhöhte Geruchsemissionen	Optimierung der Bewässerungsmaßnahmen
	zu hohe Mientemperatur	erhöhte Geruchsemissionen	aktive Belüftung, Begrenzung des Mietenquerschnitts
	zu hohe Mieten bzw. zu große Mietenquerschnitte	Verdichtungen am Mietenfuß (Anaerobien), nicht ausreichende Funktion der Belüftung (v.a. bei Saugbelüftung zu hoher Mieten)	Änderung von Mienenhöhe bzw. -querschnitt

Anlagenteil	Probleme	Folgen	zu ergreifende Maßnahmen
	zu starke Belüftung	Austrocknung des Rottegutes (Trockenblasen) führt zu mangelhaftem Rottefortschritt (s.o.)	Optimierung der Belüftung
	Saugbelüftung falsch konzipiert	Ansammlung von Kondensat in den Lüftungsleitungen, erhöhte Geruchsemissionen	Sickerwasserklappen, Isolierung der Leitungen
	nachlässiger Umgang mit emissionsmindernden Maßnahmen (zB Abdeckungen offener Mieten nach dem Umsetzen)	stark erhöhte Geruchsemissionen	Optimierung des Betriebsablaufes
<b>Fein-aufbereitung</b>	mangelhafte Materialübergabestellen	Materialaustritt aus dem Stofffluss, Verunreinigungen am Boden und auf Aggregaten, daraus resultierend erhöhte Geruchsemissionen	Umrüstung der fehlerhaften Anlagenteile
	geruchsintensive Reststoffe (v.a. bei Frischkompost)	erhöhte Geruchsemission aus den Reststoffbehältern	im Außenbereich Abdeckung oder ggf. Aufstellung im abgesaugten Innenbereich
	nicht ausgerottetes Kompostmaterial	erhöhte Geruchsemissionen	Optimierung des Rottebetriebes, evtl. Senkung des Durchsatzes bzw. Vergrößerung der Rottekapazität
	Verladung im Freien	erhöhte Geruchsemissionen (v.a. bei Frischkompost)	Einhausung des Anlagenteils oder Einsatz von Abwurfschläuchen
<b>Lager</b>	nicht bewirtschaftete Lagermieten	erneute Selbsterwärmung des Kompostes, erhöhte Geruchsemissionen bei Materialbewegungen	Umstellung des Betriebsablaufes (zB regelmäßiges Umsetzen, Begrenzung der Mietenhöhe, Belüftung der Lagermieten etc.)
	mangelnde Kapazität	erhöhte Geruchsemissionen	Auslagerung überschüssiger Mengen, Erweiterung des Lagers
	zu hoher Durchsatz	absinkender Rottegrad, Überlastung aller Anlagenteile, erhöhte Geruchsemissionen	strikte Begrenzung der verarbeiteten Tagesmenge, evtl. Ausfallverbund mit anderen Werken
<b>Alle Bereiche</b>	mangelnde Sauberkeit	Entstehung diffuser Geruchsquellen	strikte Einhaltung des Reinigungsprogramms (mindestens arbeitstäglich)
	Zeitmangel, Personalmangel	unpräzise Arbeitsweise, mangelhafte Kontrolle und Wartung, daher erhöhte Geruchsemissionen	Durchsatzbegrenzung, mehr Personal
	schlechtes Luftmanagement	zu große Abluftströme, daher Steigerung der emittierten Geruchsfracht	strikte Einhaltung der entsprechenden Vorgaben, evtl. Umrüstung bzw. Optimierung der Lüftungsanlage
	falsch konzipierte Lüftungsanlagen mit zu geringen Absaugleistungen	Geruchsstoffaustritte an Leckagen in der Hallenhaut	evtl. Umrüstung bzw. Optimierung der Lüftungsanlage
	mangelhafte Abluftreinigung (schlechte Konzeption bzw. Wartung)	erhöhte Geruchsemissionen	Überwachungs- und Wartungsplan, evtl. Optimierung der Abluftreinigungsanlagen
	mangelhaftes Störfallmanagement	länger als nötig andauernde Ausfälle von Anlagenteilen	eindeutige Betriebsanweisungen für Störfälle und entsprechende Unterweisung des Personals

Anlagenteil	Probleme	Folgen	zu ergreifende Maßnahmen
	offenstehende Türen und Tore in geschlossen konzipierten Anlagen	Entstehung diffuser Geruchsquellen	strikte Einhaltung der entsprechenden Vorgaben, evtl. Umrüstung der Tore auf Automatikbetrieb mit Fernsteuerung, zentrale Überwachung aller Tore und Türen (Schließmelder)

In offenen bzw. nur teilweise eingehausten Anlagen mit ungünstigen Bedingungen des Standortes und/oder der Ausbreitungsverhältnisse für Geruchsstoffe kann mit Hilfe eines Systems zur immissionsreduzierten Anlagensteuerung erreicht werden, dass unvermeidliche, nur temporär auftretende Geruchsemissionen (zB bei Beschickungs- und Umsetzungsvorgängen) nur in unbewohntes Gebiet abgegeben werden. Dies setzt voraus, dass die Kompostanlage über

- eine geeignete Wetterstation,
- eine Online-Ausbreitungssimulation und
- ein entsprechendes Betriebskonzept

verfügt. Damit ist das Betriebspersonal in der Lage, kritische Situationen im Anlagenumfeld zu erkennen und entsprechende Maßnahmen zur Verminderung der aktuell abgegebenen Geruchsfracht zu ergreifen.

### 7.2.8 Zusammenfassung: Fehler in Anlagenplanung und -betrieb (Betriebsführung)

Die Analyse von geruchstechnischen Problemen zeigt, dass folgende Problemkreise regelmäßig relevant sind:

#### (A) Planungsfehler

- Unterschätzung der Geruchsemissionsstärke der gewählten Kompostierungstechnik bereits im Planungsstadium und entsprechend ungenügende Maßnahmen zum Emissionsschutz.
- Falsche Bemessung des Rotteteils, daraus resultierend nicht ausreichende Stabilisierung bzw. Humifizierung (Abbaugrad) im Fertigprodukt und verstärkte Geruchsemissionen bei der Kompostkonfektionierung und im Lagerbereich.<sup>13</sup>
- Ungenügend ausgestattete bzw. falsch dimensionierte Abluftreinigungsanlagen sowie schlechtes Luftmanagement (Stichworte: Filtermaterial, Rohgaskonditionierung) bei ganz oder teilweise geschlossenen ausgeführten Anlagen.
- Technische Probleme beim Betrieb der Kompostierungsanlage mit der Folge nicht eingeplanter Betriebszustände und entsprechend höheren Emissionen (zB kein „Notfallsplan“ bei Ausfall eines Aggregats).

#### (B) Betriebsführung

- Nachlässige Betriebsführung, die den Belangen des Emissionsschutzes nicht genügend Rechnung trägt (Stichworte: keine Berücksichtigung der vorherrschenden oder der erwarteten Wetterverhältnisse bei der Betriebsführung von offenen Anlagen bzw. offene Tore und andere diffuse Quellen bei gekapselten Anlagen).
- Mängel bei der Materialaufbereitung
- Unterschätzung der Wirkung „kleiner“ Geruchsquellen, wie zB offene Reststoffcontainer, Prozesswasserspeicher oder die offene Verladung von Frischkompost.
- Unzureichende (Eigen-)Kontrolle und Wartung der Abluftreinigungsanlagen (Stichwort: Filterpflege).

#### (C) Einflüsse von außen

<sup>13</sup> Dies kann sich in der Folge in einer unzureichenden Pflanzenverträglichkeit (Phytotoxizität) zeigen. Beim Selbsterhitzungstest nach RAL GZ 251 kann dies einen Rottegrad von II anstatt IV ergeben. Der Selbsterhitzungstest wird jedoch in Österreich routinemäßig nicht durchgeführt.

- Verharmlosung von Beschwerden von Nachbarn durch den Anlagenbetreiber und damit Eskalation der Auseinandersetzung über erträgliche Bedingungen im Umfeld des betroffenen Werkes, aber auch Ausnutzung der Situation durch Nachbarn, die sich einen materiellen Gewinn versprechen, wenn sie an sich zumutbare Immissionen problematisieren.
- Zögerliches Vorgehen bei der Problemlösung, sei es aus Kosten- oder aus Imagegründen.
- Heranrücken von Wohnbebauung oder Gewerbe an die Grenzen des Kompostwerkes durch Neubauten nach der Inbetriebnahme.

### **Typische Fehler in Technik und Betriebsführung, die zu Geruchsproblemen führen**

- Anlieferung von bereits geruchsintensiven Abfällen, zB wenn auch im Sommer längere Abfuhrintervalle für Bioabfälle gefahren werden (alternierender, meist 14-tägiger Sammelrhythmus). Zumindest im Sommer sollte daher die Biotonne wöchentlich abgeführt werden.
- Längere Zwischenlagerung von Abfällen vor der Verarbeitung im Bunker- bzw. Anlieferungsbe- reich, zB wegen eines Anlagenstillstands.
- Verarbeitung von nassen Materialien (zB aus dem Bereich der Gastronomie oder von Märkten) bei gleichzeitigem Mangel an Strukturmaterial.
- Mangelhafte, strukturzerstörende Materialaufbereitung kann in weiterer Folge Anaerobie verur- sachen
- Fehlende Auffangeinrichtungen für Presswässer aus den Sammelfahrzeugen im Bunkerbe- reich.
- Offenstehen lassen von eigentlich geschlossen konzipierten Anlagenteilen v.a. im Anlieferungs-, Aufbereitungs- und Rotteteil und dadurch stark erhöhte diffuse Geruchsemissionen.
- Vernachlässigung der regelmäßigen Reinigung aller Verkehrswege vor allem im Übernahme-, Aufbereitungs- und Hauptrottebereich zur Verhinderung diffuser Geruchsemissionen.
- Bewegung von geruchsintensivem Material bei ungünstigen Windrichtungen (zB zum Nachbarn hin) oder bei entsprechenden Wetterlagen (zB Inversion), v.a. bei offenen Mieten, aber auch im Lagerbereich relevant.
- Überlastung der Anlage durch zu hohen Materialdurchsatz. In diesem Fall kann es oft zu sich addierenden Effekten bzgl. der Emissionsstärke kommen, wie beispielsweise:
  - Zu kurze Verweilzeiten in gekapselten Intensiv- bzw. Hauptrottereaktoren und dadurch un- zureichende Stabilisierung in dieser ersten Rottephase
  - Vergrößerung des Mietenquerschnitts in der Hauptrotte, zugleich Beibehaltung des Um- setzintervalls bei gleicher Materialmischung (Strukturanteil), mit dem Effekt, dass die erfor- derliche Stabilisierung/Humifizierung im Fertigprodukt nicht erreicht wird und stärkere E- missionen in allen Rotteabschnitten bis ins Kompostlager auftreten
  - Überlastung des Kompostlagers (Folge: zu hohe und/oder nicht bewirtschaftete Lagermie- ten, erneute Selbsterwärmung des Kompostes und damit höhere Geruchsemissionen)
  - Überlastung der Abgasreinigungsanlagen wegen erhöhter Geruchsfrachten aus allen stär- ker beanspruchten Anlagenteilen
  - Generell unpräzisere Arbeitsweise wegen Zeitmangels (Folge: Fällige Reinigungs-, Kon- troll- und Wartungsarbeiten werden zu spät und/oder mangelhaft ausgeführt)
- Falsch konzipierte oder mangelhaft ausgeführte Materialübergabestellen zwischen einzelnen Aggregaten, dadurch zB dauernde Verunreinigungen am Boden (v.a. Grob- und Feinaufberei- tung) (Folge: Diffuse Geruchsquellen)
- Vernachlässigung der regelmäßigen Kontrolle und Wartung der Abluftreinigungsanlage (s.a. Abschnitt "Abluftreinigung") bzw. sonstiger emissionsmindernder Maßnahmen (zB Abdeckung von offenen Mieten mit Häckselgut oder extra hierfür vorgesehener Planen)
- Ungenügende Reaktion auf Störfälle, wie zB Ausfall von Ventilatoren oder von einzelnen Ag- gregaten (Beispiel: Eintrag Rottehalle liegt still, daher Überlastung bzw. zu lange Lagerzeit un- behandelte Abfälle im Übernahmehbereich)

- Nichtbeachtung von Vorgaben zum Luftmanagement (zB Mehrfachnutzung von Luftströmen) und dadurch höhere Abluftvolumina im Reingasstrom mit entsprechender Steigerung der emittierten Geruchsfracht (nur bei teilweise oder ganz geschlossenen Anlagen)

## 7.2.9 Richtwerte für einen ordnungsgemäßen Betrieb und für die Begrenzung von Geruchsemissionen

### 7.2.9.1 Grundsätzliches

Richtwerte für die Begrenzung von Geruchsemissionen dürfen nur unter Beachtung der Grenzen der olfaktometrischen Messtechnik festgelegt werden. Daher ist es notwendig, zunächst olfaktometrische Messdaten zu interpretieren und zu bewerten.

Die Ermittlung der Geruchsschwelle mit Hilfe von Probanden (DIN EN 13725 „Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie“, 2003) ist ein objektives Messverfahren (ISO 5492, Sensory Analysis–Vocabulary).

Antwertschwankungen um drei Verdünnungsstufen sind bei einer Einzelmessung (12 Messreihen, drei Durchgänge mit vier Probanden) in der Regel zu erwarten (VDI, 2002<sup>14</sup>). Die Grenzen des 95%-Vertrauensbereiches liegen bei Wiederholungsmessungen durch dasselbe Labor um den Faktor 3 auseinander, so dass bei einem „wahren“ Mittelwert von beispielsweise 300 GE m<sup>-3</sup> auch 200 bzw. 450 GE m<sup>-3</sup> noch akzeptable Messergebnisse wären. Im Vergleich verschiedener Labore ist mit größeren Streubreiten zu rechnen (Faktor 4)<sup>15</sup>, so dass in diesem Fall die Vertrauensbereichsgrenzen um den Faktor 2 auseinander liegen dürfen.

Bei der Festlegung von Emissionswerten kommen daher zwei Ansätze in Betracht:

- Mittelwert
- Obergrenze des 95%-Vertrauensbereiches

Wird ein Mittelwert als Grenzwert festgelegt, so ist die messtechnisch unausweichliche Schwankungsbreite der Messergebnisse zu berücksichtigen. Ein Messergebnis, das sich unter Wiederhol- oder Vergleichbedingungen innerhalb der zu erwartenden Streuung um den geforderten Mittelwert bewegt, ist im messtechnischen Sinn ein „richtiges“ Ergebnis, der Grenzwert mithin eingehalten.

Soll als Grenzwert die Obergrenze des 95%-Vertrauensbereiches gelten, muss der auf diese Weise festgelegte Wert bei jeder Messung unterschritten werden. Außerdem wäre wiederum festzulegen, ob der Wert auf die Wiederholungsmessung durch ein Labor oder eine Vergleichsmessung verschiedener Labors Bezug genommen wird!

Insofern sind Grenzwertregelungen, wie sie zB in der Ö-Norm S 2205 oder in der deutschen TA-Luft getroffen werden, unscharf und nicht praxisgerecht. Hier ist eine Präzisierung gemäß den obigen Ausführungen dringend geboten. Ein Grenzwert für Geruchsemissionen aus Biofiltern von beispielsweise 500 GE m<sup>-3</sup> ließe unter Wiederholbedingungen (gleiches Labor) eine Schwankungsbreite des Mittelwertes von 250 bis 1.000 GE m<sup>-3</sup> erwarten. Wird dieser Grenzwert als absolute Obergrenze angesehen, so müssten die Messergebnisse zwischen 125 und 500 GE m<sup>-3</sup> liegen, der „wirkliche“ Grenzwert läge mithin bei 250 GE m<sup>-3</sup>. Dieser Wert ist im Dauerbetrieb mit Biofiltern praktisch nicht bzw. nur mit großem Aufwand zu erreichen und zudem an den meisten Anlagenstandorten für einen wirksamen Immissionschutz nicht notwendig, wenn zB die Vorgabe „kein Rohgasgeruch im Reingas feststellbar“ eingehalten wird. Diese Sichtweise wird durch Untersuchungen an offenen Flächenbiofiltern bestätigt, nach denen Biofil-

<sup>14</sup> VDI, 2002. Biologische Abgasreinigung - Biofilter, VDI-Richtlinie 3477 (Entwurf)

<sup>15</sup> Die Geruchsstoffkonzentration ist der absolute Reziprokwert der Verdünnung an der Geruchsschwelle in [GE/m<sup>3</sup>]. Deshalb repräsentiert die Obergrenze die **höhere** Geruchsstoffkonzentration [VDI, 2002].

tergerüche aus ebenerdigen Filteranlagen bei ordnungsgemäßem Betrieb i.d.R. nur eine Reichweite von unter 100 m haben (Both et al., 1997<sup>16</sup>).

#### 7.2.9.2 Detaillierte Emissions- und Immissionsbetrachtung – Die Abstandsregelung

Die mittlerweile verfügbare Datenbasis erlaubt es, mit genügender Genauigkeit eine Emissionsprognose für jedwede Anlagentechnik zu erstellen, auf deren Basis die Immissionshäufigkeiten in der Umgebung eines Standortes berechnet und dargestellt werden können. Kleinklimatischen Besonderheiten, wie zB Kaltluftabflüssen oder Inversionswetterlagen, muss dabei über eine differenzierte Betrachtungsweise Rechnung getragen werden.

Werden Maßnahmen zur Begrenzung von Geruchsemissionen aus Kompostierungsanlagen diskutiert, so sollten mindestens folgende Randbedingungen berücksichtigt werden:

- Anlagendurchsatz
- Art der verarbeiteten Abfälle
- Standortabhängigkeiten (zB Abstand zur nächsten Bebauung, meteorologische Gegebenheiten)
- Integrierte Emissionsminderung, Abluftreinigungseinrichtung
- Verfügbare Messtechnik zur Überprüfung der Anforderungen

Zudem ist es sinnvoll, Geruchsstoffströme, deren hedonische Tönung als nicht unangenehm eingestuft wird, nicht in die Berechnung der Gesamtfracht einer Anlage aufzunehmen. Dies gilt v.a. für die Reingase von Abluftfiltern, kann aber auch für bestimmte andere Emissionsquellen (zB Verladung von Fertigkompost) gelten.

Abstandsregelungen haben den Vorteil, das einfachste Regelungskriterium, jedoch relativ unflexibel zu sein. Je nach Standort und angewandter Technik ist eine flexiblere, die Gegebenheiten des Einzelfalles berücksichtigende Vorgehensweise vorzuziehen. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Techniken, sei es bei der Rotteführung, der Emissionsminderung bei offenen Rotteanlagen oder bei der Abluftreinigung in geschlossenen Anlagen, kann die Emissionsstärke so weit reduziert werden, dass unzumutbare Belästigungen im Anlagenumfeld nicht auftreten.

Dennoch haben sich Abstandsregelungen in der Praxis bewährt. Aufgrund von Erfahrungswerten hinsichtlich der Quellstärken verschiedener Rotteverfahren und deren Außenwirkung (Immissionen) werden daher Abstandsregelungen und Anforderungen an eine durchzuführende Emissions- und Immissionsbetrachtung (siehe 7.2.9.3) in Abhängigkeit der Randbedingungen des konkreten Standortes, der verarbeiteten Materialart und der Jahresdurchsatzleistung festgelegt.

Diese Regelung erfolgt für beide Kompostierungsverfahren (geschlossen / offen), da eine unsachgemäße Rotteführung und mangelndes Qualitätsmanagement in beiden Systemen bei Unterschreiten der entsprechenden Entfernungen in Abhängigkeit der topographischen und kleinklimatischen Bedingungen zu einer Häufung von Immissionsereignissen führen können.

#### **Standard Abstandsregelung und Voraussetzung für die Durchführung einer detaillierten Einzelfallbetrachtung**

Eine detaillierte Emissions- und Immissionsbetrachtung im Zuge des Genehmigungsverfahrens ist jedenfalls bei Zutreffen der Voraussetzungen in Tabelle 7-10 durchzuführen. Im Falle von geschlossenen Übernahme- und Intensivrottesystemen ist von einer maximal zulässigen Geruchsstoffkonzentration im Abgas von 500 GE/m<sup>3</sup> auszugehen (siehe unten).

---

<sup>16</sup> Both, R. et al., 1997. Biofiltergerüche und ihre Reichweite - eine Abstandsregelung für die Genehmigungspraxis, in: Biological Waste Gas Cleaning, Proceedings of an International Symposium in Maastricht, 28. - 29. April 1997, VDI-Verlag, Düsseldorf

**Tabelle 7-10: Richtwerte für Mindestabstände zwischen Kompostanlage und Nutzungen mit Standard-Schutzbedarf<sup>1)</sup> bzw. zwischen Kompostanlage und Nachbarschaft mit erhöhtem Schutzbedarf, ab deren Unterschreitung eine detaillierte Einzelfallbetrachtung in Abhängigkeit der verarbeiteten Materialart und des Jahresdurchsatzes zur Überprüfung der Standorteignung durchzuführen ist.**

OFFENE MIETENKOMPOSTIERUNG							
Jahresdurchsatz	≤ 1.000 t	1.001-5.000 t	5.001 – 10.000 t		10.001 – 20.000 t		> 20.000
<b>Abstand<sup>3)</sup> Offene Anlagen → Nutzung mit <u>Standard Schutzbedarf</u></b>	< 300 m	< 300 m	< 300 m	300–500 m	< 500 m	500-1.000 m	< 1.000 m
Grünschnittkompostierung <sup>2)</sup>	✓	nur mit Gutachten	nur mit Gutachten	✓	nur mit Gutachten	✓	nur mit Gutachten
Bioabfall & Klärschlammkompostierung	nur mit Gutachten <sup>4)</sup>	nur mit Gutachten					

GESCHLOSSENE ÜBERNAHME- UND KOMPOSTIERUNGSBEREICHE					
Jahresdurchsatz	≤ 1.000 t	1.001-5.000 t	5.001 – 10.000 t		> 20.000
<b>Abstand<sup>3)</sup> geschlossene Anlagen → Nutzung mit <u>Standard Schutzbedarf</u></b>	< 300 m	< 300 m	< 300 m		< 300 m
Grünschnittkompostierung <sup>2)</sup>	✓	✓	✓		nur mit Gutachten
Bioabfall & Klärschlammkompostierung	nur mit Gutachten <sup>4)</sup>	nur mit Gutachten			

<b>Nachbarschaft mit <u>erhöhtem Schutzbedarf</u>: <i>Krankenhaus, Rehabilitationszentrum, Kurgebiet etc.</i></b>
Ein Gutachten auf Basis einer detaillierten Einzelfallbetrachtung ist unabhängig von Materialart, Mengendurchsatz und Kompostierungssystem ab einem Abstand von <i>weniger als 1.000 m</i> erforderlich.

- ✓ Ein **Gutachten** auf Basis einer detaillierten Emissions- und Immissionsbetrachtung ist **nicht erforderlich**
- 1) Zu den Nutzungen mit Standard Schutzbedarf zählen die Widmungen: Wohngebiet, Kerngebiet, Freizeit- und Sportanlagen, Erholungsgebiete, Schulen, öffentliche Parks, Spiel- und Liegewiesen, Freibäder, Campingplätze, Gaststätten.
- 2) Hierzu zählt die Kompostierung folgender Materialien: organische Abfällen aus dem Garten- und Grünflächenbereich, (und die in dieser Gruppe aufgelisteten Ausgangsmaterialien gemäß Anlage 1, Kompostverordnung (BGBl. I Nr. 292/2001) mit den Nummern 102, 103, 104, 105), getrennt gesammelte organische Friedhofsabfälle (Nr. 116), verdorbenes Saatgut (Nr. 111) sowie rockene Ernterückstände, Heu, Getreide, Rinde, Stroh, Reben, Holz, Sägespäne, Sägemehl.
- 3) Die Entfernungsmessung erfolgt ab Außengrenze jenes Anlagenteils einer Kompostierungsanlage, von dem eine Geruchsemission zu erwarten ist (zB: Begrenzung der Hauptrottefläche, Außenkante des Biofilters oder der Rottehalle) bis zum Immissionsrezeptor im Sinne des Schutzzieles (Ort der Immission).
- 4) Die bewilligende Behörde kann im Falle einer Verarbeitungsmenge ≤ 1000 t a<sup>-1</sup> auf Basis einer Augenscheinsbegutachtung des Standortes auf die Durchführung einer detaillierten Einzelfallbetrachtung verzichten.

Bei Einhaltung größerer Abstände zu einem relevanten Ort der Immission als in Tabelle 7-10 angegeben ist die Erstellung eines Gutachtens auf Basis einer detaillierten Emissions- und Immissionsbetrachtung routinemäßig nicht erforderlich. Dies gilt also grundsätzlich für sämtliche Kompostierungsanlagen die mehr als 1000 m von einem Immissionsort mit Schutzbedarf entfernt sind.

### **Zusätzliche Voraussetzungen unter denen eine detaillierte Emissions- und Immissionsbetrachtung erforderlich ist oder sein kann**

#### **a) Offene und geschlossene bzw. teilweise geschlossene Kompostierungsanlagen:**

- In begründeten Ausnahmen auch unterhalb der in Tabelle 7-10 angeführten Durchsatzmengen (zB bei häufigem Auftreten von Inversionswetterlagen oder anderen kleinklimatischen Besonderheiten).

#### **b) Geschlossene Kompostierungsanlagen:**

- Bei Unterschreitung der Mindestdauer der eingehausten Intensivrotte von 14 Tagen auch bei Unterschreitung eines Mindestabstandes von 500 m zu einem Immissionsort mit Standard-Schutzbedarf. Dies gilt für die Verarbeitung sämtlicher Materialarten.

### **Vorgangsweise bei bereits bestehenden Anlagen**

Eine obligatorische nachträgliche Verpflichtung zur Einhaltung dieser Abstandsregelung bzw. zur Durchführung einer detaillierten Emissions- und Immissionsbetrachtung für im Betrieb befindliche Anlagen ist routinemäßig nicht erforderlich. Nachträgliche Anordnungen zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen können jedoch bei bestehenden Anlagen getroffen werden, wenn nachweislich und wiederholt Probleme auftreten. In Wahrung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit sind in diesem Fall jedoch zunächst alle betrieblichen Maßnahmen (Reduktion der Durchsatzleistung, Anpassung der Materialzusammensetzung und des Mietenmanagements, Optimierung des Luftmanagements etc.) auszuschöpfen. Erst wenn anhand von evtl. erforderlichen Gutachten mittels Ausbreitungsrechnungen und Geruchsmessungen nachgewiesen werden konnte, dass auch diese Maßnahmen zu keiner Besserung geführt haben, kann im Einzelfall die Notwendigkeit einer Kapselung mit Abluftreinigung anhand der konkreten Umstände notwendig sein<sup>17</sup>.

### **Abluftreinigungsanlagen müssen im Reingas folgenden Ansprüchen genügen:**

- Maximale Geruchsstoffkonzentration in der Abluft von 500 GE/m<sup>3</sup> als Mittelwert – die messtechnisch bedingte Schwankungsbreite der Messungen wird hierin berücksichtigt (siehe Ausführungen in 7.2.9.1)
- Wurde bei der Emissions-/Immissionsprognose die Geruchsfahrt der Filterreingase nicht berücksichtigt, so darf kein Rohgasgeruch im Reingas mehr feststellbar sein (hedonische Prüfung). Zudem ist ein Pflege- und Wartungskonzept für die Abgasreinigung aufzustellen und durchzuführen sowie in regelmäßigen Abständen deren ordnungsgemäßer Betrieb entsprechend ÖWAV Regelblatt 513 „Betrieb von Biofiltern“ nachzuweisen (siehe auch Abschnitt 7.2.6.2).
- Die staubförmigen Emissionen im Abgas sollten die Massenkonzentration von 10 mg m<sup>-3</sup> nicht überschreiten<sup>18</sup>

Generell sollten darüber hinaus die Anforderungen an die Betriebsführung, wie sie im Abschnitt 7.2.7.1, „Innerbetriebliches Konzept“ beschrieben sind, Eingang in die Auflagen des Genehmigungsbescheides finden. Bei der Formulierung der Anforderungen – insbesondere an die Emissionsbegrenzung und an Immissionswerte – wären sämtliche relevante Emissionen zu berücksichtigen. Nach den vorliegenden Erfahrungen für Kompostierungsanlagen sind dies Geruch, ggf. Gesamtstaub (Immissionswert: Schwebstaub [PM-10]), Keime und Lärm.

---

<sup>17</sup> zB ergibt eine Gesamtbetrachtung von Wortlaut, Systematik und Verhältnismäßigkeitsgrundsatz der deutschen TA Luft, dass die Aufstellung von Mindestabstandsregelungen nicht im Sinne von Vorsorgeanforderungen für bestehende Anlagen zu verstehen sind. Mindestabstands- und Kapselungsregelungen sind daher nur bei der Ersterrichtung betreffender Anlagen einzuhalten (Kersting, A., 2004, Rechtsfragen zur erforderlichen Kapselung von Kompostierungsanlagen gemäß TA Luft 2002, Bio- und Restabfallbehandlung VIII, Fachbuchreihe Abfall-Wirtschaft des Witzenhausen-Instituts für Abfall, Umwelt und Energie, Seiten 669-674, Witzenhausen).

<sup>18</sup> Hier wird der Emissionswert der Technischen Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen, TA Luft, 2002 als Stand der Technik übernommen.

### 7.2.9.3 Umfang einer detaillierten Einzelfallbetrachtung (wenn nach 7.2.9.2 erforderlich)

#### **Standort und Anlagentechnik**

Der Anlagenstandort einer Kompostierungsanlage ist bzgl. der Emissionen auf folgende Kriterien zu prüfen:

- **Abstände** zu relevanten Bebauungen (zB Wohngebiete, Gewerbegebiete etc.) und Nutzungen (zB Naherholungsgebiete etc.) in der Umgebung
- **Meteorologie** im Hinblick auf Windverhältnisse (Windrichtung und -geschwindigkeit), Inversionswetterlagen oder andere kleinklimatische Besonderheiten
- **Topographie** im Hinblick auf mögliche Kaltluftabflüsse und Einflüsse der Orographie auf das Windfeld.

Zur technischen Ausrüstung und zum Anlagenbetrieb finden sich Hinweise im Abschnitt 7.2.5 (*Generelle Strategien und Methoden für Sanierungsmaßnahmen und Störfallbehebung*), insbesondere im Abschnitt *Vermeidbare Geruchsemissionen bzw. -immissionen*.

#### **Emissionsprognose**

Die Prognose der Geruchsstoffemissionen aus Kompostierungsanlagen sollte umfassen:

- Die Darstellung der Emissionsquellen (alle relevanten Anlagenteile, zB mechanische Abfallbehandlung, Kompostierung, Verkehrsflächen etc), der Austrittsbedingungen und der zeitlichen und räumlichen Verteilungsbedingungen für Geruchsstoffe
- Eine Abschätzung der Quellstärken auf der Grundlage des Planungskonzeptes und in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der angelieferten Abfälle. Die Abschätzung der Quellstärken kann auf der Basis von vergleichbaren Literaturdaten und Messergebnissen von vergleichbaren Anlagen erfolgen
- Prüfung auf mögliche nicht bestimmungsgemäße Betriebszustände, sofern erforderlich
- Zusammenstellung der Emissionsdaten (Eingangsdaten für die Ausbreitungsrechnung)

Sind im Anlagenumfeld bereits Geruchsquellen als Vorbelastung gemäß GIRL<sup>19</sup> vorhanden, so sind diese in die Emissionsprognose mit einzubeziehen (Abschätzung der Stärke der Vorbelastungsquellen (Geruchsstoffe) analog zur Vorgehensweise für die untersuchte Kompostierungsanlage).

#### **Immissionsprognose und -bewertung**

Eine Immissionsprognose für das Anlagenumfeld enthält folgende Teile, wobei die Ausbreitungsrechnung für geplante Standorte und für bestehende Anlage herangezogen werden kann, jedoch die Begehungen nur für in Betrieb befindliche Anlagen eine alternative Methode darstellt:

- Die **Ausbreitungsrechnung zur Prognose von Geruchsstoffimmissionen**, muss mit einem adäquaten Modell entsprechend den individuellen Rahmenbedingungen für den Normalbetriebsfall der Kompostierungsanlage im geplanten Ausbauzustand durchgeführt werden (zB nach der TA-Luft 1986 (Faktor-10-Modell) oder nach der TA-Luft 2002, Programm AUSTAL2000).
  - Die Berechnung der Zusatzbelastung (IZ) erfolgt gemäß Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL)<sup>19</sup>
  - Eine Analogiebeurteilung aus bestehenden Anlagen vergleichbarer Auslegung ist zulässig
- **Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen**; Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen; Rastermessung: VDI 3940 Blatt 1 (Entwurf) 2003-11. Fahnenmessung: VDI 3940 Blatt 2 (Entwurf) 2003-11

<sup>19</sup> GIRL, 2004. Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie - GIRL - ) in der Fassung vom 21. September 2004; mit Begründung und Auslegungshinweisen.  
<http://www.hlug.de/medien/luft/emisskassel/dokumente/GIRLneu20040921.pdf>

- Begehungen des Anlagenumfeldes zur Feststellung der Immissionsbelastung (zB gemäß GIRL<sup>19</sup>) sind nur sinnvoll, wenn
  - ⇒ die Vorbelastung an einem Standort nicht zweifelsfrei bestehenden Anlagen, die dann emissionsseitig abgeschätzt werden können (Emissionsprognose als Basis für eine Ausbreitungsrechnung), zuzuordnen ist oder
  - ⇒ die Auswirkungen einer bereits bestehenden Anlage überprüft werden müssen, deren Emissionspotenzial strittig ist oder
  - ⇒ Meteorologie oder Topographie keine Ausbreitungsrechnung zulassen.

Eine Rasterbegehung ist sehr zeit- und kostenintensiv und im Ergebnis nicht genauer wie eine fachgerecht ausgeführte Emissions-/Immissionsprognose.

Eine Fahnenbegehung ist demgegenüber eine in vielen Fällen praktikable, aussagekräftige und kostengünstigere Alternative.

- **Bewertung der prognostizierten Geruchsimmissionen.** Die Beurteilung erfolgt in Anlehnung an die deutsche Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL<sup>19</sup>; Gesamtbelastung [=IG]):
  - (A) Der Jahresgeruchszeitanteil darf am Ort der Immission in Gebieten mit der Widmung bzw. Nutzung: Wohngebiet, Kerngebiet, Freizeit- und Sportanlagen, Kur und Erholungsgebiete, Schulen, öffentliche Parks, Spiel- und Liegewiesen, Freibäder, Campingplätze, Tennishallen, Golfplätze und Gaststätten nicht mehr als 10 % (IW=0,10) der Gesamtjahresstunden betragen.
  - (B) Der Jahresgeruchszeitanteil darf am Ort der Immission in Gebieten mit der Widmung bzw. Nutzung: Gewerbe- (Betriebs-) und Industriegebiete, Dorfgebiete, gemischte Baugebiete, Handelsgroßbetriebe und Einkaufszentren nicht mehr als 15 % (IW=0,15) der Gesamtjahresstunden betragen. Als Ort der Immission kommt hier die ortsfeste Nutzung im Sinne des Wohnens und Arbeitens in Betracht.
  - (C) Die Einhaltung der Grenzwerte kann entweder über eine Ausbreitungsrechnung oder mittels Begehung überprüft werden.
- Erörterung der Relevanz von **nicht bestimmungsgemäßen Betriebszuständen** im Hinblick auf Häufigkeit und Intensität von Geruchsereignissen in der Umgebung des Anlagenstandortes, sofern erforderlich.
- **Bewertung der topographischen und meteorologischen Verhältnisse** am Anlagenstandort. Darstellung der verwendeten Winddaten und Analyse von austauscharmen (kritischen!) Ausbreitungssituationen (zB Inversionen und Kaltluftabflüsse).

Im Bedarfsfall werden im Anlagenumfeld bereits vorhandene Geruchsquellen als Vorbelastung gemäß GIRL in die Immissionsprognose mit einbezogen, falls die Zusatzbelastung IZ aus dem Betrieb der Kompostierung die Irrelevanzgrenze gemäß GIRL überschreitet:

- Durchführung einer Immissionsprognose für die Ermittlung der Vorbelastung des Immissionsgebietes (IV) im Untersuchungsgebiet nach GIRL
- Bewertung der prognostizierten Geruchsimmissionen auf der Grundlage der Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL) und Einarbeitung der Ergebnisse in die Immissionsprognose (Gesamtbelastung [IG])

Es wird also zunächst die Vorbelastung des Immissionsgebietes (IV) festgestellt und dann zu dieser die sich aus der Ausbreitungsrechnung bzw. Begehung ergebende Zusatzbelastung (IZ) addiert. Eine evtl. vorhandene Vorbelastung (IV) braucht nicht berücksichtigt zu werden, wenn auf den Beurteilungsflächen bei der Zusatzbelastung die Irrelevanzgrenze (IZ = 0,02 - Überschreitung der Geruchsschwelle in bis zu 2 % der Jahresstunden) eingehalten wird. Die Auslegungshinweise zur GIRL lassen bei der Beurteilung einen gewissen Spielraum zu. So können z.B. für Mischgebiete, die von der Gebietsstruktur her eher einem Gewerbegebiet zuzuordnen sind (beispielsweise durch landwirtschaftliche Betriebe geprägte Ortslagen), höhere Immissionswerte (IW) zulässig sein, die zwischen den Grenzwerten für Wohn- und Gewerbegebiete liegen.

### **7.3 Steuerung des Wasserhaushaltes und flüssige Emissionen**

Sickerwasser entsteht vor allem in der Anfangsphase der Rotte, wenn mit einem Wassergehalt möglichst an der Grenze der Wasserkapazität der Materialmischung der Abbauprozess gefördert werden muss. In dieser Phase setzt sich das Sickerwasser (Perkolat) aus Presswasser, abbaubedingtem Zellwasser und dem überschüssig zugegebenen oder niederschlagsbedingten durch die Mieten durchsickernden Wasser und dem Oberflächenwasser zusammen.

Dieses Sickerwasser ist mit leicht abbaubaren organischen Stoffen und Neutralsalzen belastet. Im weiteren Rotteverlauf geht der Anteil an leicht abbaubaren organischen Substanzen zurück, gegen Ende der Rotte überwiegen schwer abbaubare organische Substanzen bzw. bereits Vorstufen der Huminsäuren im Sickerwasser. Die Schwermetallkonzentrationen sind im Sickerwasser naturgemäß sehr gering; der Stickstoffaustrag ist ebenfalls äußerst gering, er liegt im Regelfall nicht einmal im %-Bereich des Gesamtstickstoffes des Materials.

Das während des Rotteprozesses gebildete Sickerwasser darf grundsätzlich nicht in den Untergrund eindringen und dadurch mehr als eine *bloß geringfügige Verunreinigung des Grund- und Oberflächenwassers* bewirken. Entsprechende Abdichtungs-, Behandlungs- und Verwertungssysteme sind daher unabhängig von der Art des eingesetzten Ausgangsmaterials und vom Standort als Stand der Technik anzusehen.

Für so ausgestattete Anlagen sind Sickerwasseremissionen daher – mit Ausnahme von Grundwasserschutzgebieten und überflutungsgefährdeten Zonen – nicht standortrelevant.

Ausgenommen von dieser Anforderung der flüssigkeitsdichten Basisabdichtung und der kontrollierten Erfassung der Sicker- und Oberflächenwässer ist die Kompostierung von organischen Abfällen aus dem Garten- und Grünflächenbereich (und die in dieser Gruppe gemäß Anlage 1 Kompostverordnung (BGBl. I Nr. 292/2001) aufgelisteten Ausgangsmaterialien mit den Nummern 102, 103, 104, 105), getrennt gesammelte organische Friedhofsabfälle (Nr. 116) sowie Ernterückstände, Stroh, Reben, verdorbenes Saatgut, Stallmist, überlagerte Feldfrüchte u.ä., sofern letztere aus dem eigenen landwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieb stammen. Dabei dürfen nicht mehr als 300 m<sup>3</sup> pro Jahr und Betrieb (Komposthersteller) verarbeitet und an einem Standort nicht mehr als 100 m<sup>3</sup> zugleich gelagert bzw. kompostiert werden.

Die detaillierten Anforderungen für diese „Grünschnitt-Kleinanlagen“ sind in Abschnitt 9.3.2 beschrieben.

#### **7.3.1 Arten von flüssigen Emissionen aus Kompostanlagen**

Die nachgenannten flüssigen Emissionen wurden entsprechend ihrer prozessbedingten Herkunft eingeteilt, sie sind in der Praxis durch meist gemeinsame Ableitungs- und Erfassungssysteme nicht exakt voneinander abzugrenzen.

##### 7.3.1.1 Presswasser

Presswasser entsteht vor allem durch die mechanischen Einwirkungen beim Sammeln des feuchten Bioabfalls durch zB Drehtrommel- bzw. Pressplatten-Sammelfahrzeuge.

Diese Presswasserentwicklung wird durch die während der Lagerung des Bioabfalls in den Sammelbehältern beginnenden Abbauprozesse zusätzlich verstärkt. Es ist daher mit einem zum Teil erheblichen Presswasseranfall im Zuge der Entleerung zu rechnen (bis zu 20 l t<sup>-1</sup> FM). Die Presswassermenge ist materialabhängig, sammelsystemabhängig (Art der Sammelbehälter und -fahrzeuge sowie die Abfuhrintervalle) und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen.

##### 7.3.1.2 Prozesswasser

Prozesswasser ist Wasser, das bei Überschreitung der Wasserkapazität aus dem Rottegut austritt. Dieses setzt sich aus Eigenfeuchtigkeit des Materials sowie aus endogenem Hydrolysewasser, welches auf

Grund mikrobieller Abbauprozesse entsteht<sup>20</sup>, gegebenenfalls vermehrt um Niederschlags- oder Bewässerungswasser, zusammen. Je nach Verfahren besteht grundsätzlich die Möglichkeit, dieses Prozesswasser abzuleiten oder zur Aufrechterhaltung der erforderlichen Prozessfeuchtigkeit rückzuführen.

#### 7.3.1.3 Kondenswasser

Im Zuge der Freisetzung von Abluft aus dem Rottekörper mit einer hohen relativen Luftfeuchtigkeit entsteht bei Abkühlung Kondenswasser. Bei offener Mietenführung in nicht umhausten Anlagen entweicht der Wasserdampf ungehindert. Ein Kondenswasserniederschlag entsteht hier nur in der obersten kühleren Mietenschicht (je nach Temperaturgefälle zwischen Mietenkern und Außenluft und Rottefortschritt bis ca. 15 cm). Im Falle der Abdeckung der Mieten mit synthetischem Kompostvlies schlägt sich Kondenswasser auch an der Unterseite des Vlieses ab.

Bei Kompostierungssystemen mit einer Ablufferfassung fallen je nach Intensität der Abkühlung in der Rottehalle und den Abluftleitungen unterschiedlich hohe Mengen an Kondenswasser an.

Als Inhaltsstoffe liegen im wesentlichen wasserdampfflüchtige und wasserlösliche Verbindungen (zB niedrigere Karbonsäuren, Ammonium) aus dem Abluftstrom vor. Beispiel: Bei Abkühlung einer wasserdampfgesättigten Luft von 60 °C auf 20 °C fallen 113 g Kondenswasser m<sup>-3</sup> Abluft (Mollier-Diagramm) an.

#### 7.3.1.4 Abwasser aus der Anlagenreinigung

Unter Abwasser aus der Anlagenreinigung wird das im Zuge von Reinigungsarbeiten an der Kompostierungsanlage anfallende Abwasser verstanden, welches je nach Verfahren abzuleiten, zu verarbeiten oder zu verwerten ist. Abwasser aus der Maschinen- und Fahrzeugreinigung ist möglichst getrennt von sonstigen Prozesswässern zu behandeln.

#### 7.3.1.5 Niederschlagsbedingtes Abwasser von offenen Mieten-, Manipulations- und Fahrflächen

Darunter wird das von befestigten Flächen, auf denen Kompost gelagert oder manipuliert wird, erfasste Abwasser verstanden, welches je nach Herkunft (zB Mieten-, Manipulations-, Fahr- oder Lagerflächen) einen erhöhten Anteil an gelösten und ungelösten Verunreinigungen aufweisen kann. Aus diesem Grund ist vor der Behandlung dieser Abwässer eine Feststoffabscheidung erforderlich.

Bei gemeinsamer Erfassung aller unter 7.3.1.1 bis 7.3.1.6 anfallenden Abwasserströme fällt Mischwasser an. Unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten (zB niederschlagsbedingte Einflüsse, Verfahrenstechnik) und des Mengenverhältnisses dieser Abwässer ist in der Praxis mit entsprechend geringeren Konzentrationen der relevanten Abwasserinhaltsstoffe zu rechnen.

Für Anlagen, bei denen eine Ableitung der Abwässer vorgesehen ist, sind die einschlägigen Bestimmungen für Entwässerungseinrichtungen sowie die Bestimmungen der diesbezüglichen Abwasseremissionsverordnung (AEV Abfallbehandlung) einzuhalten. Wenn keine Ableitung möglich ist, ist ein Sammelbecken nach dem zweitägigen 5-jährlichen Niederschlagsereignis zu dimensionieren. Als Rechenmodell wird das Beiblatt zu ÖKL-Baumerkblatt 24a herangezogen (ÖKL, 1993[A45]; siehe Abschnitt 7.3.5).

#### 7.3.1.6 Niederschlagsbedingtes Abwasser von Dachflächen

Nicht verunreinigte Dachabwässer können gegebenenfalls über ein Retentionsbecken entweder zur Versickerung gebracht oder als Brauchwasser (zB zur Befeuchtung des Rottegutes, Kühlung, Abluftwäsche) eingesetzt oder in einen geeigneten Vorfluter abgeleitet werden.

---

<sup>20</sup> zB bei biogenen Abfällen aus Haushalten ca. 80 l t<sup>-1</sup> FM bei aeroben Abbauprozessen, wobei ein Großteil als Abluftfeuchtigkeit als Wasserdampf abgeführt wird; dieser Wert verringert sich bei biogenen Abfällen mit geringeren Anteilen an biologisch leicht abbaubaren Inhaltsstoffen

### 7.3.2 Sickerwassermenge

Da die Wasserbilanz, über den gesamten Rottezeitraum betrachtet, infolge abluftbedingter Wasserverluste negativ ist, besteht die Möglichkeit, den gesamten Anfall an nicht niederschlagsbedingtem Press-, Prozess- und Kondenswasser in den Kompostierungsprozess rückzuführen und zu verarbeiten (Erfahrungswerte liegen bei einem Bewässerungsbedarf von ca. 250 l je Tonne frischem Rottegut).

Bei den angegebenen Mengen handelt es sich um Erfahrungswerte, die im Einzelnen sehr wesentlich vom Ausgangsmaterial und vom jeweiligen Verfahren abhängig sind.

**Tabelle 7-11: Beispiele zum spezifischen Mengenanfall von flüssigen Emissionen aus Kompostierungsanlagen**

Einheit	Presswasser	Prozesswasser	Kondenswasser
L t <sup>-1</sup> FM	0 bis 20	0 bis 25	≤ 300

Nach Roth et al. (1990<sup>[SP46]</sup>) fallen bei vollständig überdachter Rotte von Bioabfällen - ohne Verwendung von Zuschlagstoffen - nur geringe Sickerwassermengen an. Im Jahresverlauf ergeben sich im Herbst und im Frühjahr - bedingt durch geringere Schüttgewichte bzw. bessere Struktur - keine oder nur extrem geringe Sickerwassermengen, während im Sommer und im Winter die höchsten Mengen auftreten. Durch Zugabe von gut aufgefasertem Holzhäcksel, Rinde, Sägespäne/-mehl oder gehäckseltem Stroh kann der Sickerwasseranfall in dieser Zeit nahezu vollständig verhindert werden. Bei nicht überdachter Vorrotte ist die Menge des anfallenden Sickerwassers neben den meteorologischen Voraussetzungen und den Materialeigenschaften auch von der Flächenauslegung abhängig. Je geringer der Anteil von Frei- bzw. Wegeflächen gegenüber belegten Rotteflächen ist, desto geringer sind auch die anfallenden Schmutzwassermengen.

Nach Gronauer et al. (1997<sup>[SP47]</sup>) entsteht Sickerwasser aus dem Rottegut nur bei einem Strukturmaterialanteil von weniger als 20 % (v/v).

Für die reine unbelüftete Mietenrotte von Bioabfällen gibt Franke zit. nach Bidlingmaier (1995<sup>[SP48]</sup>) 14 bis 34 l t<sup>-1</sup> FM Sickersäfte an, für kombinierte Verfahren, Drehtrommel/Rottezelle plus unbelüftete Miete 48 bis 63 l t<sup>-1</sup> FM bzw. Drehtrommel plus saugbelüftete Miete 44 bis 56 l t<sup>-1</sup> FM über die gesamte Rottezeit. Die Quantität der Sickerwässer aus den kombinierten Verfahren liegt damit um rund das Doppelte höher als bei der unbelüfteten Mietenrotte. Dies ist wahrscheinlich in dem erhöhten Wasseraustrag der Vorrottesysteme, der über die Abluftreinigung (Kondensate) wieder aufgefangen wird, sowie in der mechanischen Beanspruchung des Rottegrundes, die zum zusätzlichen Austritt von Zellwasser führt, begründet.

Bei der Grüngutkompostierung emittiert endogenes Sickerwasser aus den biologischen und chemischen Umsatzprozessen nur im Zeitraum der Heißrotte (Fischer & Jauch, 1988<sup>[SP49]</sup>). Der in der Folgezeit anfallende Sickersaft ist ausschließlich niederschlagsbedingt. Nur etwa 10 - 15 (maximal 20) % des Niederschlages, der auf den Mietenmantel auftrifft, entweicht als Sickersaft. Roth et al. (1990<sup>[SP50]</sup>) geben den absorbierten bzw. direkt verdunsteten Anteil in Vorrottemieten mit 90 % an.

Die Abdeckung mit Kompostvlies kann den Anteil des Sickersaftes am Niederschlag von im Mittel etwa 13 % auf etwa 1 % senken (Winkler, 1990<sup>[SP51]</sup>)

Mit steigendem Rottealter nimmt der relative Sickerwasseranfall in Relation zum Niederschlag zu. Dies hängt mit den höheren Temperaturen und der damit einhergehenden größeren Verdunstungsrate sowie der höheren Wasserkapazität der Rohkomposte zusammen. Nach den Umsetzungsvorgängen verringert sich der prozentuelle Sickerwasseranfall in den meisten Fällen erheblich. Häufiger umgesetzte Mieten zeigen tendenziell einen reduzierten Sickerwasseraustritt. Beide Zusammenhänge weisen auf die durch die Umsetzungsvorgänge verbesserte Porenstruktur hin, die zum einen das Wasserhaltevermögen und zum anderen die Verdunstungsrate steigert (Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 1991<sup>[SP52]</sup>).

In Versuchen mit Tafelmieten verschiedenen Rottegrades und mit unterschiedlichen Schütthöhen zeigte Rohkompost ein höheres Wasserhaltevermögen als vorgerottetes Material. Über die Rottezeit von 43 - 45 Wochen wurden 2,1 - 3,7 % der Niederschläge als Sickerwasser emittiert. Mit zunehmender Schütt-

höhe nahm die Sickerwassermenge im vorgerotteten Material ab, nahm jedoch durch das vermehrte Prozesswasser zu bei frisch aufgesetztem Rohmaterial (Amlinger, 1993[SP53]).

### 7.3.3 Sickerwasserbelastung

Abwassermenge und Schadstoffbelastung des Abwassers sind von der Beschaffenheit der Abfälle, dem Behandlungsverfahren, der Anlagentechnik und vor allem von dem Verdünnungsgrad durch nicht absorbiertes Niederschlagswasser abhängig (Wintzer et al., 1996). Stichprobenartige Messungen aus Sickerwassersammelbecken unterliegen daher enormen Schwankungen und sind nur schwer zu interpretieren. Grundsätzlich ist die Konzentration an organischen und anorganischen Stoffen im Sickerwasser nach Niederschlägen (Beregnung) auch bei jungem Rottematerial wesentlich niedriger als im rein endogen entstandenem Sickerwasser (Roth, 1991[SP54]).

**Tabelle 7-12: Die Belastungsschwankungen getrennt nach Press-, Prozess- und Kondenswasser sind ÖNORM S 2205 entnommen.**

Parameter	Einheit	Presswasser	Prozesswasser	Kondenswasser
pH	-	4 bis 6	5,5 bis 8,5	6,8 bis 9,0
Leitfähigkeit	mS/cm	≤ 30	0,5 bis 10	0,5 bis 3,5
CSB	mg O <sub>2</sub> /l	≤ 100 000	20 bis 80 000	150 bis 3 000
BSB <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	≤ 80 000	10 bis 60 000	50 bis 1 500
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	100 bis 1 000	500 bis 1 500	30 bis 350
PO <sub>4</sub> -P	mg/l	25	≥ 0,8	0,1 bis 0,5

In Tabelle 7-12 sind die Belastungsschwankungen in Press-, Prozess- und Kondenswasser, in Tabelle 7-14 ist die Bandbreite der Sicker- bzw. Schmutzwasserbelastungen aus verschiedenen Literaturquellen zusammengefasst.

Zur Bewertung der Schwermetallgehalte im Sickerwasser können wasserwirtschaftliche Grenzwertvorgaben herangezogen werden, auch wenn diese in der anzustrebenden Verwertung auf der Kompostanlage selber nicht unmittelbar relevant erscheinen. Die Kenntnis über die diesbezügliche Belastung erleichtert aber eine Einschätzung des Beeinträchtigungspotenziales der Kompostqualität aus dieser Richtung.

In Österreich sind gemäß § 4 bzw. Anlage A der Abwasseremissionsverordnung Abfallbehandlung (AEV Abfallbehandlung / Anonym 1999 [SP55]) für die Abwassereinleitung in Vorfluter bzw. Kanalisation die in der Tabelle 7-13 angeführten Grenzwerte vorgesehen.

**Tabelle 7-13: Auswahl an Grenzwerten für das Einleiten von Abwasser in Fließgewässer und Öffentliche Kläranlagen (Anonym, 1999[SP56])**

Grenzwerte für das Einleiten in:	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb	NH <sub>4</sub>	P	TOC	CSB	BSB <sub>5</sub>
	[mg l <sup>-1</sup> ]											
Fließgewässer	0,5	1,0	0,5	2	0,1	0,01	0,5	10	2,0	40	120	20
Öffentliche Kläranlagen	0,5	1,0	0,5	2	0,1	0,01	0,5	-				

**Tabelle 7-14: Sickersaft- bzw. Schmutzwasserbelastung in der Bioabfall- und Grüngutkompostierung und Abwasserbelastung einer Vergärungsanlage**

			Spezifische Abwassermenge	BSB <sub>5</sub>	CSB	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	NH <sub>4</sub>	P	SO <sub>4</sub>	
				mgO <sub>2</sub> /l	mgO <sub>2</sub> /l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
Grenzwerte für das Einleiten in (nach AEO):			Fließgewässer		<b>20</b>	<b>120</b>	<b>0,1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,01</b>	<b>1,0</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>2,0</b>	-
			Öffentliche Kläranlagen			<b>0,1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,01</b>	<b>1,0</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	-			-
Kompostierung	Böschungsmähgut	1	Rotteweche 1				0,18	<b>0,68</b>		0,12		0,90				
Kompostierung	Böschungsmähgut	1	Rotteweche 12				0,16	0,22		0,14		0,90				
Kompostierung	Bioabfall	2				0,003	0,0037	0,025	<0,0003	0,013	0,013	0,0179				
Kompostierung	Bioabfall	2	Dreiecksmieten überdacht			0,0001	0,013	0,008	<b>&lt;0,04</b>	0,018	0,003	0,009				
Kompostierung	Bio, GS, Mist	3	Mieten offen	38-1300	700-5400	<0,04	-	<0,1-0,27	<0,001-0,0025	<0,1	<0,1	0,12-1,8	7,2-300	4,3-85	<5-170	
Kompostierung	Bio, GS, Mist	3	Mieten überdacht	470-15000	3100-25000	<0,04	-	<0,1-0,16	<0,001	<0,1	<0,1	0,68-0,75	90-420	36-76	<5-40	
Kompostierung	Bioabfall	2	Tafelmieten belüftet und eingehaust			<0,005	<0,05	<0,05	0,001	0,05	<0,05	0,05				
Kompostierung	Bioabfall	4	überdachte Rotte	0-25 l/t	10-46 g/l	18-68 g/l	0,01- <b>0,14</b>	0,01-0,2	0,01-0,3		0,07- <b>2,6</b>	0,01-0,2	<b>1-8</b>	400-1100	80-260	100-450
Kompostierung	Bioabfall	2	Rottetrommel				0,0002	0,019	0,014	<b>0,04</b>	0,057	0,003	0,191			
Kompostierung	Bio, GS, KS	3	Tunnel		180	2900	<0,04	-	<0,1	<0,001	0,13	<0,1	0,28	490	19	60
Kompostierung	GS 90%	3	eingehaust		3200	8200	<0,04	-	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	0,12	350	24	40
Kompostierung	Bioabfall frisch bis vorgerottet	5		676-1172 l/100m <sup>2</sup>	15-1250	700-10400	<0,01-0,02	<0,1-0,3	<0,1-0,9	<0,1	<0,1-0,3	<0,1-0,6	0,4-1,9	4,0-52,8	8,6-16,1	-
Kompostierung	Klärschlamm	6			35-4900	156-8340	0,001-0,006	<0,1	<0,1-1,2	0,0007-0,0048	<0,1	<0,004-0,0084	<b>0,1-2,57</b>	0,6-440	0,8-36	20-250
Vergärung	Bioabfall	7		500	2,3	10,9	<0,03	<b>0,83</b>	<b>2,51</b>	<b>&lt;0,015</b>	0,41	0,54	<b>7,66</b>	614	116	298

1 Fischer und Jauch (1988[SP57]); 2 Gonauer et al. (1997[SP58]); 3 Pils (1997[PS59]); 4 Fricke (1988[SP60]) zit. nach Roth et al. (1990); 5 Amlinger (1993[SP61]); 6 NÖ Umweltschutzanstalt (1994[PS62]); 7 Bidlingmaier (1995); [SP63]

Winkler (1990[SP64]) fand Schwermetallgehalte in ähnlichen Größenordnungen wie in Tabelle 7-14 bei der Kompostierung von Biotonnenmaterial auf offener Fläche. Dabei wurde festgestellt, dass bei Kompostierung auf offenem Boden ab einer Bodentiefe von 30 cm in keiner Sickerwasserprobe mehr Schwermetalle nachgewiesen werden konnten.

Auch eine Hauptaustragsquelle für hochbelastetes Sickerwasser ist das im Mietenfußbereiche ein- und ausströmende Oberflächenwasser. Hierdurch kommt es zur Auslaugung des Kompostmaterials Emberger (1993[SP65]). Durch die Ausformung des Gefälles (mindestens 3 bis maximal 5 %, keinesfalls ein zweiseitiges Gefälle und ausschließlich in Längsrichtung der Mieten) und ein Sauberhalten der Fahrgassen ist ein Einstauen des Mietenfußes zu vermeiden.

Durch eine Überdachung der Rotteflächen können die Nähr- und Schadstoffgehalte jedoch weiter reduziert werden. Höhere Zinkkonzentrationen sind nach Zachäus und Laude (1997[SP66]) oftmals auf verzinkte Einbauten in der Anlagentechnik und deren Kontakt mit den Abwässern zurückzuführen. Der niedrige pH und das allgemein aggressive Milieu verstärken dabei die Auswaschung von Zink.

Zu berücksichtigen ist auch, dass im Falle des Aufrührens der Sinkschicht, im Zuge der Probenahme, die Analysenwerte verfälscht würden, da die Sammelbecken normalerweise nie vollständig entleert werden (Gronauer et al., 1997[SP67])

### 7.3.3.1 Sickerwasservermeidung und -verminderung

Nach Roth et al. (1990[SP68]), Fricke et al. (1990[SP69]), Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (1991[SP70]) und eigenen Erfahrungen können die Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung von Sickerwässern wie folgt zusammengefasst werden:

- Abdecken der Mieten mit Kompostvlies bzw. Überdachung der Rotteflächen → bewirkt einen geringeren Verschmutzungsgrad des von den Kompostierungsflächen abgeleiteten Oberflächenwassers. Die Vliesabdeckung bewirkt eine Ableitung des Niederschlagswasser von ca. 80 %. Dadurch kann das durchsickernde Wasser und der Verschmutzungsgrad des abfließenden „Sickerwassers“ effektiv reduziert werden. Durch den Wegfall der Rottekörper als Wasserspeicher wird jedoch der Gesamtanfall an Oberflächenwasser erhöht.
- Verwendung von strukturreichen oder saugfähigen Zuschlagsstoffen wie Holzhäcksel, Rinde, Stroh, Sägespäne/-mehl, aufbereitete Siebreste, Laub in einem Mengenanteil von mindestens 20 %, Erde und Altkompost (maximal 5 bis 15 % m/m) → erhöht die Wasserkapazität des Rottekörpers und bindet dadurch Press- und Prozesswasser.
- Kompostierung auf organischen Unterlagen (Holzhäcksel, Rinde, Stroh, Sägespäne/-mehl, aufbereitetes Siebrückgut): → Press- und Sickerwasser können durch die organische Unterlage aufgenommen werden. Technisch ist dies u.U. vor allem bei einem ersten Wenden nach weniger als 5-7 Tagen wenig praktikabel, da die Unterlage mit dem ersten Umsetzen mit eingemischt wird und dadurch der Effekt verloren geht.
- Eine Erhöhung der Umsetzhäufigkeit erhöht auch die Verdunstungsrate. Entsprechend höhere Niederschlagsmengen können von den trockeneren Mieten gespeichert werden.
- Einstellung eines günstigen Feuchtigkeitsgehaltes in den Kompostausgangschargen, ca. zwischen 50 und 60 % i.d. FM, angepasst an die Wasserkapazität der Kompostausgangsmischung.

### **7.3.4 Sickerwasserverwertung und -behandlung**

Sickerwässer, die nicht vermieden werden können, müssen einer ordnungsgemäßen Behandlung, Verwertung bzw. Entsorgung zugeführt werden.

Lysimeterversuche haben unabhängig von der Zusammensetzung von Prozesswässern eine starke Sorption von Schwermetallen an Komposten nachgewiesen (Zachäus & Laude, 1997[SP71]). Mit Schwermetallen hoch belastete Prozesswässer führen demnach zur Konzentrationserhöhung im Feststoff. Während bei Komposten aufgrund der zunehmenden Sorptionsfähigkeit fast ohne Ausnahme eine

Sorption aus der Lösung stattfindet, ist bei frischen Bioabfällen zunächst ein Schwermetalleintrag in die Lösung zu beobachten.

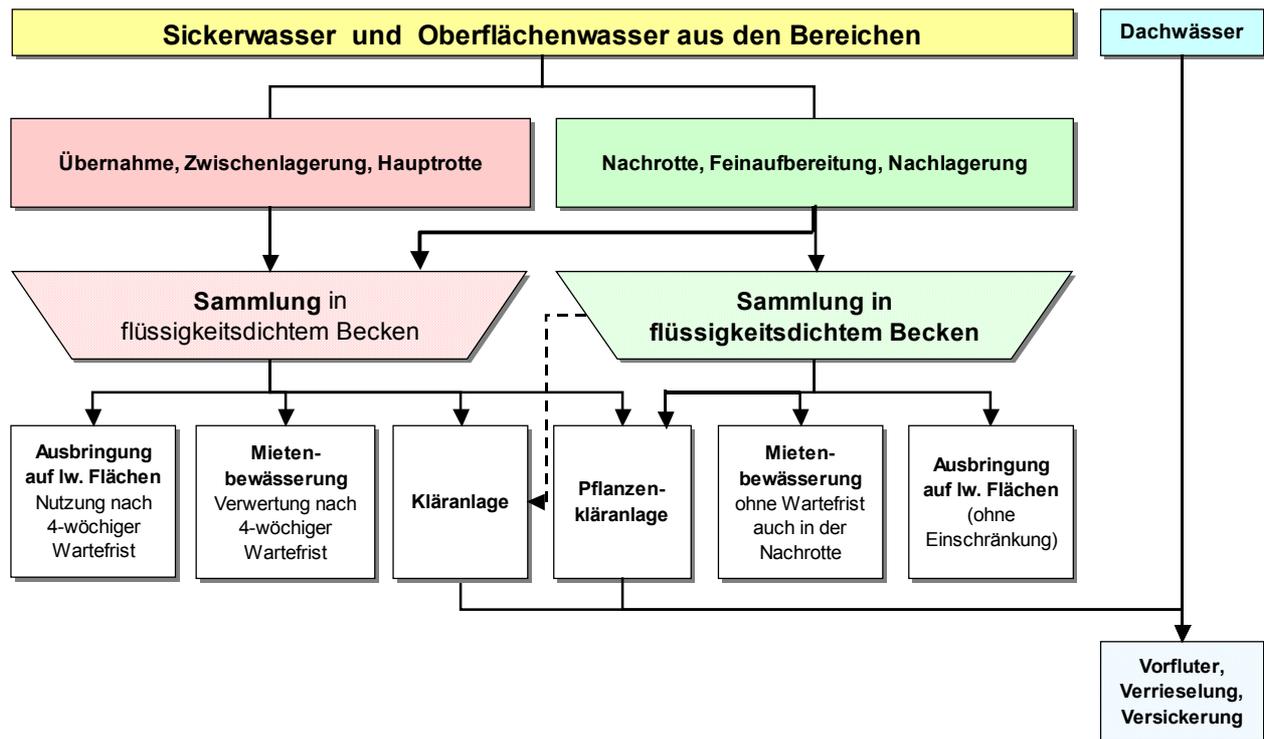
Über Wurzelraum- bzw. Pflanzenkläranlagen ist eine Elimination eventuell vorhandener Schwermetalle (zB Kupfer und Zink) möglich (Roth, 1991[SP72]). Damit ist sowohl für die Rückführung in den Kompostierungsprozess als auch für die Direkteinleitung in den Vorfluter eine Qualitätsverbesserung der Sickerwässer möglich.

Grundsätzlich steht aufgrund der hohen Nährstoff- und der niedrigen Schwermetallgehalte der Sickersäfte aus der Grüngut- und Bioabfallkompostierung einer flächigen Verteilung des Überschusses auf landwirtschaftliche Nutzflächen nichts entgegen (Fischer & Jauch, 1988[SP73]; Roth, 1991[SP74]).

Für den Fall, dass die flüssigen Emissionen zur Gänze in das öffentliche Kanalnetz bzw. kommunale Kläranlagen abgeleitet werden, gilt für biogene Abfälle aus Haushalten folgende Berechnungsgrundlage:

50 l Abwasser je Tonne Frischmasse (FM); CSB - maximal 100 g/l bzw. 120 g/Einwohner. Bezogen auf 1 t Bioabfall entspricht die Schmutzfracht ca. 0,1 Einwohnerequivalenten (EGW). Bei interner Schmutzwasserrückführung reduziert sich die abgeleitete Schmutzfracht entsprechend. Bei biogenen Abfällen mit geringeren Anteilen an biologisch leicht abbaubaren Inhaltsstoffen ist in Abhängigkeit vom Wassergehalt mit entsprechend kleineren Schmutzfrachten zu rechnen (aus ÖNORM S 2205).

In Abbildung 7-8 sind die prinzipiellen Verwertungs- bzw. Entsorgungsmöglichkeiten für Sicker- und Oberflächenwasser von Bioabfallkompostierungsanlagen dargestellt.



**Abbildung 7-8: Verwertungsmöglichkeiten für Sickerwasser von Bioabfallkompostierungsanlagen verändert nach Roth et al. (1990[SP75])**

Im Falle der direkten Rückführung von Prozess- und Oberflächenwasser aus dem *Anlieferungs-, Übernahme- und Hauptrottebereich* zur Mietenbewässerung muss eine 4-wöchige Wartefrist bis zur Verwertung des Kompostes (Anwendung oder in Verkehr bringen) eingehalten werden.

Bei direkter Ausbringung auf landwirtschaftliche Flächen ist ebenfalls eine 4-wöchige Wartefrist vor der Nutzung bzw. Ernte einzuhalten.

Getrennt erfasstes sauberes Wasser von *Fahr- und Dachflächen sowie aus dem Nachrottebereich* können für die Mietenbewässerung auch ohne Einhaltung einer 4-wöchigen Wartefrist bis zur Kompostnutzung verwertet werden.

Der Sickerwasserverwertung vor allem in der Heißrottephase sollte der Vorzug gegenüber der Sickerwasserbeseitigung gegeben werden. Dadurch werden ausgewaschene Inhaltsstoffe zurückgeführt.

So sind beispielsweise auch nach der deutschen TA Siedlungsabfall (Nr. 5.4.1.3.2) Rückstände aus dem Kompostierungsprozess (Auslesereste, Siebreste, Absetzrückstände aus Auffangbecken für das Sickerwasser) und Abwasser vorrangig zu verwerten. Demnach ist das Abwasser sicher aufzufangen und möglichst zur Befeuchtung des Kompostierungsmaterials einzusetzen.

### 7.3.5 Anforderungen an die Oberflächenwasserableitung und die Dimensionierung der Sickerwasserspeicher

#### 7.3.5.1 Sickerwasserableitung und -erfassung

Lager- und Rotteflächen müssen so gestaltet werden, dass Press-, Prozess- und niederschlagsbedingtes Oberflächenwasser abfließen kann, und es zu keinem Einstauen von Wasser im Bereich des Mietenfußes kommt. Die Anforderung an das Gefälle wird nach Mietenhöhe, den Jahresniederschlägen und dem Vorhandensein einer Überdachung bzw. von eingebauten Belüftungs- und Entwässerungskanälen differenziert.

**Tabelle 7-15: Mindest-Längsgefälle (%) für Rotteflächen in Abhängigkeit von Niederschlag, Mietenhöhe, Überdachung und Belüftungs- bzw. Entwässerungseinrichtungen**

Mindestgefälle für Mietensysteme [in %]	offen			überdacht	mit Belüftungs-/ Entwässerungskanal unter den Mieten <sup>1)</sup>
	Jahresniederschlag (mm)				
	<450	450-900	>900		
Dreiecksmieten < 1,5 m	1%	2%	3%	1%	1%
Trapez/Tafelmieten > 1,5 m	1%			1%	1%

<sup>1)</sup> ...Im Falle der Kompostierung auf durchgehenden Rotteplatten mit Schlitzböden muss die Fläche selbst kein Gefälle aufweisen. Jedoch muss die Ableitung des Wassers auch bei Starkregenereignissen und bei voller Belüftung gewährleistet sein.

Hinsichtlich der Anforderung eines Mindestgefälles von 1 % für die in Tabelle 7-15 angeführten Fälle ist folgendes anzumerken:

- Über größere Flächen und Strecken kommt hier die technische Fertigungsgenauigkeit mit den erzielbaren Toleranzen an ihre Grenzen. Daher sind besondere Anforderungen an die Präzision bei der Herstellung von Planum, Frostkoffer, Bitumentragschicht, Asphalt bzw. Betonierung gestellt. Durch Einbaufehler oder Belastungen bedingte Senkungen können bei diesem Gefälle zu Mulden führen, aus denen Sicker- und Niederschlagswasser nicht mehr abfließt.
- Bei exakter Ausführung kann ein Längsgefälle von 1% als Minimalanforderung zwar als ausreichend angesehen werden, aus „Sicherheitsgründen“ wird, wo immer dies durch die gegebene Topographie und Untergrundbeschaffenheit wirtschaftlich und technisch möglich ist, für alle Rotteflächen ohne Zwangsbelüftungssystem ein Gefälle von 2 % empfohlen.
- Bei überdachten, also niederschlagsunabhängigen Rotteflächen, sind Materialmischung und das Bewässerungssystem möglichst exakt auf die maximale Wasserkapazität der rottenden Mieten abzustimmen.

Für eingebaute Entwässerungskanäle ist ein Gefälle von 0,5 bis 1 % als ausreichend anzusehen.

Das Gefälle sollte 5 % nicht überschreiten, da ab hier eine „Wandern“ der Miete in Richtung des Gefälles zu einem merklich erhöhten Manipulationsaufwand führen kann.

Im Sinne einer reibungslosen maschinellen Bearbeitbarkeit werden Rotteflächen mit einem zusätzlichen Seitengefälle nicht empfohlen. In diesem Fall ist durch die Anordnung der Mieten sicherzustellen, dass austretendes Wasser nicht in die Nachbarmiete eindringt.

Im Übernahme- und Zwischenlagerbereich für frisch angeliefertes Material aus der Biotonne oder anderen Materialien mit einem hohen Wassergehalt ist auf eine rasche Ableitung des Sicker- und Niederschlagswassers zu achten. Hier ist ein Gefälle von mindestens 3 % vorzusehen.

Die Ränder der Kompostieranlage sind so überhöht auszuführen, dass Abwässer von Zwischenlager-, Heißrotte- und Verkehrsflächen nur zu den dafür vorgesehenen Sammelbehältern bzw. Sammelkanälen abfließen können. Die Erhöhung im Randbereich hat mindestens 5 bis 8 cm zu betragen und kann idealerweise durch einen flächigen Anstieg gegen den Flächenrand hin erreicht werden. Stellsteine haben den Nachteil, dass sie durch Lader und Wendemaschine sehr schnell beschädigt werden können. Wulste können eine Behinderung darstellen, wenn sie im Zuge der Materialmanipulation oder des Transportes oftmals überfahren werden müssen.

Der Sammelbehälter muss dauerhaft flüssigkeitsdicht sein und darf keinen Überlauf besitzen.

Das Volumen des Sammelbehälters ist so zu dimensionieren, dass neben den üblicherweise anfallenden Sickerwässern (0,028 m<sup>3</sup> m<sup>2</sup> abgedichteter Fläche) auch die Niederschlagswässer aus einem fünfjährigen zweitägigen Dauerregenereignis verlässlich aufgenommen werden können (die entsprechenden Werte sind beim *Hydrographischen Dienst* der jeweiligen Landesdienststellen abrufbar). Dabei sind die lokalen Niederschlagsverhältnisse besonders zu berücksichtigen. Die Berechnung erfolgt gemäß ÖKL-Baumerkblatt 24a (ÖKL, 1993[A76]) (siehe Tabelle 7-16).

**Tabelle 7-16: Erforderliches Speichervolumen für Sicker- und Niederschlagswässer von abgedichteten Flächen, berechnet nach ÖKL-Baumerkblatt 24a (ÖKL, 1993)**

Jahresniederschlagsmenge in mm *	Speichervolumen für Niederschläge in m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> abged. Fläche	Speichervolumen für Sickerwasser in m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> abged. Fläche	Gesamter Raumbedarf in m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> abged. Fläche	Ges. Raumbedarf + 20 % Sicherheitsfaktor in m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> abged. Fläche
bis 700	0,03	0,028	0,058	0,070
bis 900	0,05	0,028	0,078	0,094
bis 1100	0,08	0,028	0,108	0,130
bis 1400	0,12	0,028	0,148	0,178
über 1400	0,17	0,028	0,198	0,238

\* Die örtlichen Niederschlagsverhältnisse sind beim Hydrographischen Dienst der jeweiligen Landesdienststellen zu erheben

Aufgrund der fortwährenden Klimaveränderungen mit größeren Niederschlagsereignissen wird empfohlen die hier angeführten Richtwerte für die niederschlagsabhängige Zwischenspeicherung um 25 % zu erhöhen.

### Überdachung der Übernahme- und Hauptrotte, Nachrotte- und Nachlagerflächen

Die Detailanforderungen hinsichtlich der Abdeckung mit Kompostvlies oder einer evtl. erforderlichen Überdachung → siehe Abschnitte 9.1 Materialübernahme – Anlieferungsbereich, 9.3 Hauptrotte, 9.4 Nachrotte und 9.6 Nachlagerung).

### **7.3.6 Biologische Reinigung der Sicker- und verunreinigten Niederschlagswässer mittels Verrieselungsflächen und Pflanzenkläranlagen**

#### 7.3.6.1 Ausbringung von zwischengelagertem Sickerwasser auf Verrieselungsflächen

Eine Verrieselung von zwischengelagertem Sickerwasser auf begrüntem Verrieselungsflächen ist bei Einhaltung der folgenden Voraussetzungen möglich:

- Ausschließliche Verarbeitung von organischen Abfällen aus dem Garten- und Grünflächenbereich, bzw. in Kombination mit landwirtschaftlichen Abfällen aus dem eigenen Betrieb.
- Die Verrieselung erfolgt auf Grünflächen mit ausreichend sickerfähigem Untergrund. Als Richtwert sollten pro Quadratmeter abgedichteter Rotte- und Manipulationsfläche 0,5 m<sup>2</sup> Grünfläche zur Verfügung stehen. Die Grünfläche sollte dabei möglichst eine leichte Neigung und keine vernässungsgefährdeten Zonen („Mulden“) aufweisen. Über die Nutzung des Graswuchses (Schnitt nach Bedarf) erfolgt der Nährstoffaustrag.
- Der Abstand zum Grundwasserhöchststand muss zumindest 1,5 m betragen.
- Standortspezifische Vorgaben (Grundwasserschutz- und -schongebiete) sind zu berücksichtigen.
- Die Ausbringungsmenge auf landwirtschaftlich genutzte Flächen darf 50 m<sup>3</sup> pro Hektar und Jahr nicht überschreiten.

#### 7.3.6.2 Pflanzenkläranlagen

In diesem Fall erfolgt die Dimensionierung des Speicherbeckens (Speicherteiche) und der Pflanzenkläranlage unter 2 Voraussetzungen:

- 1.) Es muß sichergestellt werden, dass eine Regenspende gemäß den Vorgaben des ÖKL Baumerkblattes 24 aufgenommen und abgepuffert werden kann.
- 2.) Die Kapazität der PKA muss hinsichtlich Mengendurchsatz und Schmutzfracht die Aufbereitung des Wassers zur ordnungsgemäßen Einleitung in den Vorfluter (BGBl. II Nr. 9/1999. AbwasseremissionsVo – Abfallbehandlung ) gewährleisten.

Mengenermittlung: Als Grundlage für die Errechnung des Mengendurchsatzes der Pflanzenkläranlage müssen folgende Eckdaten bekannt sein:

- Dimension der entsorgten (unüberdachten) Flächen
- Abflussbeiwert bei Annahme einer durchschnittlichen Belegung mit Vliesabdeckung der Mieten (i.d.R. 0,8)
- Jahresniederschlagsmenge

Hieraus lässt sich die jährliche Gesamtoberflächenwasser- und Sickerwassermenge errechnen.

Weiters ist abzuschätzen:

- Die für Bewässerungszwecke erforderliche Wassermenge, die aus den Speicherteichen entnommen wird,

Hieraus ergibt sich die jährlich in der Kläranlage zu behandelnde Wassermenge.

Um eine weitgehende ganzjährige Vergleichmäßigung der Beschickung der Kläranlage zu erhalten ist eine ausreichende Dimensionierung der Speicherbecken vorzusehen.

Die maximale tägliche Zulaufmenge in die Pflanzenkläranlage richtet sich nach der erforderlichen Entsorgungsmenge und der Schutzfracht.

#### **Frachtemittlung**

Bedingt durch die mechanische Vorreinigung in Absetzschächten, das Sauberhalten des Kompostplatzes und durch eine weitgehende Vliesabdeckung der Mieten kann der Anteil an mechanischen Grobstoffen, der in die Speicherteiche gelangt, gering gehalten werden.

Für CSB und BSB<sub>5</sub> und Ammonium-N muss entsprechend der zu erwartenden Niederschläge und der Konzentration der Sickersäfte eine Zulaufkonzentration errechnet werden. Aus der Differenz zwischen Zulaufwerten und Grenzwerten für den Ablauf ergibt sich die erforderliche Reinigungsleistung der PKA.

Das Niederschlagswasser kann als unbelastet angenommen werden.

Man kann mit einem Anteil von 5% höchstbelasteten Oberflächenwässern am Gesamtabfluss rechnen. Hieraus lassen sich unter Berücksichtigung der Niederschlags (=Verdünnungs-)werte die Konzentrationen aus Niederschlags- und Sickerwasser im Zulauf zur Pflanzenkläranlage bestimmen.

Als mechanische Vorreinigung dient zB ein Absetzschacht kombiniert mit einer nachgeschalteten Dreikammeranlage.

### **Beispiel eines Speicherbeckens mit Flachwasser- und Verlandungszone**

Zur Abpufferung von Starkniederschlagsereignissen können zwei mit einer Abdichtungsbahn gegen den Untergrund abgedichtete Speicherteiche mit dem jeweils erforderlichen Fassungsvermögen (Berechnung nach ÖKL Baumerkblatt 24; siehe Abschnitt 7.3.5) errichtet werden.

### **Speicherteichbelüftung; Sauerstoffanreicherung in den Speicherteichen**

Um einem Fäulnisprozess vor der biologischen Stufe entgegenzuwirken sollte das in den Speicherteichen zwischengepufferte Sicker- bzw. Niederschlagswasser mit Sauerstoff angereichert werden. Dies kann zB mittels Umwälzung über einen künstlichen Bachlauf oder einer direkten Belüftungslanze, wie sie für die Güllebelüftung verwendet wird, erreicht werden. Wesentlich hierbei ist eine gleichmäßige feinblasige Luftverteilung, die zugleich eine Umwälzung bewirkt.

### **Absetzschacht**

Ein weiterer Absetzschacht nach den Speicherteichen bewirkt eine weitere mechanische Vorreinigung vor der Pflanzenkläranlage. Dieser ist als kommunizierendes System über eine Kanalleitung mit den Speicherteichen verbunden.

### **Intervallbeschickung**

Über eine Zeitschaltuhr wird die Intervallbeschickung der PKA aus einem mit dem Absetzschacht kommunizierenden Intervallbeschickungsschacht vorgenommen. Die Beschickung der Pflanzenkläranlage pro Intervall errechnet sich aus dem jährlich erwarteten Abwasseranfall und der täglichen Beschickungsmenge.

### **Bepflanzte Vertikal- bzw. Horizontalfilter**

Die Abmessungen einer PKA richtet sich nach dem Durchflussvolumen und der zu erwartenden Fracht und der hieraus resultierenden Reinigungsleistung. Die zu erwartenden Zulaufkonzentrationen für BSB<sub>5</sub>, CSB und NH<sub>4</sub>-N müssen daher realistisch abgeschätzt werden, um die erforderliche Mindestdimensionierung des Filtervolumens der Pflanzenkläranlage aus den bestehenden Erfahrungen zu berechnen. Im Falle der Einleitung in den Vorfluter ist das Ziel die ganzjährige Einhaltung der Mindestablaufwerte der AbwasseremissionsVo.

CSB:	< 90 mg l <sup>-1</sup>
BSB <sub>5</sub> :	< 25 mg l <sup>-1</sup>
NH <sub>4</sub> -N:	< 10 mg l <sup>-1</sup> (bei Ablauftemp. > 12° C)

Die Dimensionierung des Filtermaterials ist abhängig vom Mengen- bzw. Frachtendurchsatz. Es ist jedenfalls empfehlenswert nur gewaschene Sande bzw. Kiese mit möglichst wenig Feinteilanteil zu verwenden. Bepflanzte Vertikalfilter weisen i.d.R. eine Tiefe von ca. 1 bis 1,20 m auf. Der Durchlässigkeitswert (K<sub>F</sub>-Wert) beträgt ca. 10<sup>4</sup> bis 10<sup>5</sup>. Die Verteilung des mechanisch vorgereinigten Abwassers erfolgt über gelochte Verteilungsstränge, die entweder aufliegen oder in die oberste Schicht eingebaut werden.

Zusätzlich kann ein bepflanzter Horizontalfilter als letzte Stufe über eine Überlaufleitung aus den Vertikalfiltern kontinuierlich beschickt werden. Der Horizontalfilter weist eine Tiefe von ca. 0,80 m auf.

Die Bepflanzung erfolgt i.d.R. mit Schilf (*Phragmites communis australis*).

### Kontrollschacht

Vor der Einleitung in den Vorfluter muss ein Probenahmeschacht errichtet werden.

### Ableitung des biologisch gereinigten Abwassers

Möglich sind Verregnung, Verrieselung, Versickerung oder Einleitung in einen geeigneten Vorfluter, wobei Bedacht auf Vergleichmäßigung genommen werden sollte. Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Ableitsituation wird die Ableitung immer fallspezifisch von der Wasserrechtsbehörde behandelt. Insbesondere ist Rücksicht zu nehmen auf vorhandene Wasserrechte in Bezug auf Vorfluter, bestehende Trinkwasseranlagen, Grundwasserschutz- und Schongebiete sowie den Ausschluss von Nutzunggefährdungen. Es ist empfehlenswert, sich schon vorab im Zuge der Vorprojektierung mit dem zuständigen Sachverständigen ins Einvernehmen zu setzen.

### Ableitung des geklärten Prozesswassers

Die Ableitung des geklärten Prozesswassers stellt einen wesentlichen Teil des wasserrechtlichen Bewilligungsverfahrens dar. Die Ableitung unterliegt immer einem Einzelverfahren, in dem eine Emissionsbeurteilung erforderlich ist. Zur Abschätzung der Abflussmenge und der Verdünnung muss ein hydrologisches Gutachten beim zuständigen Referat für Hydrographie der Landesregierung eingeholt werden.

### Beispiele für die Ableitung, Zwischenspeicherung und biologische Reinigung von Niederschlags- und Sickerwasser in einer Pflanzenkläranlage

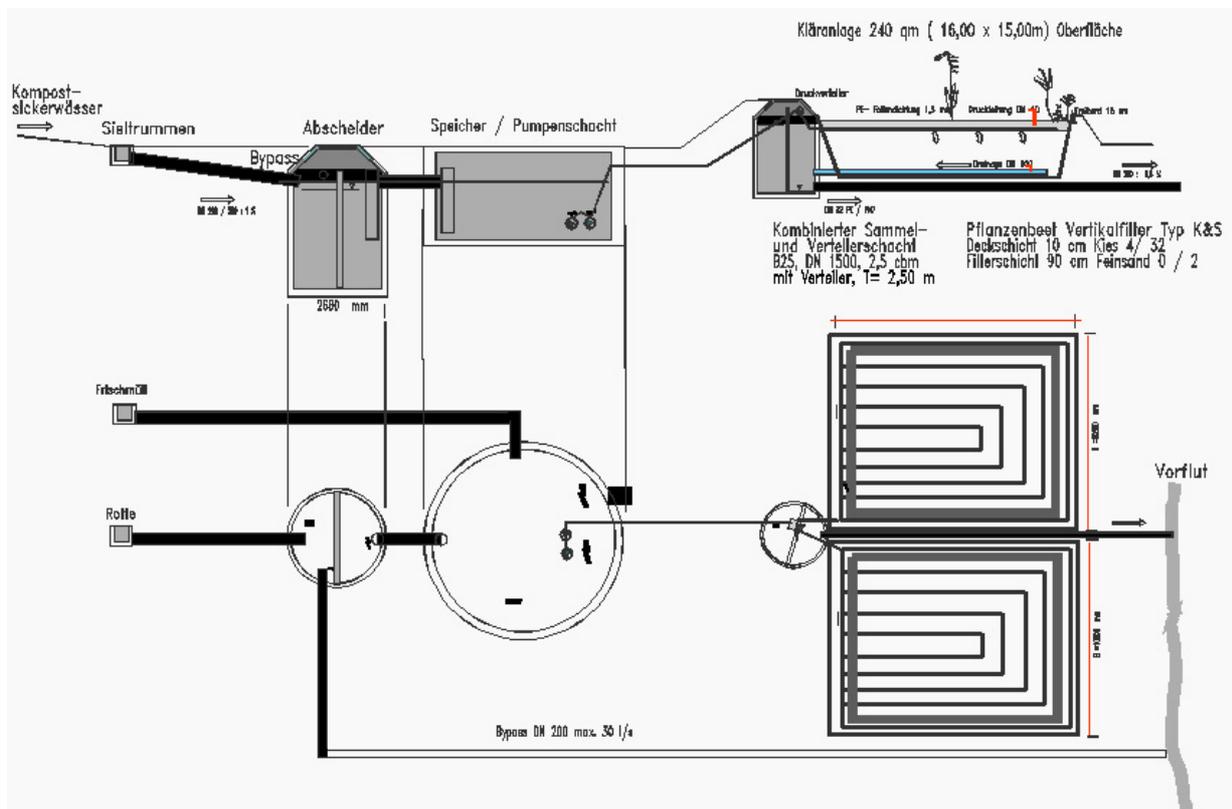


Abbildung 7-9: Gesamtschema der Sickerwassersammlung, Vorreinigung, Zwischenspeicherung mit angeschlossener vertikaler Pflanzenkläranlage (aquaconsulting, Hamburg)

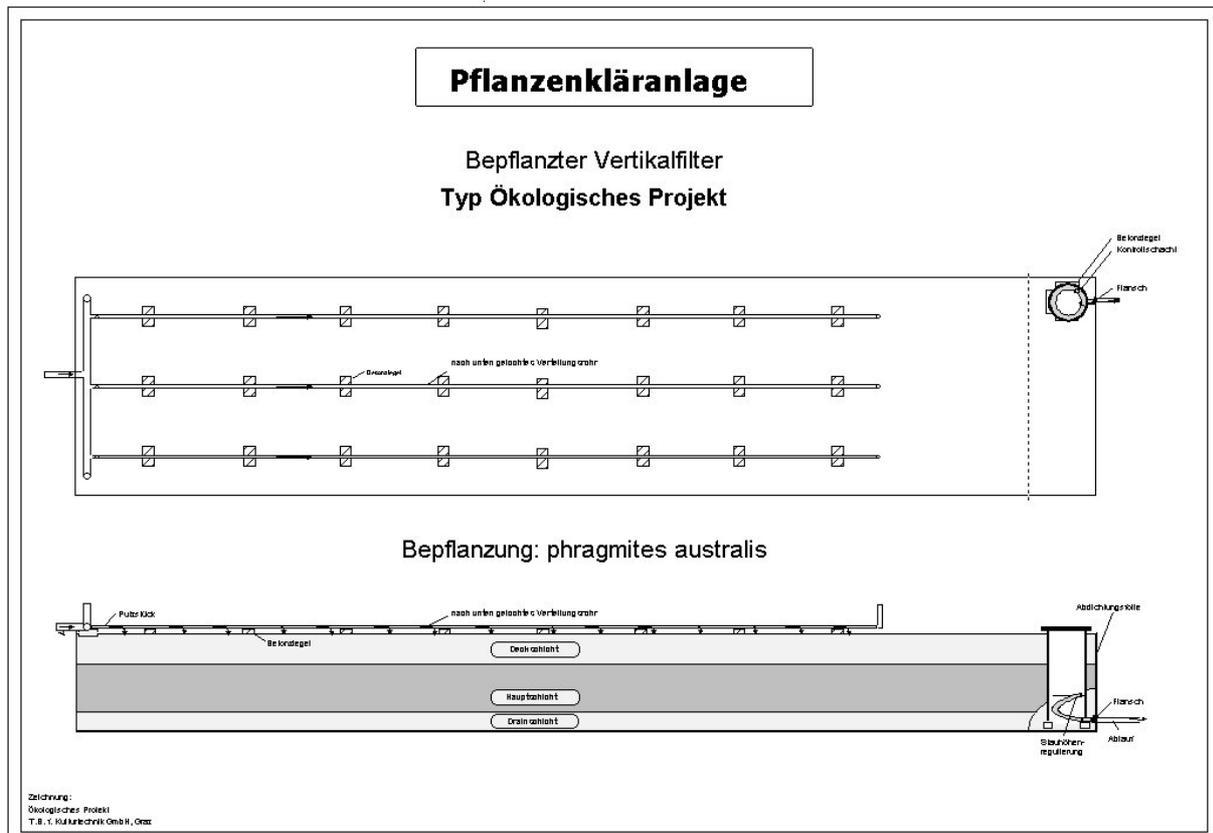


Abbildung 7-10: Schema einer vertikalen Pflanzenkläranlage mit Kontrollschacht (System Ökologisches Projekt Graz)

## **7.4 Substratgebundene seuchenhygienisch relevante Keime und die Hygienisierungsfunktion des Kompostierungsprozesses**

Bei den epidemiologisch relevanten phyto-, zoo- und humanpathogenen Keimen ist zwischen den substratgebundenen Mikroorganismen und den über den Luftweg als Bioaerosole übertragbaren Bakterien, Pilzsporen und Viren zu unterscheiden.

Weiters sind aus hygienischer Sicht einerseits die aus den Ausgangsmaterialien stammenden sowie andererseits die prozessbedingt möglichen Keimbelastungen für Arbeitnehmer und Anrainer zu beachten.

In diesem Abschnitt wird die Reduktion der substratgebundenen seuchenhygienisch relevanten Keime hinsichtlich der unbedenklichen Verwendung des Endprodukts behandelt. Nach einer grundlegenden Bewertung des Kompostierungsprozesses und einzelner Verfahren in den Abschnitten 7.4.1 und 7.4.2 erfolgt eine detaillierte Beschreibung der Anforderungen für eine ordnungsgemäße Hygienisierung in Umsetzung der *Tierischen Nebenprodukte („Hygiene“) Verordnung, (EG) Nr. 1774/2002*, in den Abschnitten 7.4.3 und 7.4.4. Abschnitt 7.4.7 gibt noch einen kurzen Überblick zu den Hygienebestimmungen anderer Europäischer Länder.

Zum Potenzial der luftgetragenen Keimemissionen und dessen Bedeutung für den Schutz der Arbeitnehmer und Anrainer siehe „*Luftgetragene Keimemissionen*“, Abschnitt 7.5.

### **7.4.1 Grundlegende Bewertung des Keimspektrums in biogenen Abfällen und Kompost**

Im Rahmen dieser Studie beschränkt sich die Betrachtung auf die in einschlägigen Studien zur Kompostierung erhobenen und bewerteten Keime.

Neben einer meist aus Saprophyten bestehenden Grundbelastung kommen im Ausgangsmaterial auch Krankheitserreger für Mensch und Tier sowie für Pflanzen vor. Diese Keime sind auch im ungetrennten häuslichen Gesamtmüll vorhanden sowie ebenfalls im Restmüll zu erwarten (Böhm et al., 1998[A77]).

Je nach Herkunft des Bioabfalls handelt es sich um ein fast unübersehbares Spektrum (siehe Tabelle 7-18) von apathogenen, fakultativ pathogenen und obligat pathogenen Bakterien und Pilzspezies, die in weiterer Folge natürlich auch in den Aerosolen, die bei der Handhabung der angelieferten Siedlungsabfälle entstehen, vorkommen (Reinthalter et al., 2000[A78]).

Rein theoretisch können alle in einem Haushalt vorkommenden Infektionserreger im Bioabfall auftreten, wenn sie u.a. durch Küchenabfälle, Papiertaschentücher, Servietten, Einweghandtücher (aus Haushaltungen mit infizierten Personen) Gemüse-, Salat-, Obst- und Pflanzenreste, Wurzeln, Blumen und Topfpflanzen eingebracht werden. Salmonellen können außerdem über unbehandelte Trockenprodukte wie Gewürze, Tees, Trockengemüse und Trockenpilze, kontaminierte Wurst- und Rohfleischwaren sowie über mit Hund- oder Katzenkot verunreinigten Rasenschnitt in den Bioabfall gelangen (Zeschmar-Lahl et al., 1994[A79]).

Solche denkbaren Erreger sind i.d.R. Mikroorganismen aus den Gruppen der Bakterien, Pilze, Viren und Parasiten.

Gieß (1994) konnte in Abhängigkeit von der Probenzahl in 71% bis 100% der Fälle im Rohmaterial von Bioabfallstoffen Salmonellen nachweisen. Bei einer anderen Untersuchung lag die Salmonellenrate im Hausmüll bei 3 % und im Nassmüll bei 33% (Scherer, 1992). Die bei der Bioabfallkompostierung mit verwendeten Abfälle aus Gärten und Parkanlagen sind aus infektionshygienischer Sicht unproblematisch, sofern sie nicht fäkal (Hunde) verunreinigt sind. Dies gilt jedoch nicht für phytohygienisch relevante Krankheitserreger.

Für die Beurteilung der epidemiologisch/infektiösen Bedeutung (auch hinsichtlich möglicher vorbeugender oder kurativer Maßnahmen) erfolgt nach EU-Recht eine Einstufung in Risikogruppen, die die Eigenschaft, Infektionskrankheiten beim gesunden Menschen hervorzurufen, klassifizieren. Das Konzept der Richtlinie 2000/54/EG und jenes der österreichischen *Verordnung über biologische Arbeitsstoffe* oder der

deutschen BioStoffVo sehen vor, sensibilisierende und toxische Wirkungen bei der Gefährdungsbeurteilung am Arbeitsplatz mit zu berücksichtigen.

**Tabelle 7-17 Einteilung in Risikogruppen nach der EG-Richtlinie 90/679/EWG<sup>a)</sup> (Dobhoff, 2001<sub>[A80]</sub>)**

Risikogruppe	Gefahr bei Arbeiten	Gefahr für Bevölkerung	Behandlung/Prophylaxe
1	ohne	ohne	ja
2	gering	unwahrscheinlich	ja
3	mäßig	möglich	normalerweise ja
4	hoch	groß	normalerweise nicht
Biologische Arbeitsstoffe der <u>Risikogruppe 1</u> sind Agenzien, bei denen es unwahrscheinlich ist, dass sie beim Menschen eine Krankheit verursachen.			
Biologische Arbeitsstoffe der <u>Risikogruppe 2</u> sind Agenzien, die eine Krankheit beim Menschen hervorrufen können und eine Gefahr für Beschäftigte darstellen könnten. Eine Verbreitung in der Bevölkerung ist unwahrscheinlich. Eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung ist normalerweise möglich.			
Biologische Arbeitsstoffe der <u>Risikogruppe 3</u> sind Agenzien, die eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen können und eine Gefahr für Beschäftigte darstellen können. Die Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung kann bestehen. Normalerweise ist eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung möglich.			
Biologische Arbeitsstoffe der <u>Risikogruppe 4</u> sind Stoffe, die eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen können und eine ernste Gefahr für Beschäftigte darstellen. Die Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung ist unter Umständen groß, normalerweise ist eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung nicht möglich.			

<sup>a)</sup> Die Einteilung nach der EG-Richtlinie 90/679/EWG erfolgt entsprechend dem von den biologischen Agenzien ausgehenden Infektionsrisiko; die allergene und toxische Wirkung ist kein Zuordnungskriterium.

**Tabelle 7-18: Auswahl von im Bioabfall nachgewiesenen Mikroorganismen (Böhm et al., 1998<sub>[A81]</sub>; Weinrich et al., 1996 <sub>[A82]</sub> modif.) zit. nach Reinthaler et al. (2000<sub>[A83]</sub>) und relativer Anteil der gefunden Keime in 80 Komposten aus Niederösterreich.**

Bakterien					
Gattung/Art	%; NÖ*	Risikogruppe	Gattung/Art	%; NÖ*	Risikogruppe
Campylocacter sp.	30		Salmonella sp.	0	2
Citrobacter sp.		2	S. typhi		3
Clostridium sp.	4		Serratia sp.		1-2
C. tetani		2	Serratia marescens	7	
C. perfringens		2	Staphylococcus sp.		1-2
C. botulinum		2	Koagulasepositive Staph.	7	
Enterobacter sp.	22	1-2	Koagulasenegative Staph.	53	
Escherichia coli	28	2	Staphylococcus aureus	6	
Flavobakterien	19		Streptococcus sp.		1-2
Klebsiella pneumoniae	20	2	α- hämol. Streptococcen	26	
Nocardia sp.	15		Yersinia sp.		1-2
Proteus sp.	14	1-2	Mikrokokken	16	
Pseudomonas sp.	23	1-2	Aerobe Sporenbildner	81	
Pseudomonas aeruginosa	16				

Schimmelpilze					
Gattung/Art	%; NÖ*	Risikogruppe	Gattung/Art	%; NÖ*	Risikogruppe
Aspergillus sp.	26		Aureobasidium		1
Aspergillus fischerii		1	Beauveria bassiana		1
A. nidulans var. latus		1	Candida sp.	0	
A. nidulans		1	C. albicans		2
A. rugulosus		1	C. tropicalis		2
A. quadrilineatus		1	C. pseudotropicalis		1
A. candidus		1	C. guilliermondii		1
A. versicolor		1	C. lusitaniae		1
A. flavus		2	C. krusei		1
A. fumigatus		2	Chaetomium spp.		1
Acremonium spp.		2	Chladybotryum spp.		1
Alternaria alternata		1	Exophiala dermatitidis		2
Alternaria spp.		1	M. racemosus		1
Arthrographis spp.		1-2	Fusarium spp.		
Myceliophthora thermophila		1	Geotrichum candidum		1
Paecilomyces varotii		1	Scopulariopsis brevicaulis		1
Paecilomyces spp.		1	Trichoderma hamatum		1
Penicillium sp.	9	1-2	Trichoderma spp.		1
Rhizomucor pusillus		1	V. chlamydosporium		1
Rhizopus sp.		1-2	V. lamellicola		1
Mucor sp.	43		Verticillium spp.		1
Mucor circinelloides		1			1
Viren					
Gattung/Art		Risikogruppe	Gattung/Art		Risikogruppe
Adeno-Viren		2	Paramyxoviren		2
Coxsackie-Viren		2	Parvovirus		1
Hepatitis-A-Virus		2	Poliovirus		2
Echovirus		2	Reoviren		2
Herpesviren		2-3			

\* ... %; NÖ: gefundene Keime in 80 untersuchten Komposten. Daten zur Verfügung von Bala (2004[FA84]).

#### 7.4.1.1 Veränderung der Keimspektren vom Ausgangsmaterial zum fertigen Kompost

Böhm et al. (1998[A85]) ergänzt nach Kjellberg Christensen et al. (2002) geben einige gängige mikrobiologische Parameter im angelieferten Abfall, im Rottegut und im Fertigkompost an (Tabelle 7-19). Dieser Überblick soll eine Vorstellung von den Veränderungen der Zusammensetzung der Keimflora vermitteln.

**Tabelle 7-19: Zusammenstellung der Keimzahlen für einige ausgewählte mikrobiologische Parameter im Bioabfall und im Kompost**

Probematerial und	MIKROBIOLOGISCHER PARAMETER [KBE/g]				
	Spannweiten der Medianwerte aus 6 Anlagen				
Probenahmezeitpunkt	GBZ	FSK	EBA	E. coli	A.F.
BIOABFALL Sommer	1,5x10 <sup>7</sup> - 4,6x10 <sup>8</sup>	6,8x10 <sup>4</sup> - 2,2x10 <sup>8</sup>	5,8x10 <sup>3</sup> - 2,3x10 <sup>6</sup>	9,3x10 <sup>1</sup> - 4,3x10 <sup>5</sup>	4,8x10 <sup>2</sup> - 7,3x10 <sup>5</sup>
BIOABFALL Winter	8,5x10 <sup>5</sup> 1) - 9,2x10 <sup>8</sup>	4,3x10 <sup>4</sup> 1) - 8,3x10 <sup>7</sup>	4,3x10 <sup>3</sup> 1) - 4,2x10 <sup>7</sup>	9,3x10 <sup>2</sup> - 4,3x10 <sup>5</sup>	4,3x10 <sup>2</sup> - 2,7x10 <sup>5</sup>
KOMPOST Sommer	2,6x10 <sup>3</sup> - 5,0x10 <sup>5</sup>	4,3x10 <sup>1</sup> - 1,5x10 <sup>4</sup>	n.n. -2,2x10 <sup>3</sup>	n.n. - 3,3x10 <sup>2</sup>	3,1x10 <sup>2</sup> - 4,5x10 <sup>7</sup>
KOMPOST Winter	1,1x10 <sup>5</sup> 1) - 3,4x10 <sup>9</sup>	5,9x10 <sup>2</sup> 2) - 1,3x10 <sup>7</sup>	2,6x10 <sup>2</sup> 1) - 1,5x10 <sup>8</sup>	n.n. 1) - 4,3x10 <sup>6</sup>	n.n. - 1,5x10 <sup>6</sup>
Biotonne			10 <sup>6</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>	

n.n.: nicht nachweisbar GBZ: Gesamtbakterienzahl EBA: Enterobacteriaceae  
E. coli: Escherichia coli FSK: Fäkalstreptokokken A.F.: Aspergillus fumigatus

1) Frischkompost nach der Intensivrotte (2 Wochen)

2) Material nach der Rottetrommel

Nach (Böhm et al., 1998[A86]) führt demnach der Kompostierungsprozess in der Regel zu einer Abnahme der mesophilen Bakterienflora um 3 - 4 Zehnerpotenzen, während die Menge von Aspergillus fumigatus im Ausgangsmaterial und im Kompost annähernd gleich hoch bleibt. In Abhängigkeit von den Kompostierungsbedingungen kann es aber in Einzelfällen auch zu erheblichen Abnahmen der Konzentration von Aspergillus fumigatus und Actinomyceten kommen.

Während sich Bakterien und Pilze im Rottematerial vermehren können, sind human- und tierpathogene **Viren** im Verlauf des Rotteprozesses einem kontinuierlichen Absterbevorgang unterworfen. In Kompostierungsanlagen stellen sie daher besonders in der Eingangsstrecke des Verfahrens ein Risiko dar, während sie bei sachgemäßer Verfahrensführung aufgrund der entstehenden Temperaturen abgetötet werden. Zur Inaktivierung von pflanzenpathogenen Keimen siehe 7.4.2.3 Exkurs Phytohygiene.

Bereits in der mesophilen Startphase ist mit einer gewissen Selektion der Mikroorganismen zu rechnen, die sich in erster Linie aus dem Nährstoffangebot ergibt. Da aber eine Vielzahl leicht abbaubarer Verbindungen enthalten ist, ist das Spektrum auch hier noch sehr groß. Nach Erreichen der thermophilen Phase findet eine weitgehende Veränderung in der Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulation statt: Ein großer Teil der mesophilen Bakterien und Pilze wird, sofern sie nicht hitzeresistente Sporen bilden, abgetötet. Dies führt zu einer Hygienisierung des Kompostes, was bedeutet, dass eingetragene obligat pathogene Erreger abgetötet werden.

Während der Hauptrotte kann die thermophile und thermotolerante Mikroorganismenflora, zu der potenzielle Krankheitserreger wie A. fumigatus und thermophile Aktinomyceten gehören, in hohen Konzentrationen in den emittierten Stäuben auftreten (Missel et al., 1998[A87]) zit. nach Reinhaller et al. (2000[A88]). In Tabelle 7-20 wird eine Auswahl hygienisch relevanter Bakterien und Pilze des Kompostes der thermophilen Phase angeführt und gemäß § 40 Abs. 4 Z 1 bis 4 AschG (BGBl. 450/1994[A89]) den Risikogruppen 1-4 zugeordnet.

**Tabelle 7-20: Hygienisch relevante Bakterien (haupts. thermophile Aktinomyzeten) und thermotolerante Pilze (Auswahl), die während der Kompostierung zu einer Massenentwicklung kommen (Kutzner, 1994[A90]) zit. und modifiziert in Reinthaler et al. (2000[A91])**

Gattung Art	Risikogruppe		Risikogruppe
Bacillus sp.	1-3	Talaromyces sp.	1
Thermoactinomyces sp.	1	Malbranchea sp.	1
Thermomonospora sp.	1	Aspergillus sp.	1-2
Saccharopolyspora sp.	1	Rhizomucor pusillus	1
Streptomyces sp.	1	Rhizopus sp.	1-2
Saccharomonospora sp.	1	Penicillium sp.	1-2
Thermomyces sp.	1	Alternaria sp.	1

Viele der unter medizinischen Gesichtspunkten der Risikogruppe 2 zugeordneten Bakterien und Pilze sind ubiquitär, das heißt sie kommen natürlicherweise in Boden, Wasser oder Luft vor oder gehören zur residenten Keimflora von Mensch und Tier. Dies gilt insbesondere für Keime, die am Abbau von organischer Substanz beteiligt sind, der überall in der Natur stattfindet. Diese Mikroorganismen sind selbstverständlich auch bei Kompostierungsvorgängen zu finden, womit die einseitige Betrachtung unter dem Aspekt des Arbeitsschutzes, speziell in Hinblick auf eine Abgrenzung von einer Kontamination unrealistisch wird.

Im *Fertigkompost* dominiert die mesophile Schimmelpilz- und Bakterienflora (Kutzner, 1994[A92]) zit. nach Reinthaler et al. (2000[A93]).

Abgesehen von den prozess- (stabilisierungs-) bedingten Veränderungen des Keimspektrums muss der Möglichkeit der Rekontamination durch Verschleppung Rechnung getragen werden. Eine exakte Abgrenzung ist jedoch aufgrund der Heterogenität des Materials und der damit verbundenen Schwierigkeit einer repräsentativen Probengewinnung aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen nicht möglich. Vor diesem Hintergrund muss zB die Beobachtung gewertet werden, dass in einem von 16 Fällen (Klärschlammkompost) *Salmonella* zwar nicht nach Abschluss der Heißrotte im hygienisierten, jedoch nach der Nachrotte im stabilisierten Kompost festgestellt wurde (Kjellberg-Christensen et al., 2002[PS94]).

In der gleichen Untersuchung wurde festgestellt, dass *E. coli* und *Enterococcus* in Fertigkomposten aus Grünschnitt, Pferdemit und Klärschlamm in weit geringerem Ausmaß als in Biokomposten (Komposten aus Haushaltsabfällen) vorkommt, was als Hinweis darauf dienen könnte, dass durch das hohe Nährstoffangebot in Biokomposten eine optimal geführte Stabilisierungsphase besonders wichtig ist, um nicht als Substrat für Fäkalbakterien oder als Anziehungspunkt für Vektoren wie Insekten, Vögel etc. zu wirken (Kjellberg Christensen et al., 2002[PS95]).

#### 7.4.2 Die Hygienisierungsfunktion des Kompostierungsprozesses

Die mikrobielle, aerobe Rotte ist ein exothermer Vorgang, bei dem neben Temperaturen über 55 °C auch biochemische Reaktionen unter gleichzeitigem Abbau der organischen Substanz zur Inaktivierung von Krankheitserregern (auch thermoresistenten Formen) führen. In der Kompostierung wirken somit **zwei Prozessphasen** hygienisierend.

In der Heißrotte- bzw. Hygienisierungsphase findet eine Reduktion bzw. Abtötung pathogener Keime aus dem Ausgangsmaterial statt. Die anschließende Stabilisierungsphase sichert die biologische Stabilität des Endproduktes, indem das Potenzial für die Vermehrung der pathogenen Keime und in der Folge die Attraktion von Übertragungsvektoren minimiert wird (Kjellberg Christensen et al., 2002[PS96]). Hinzu kommen antibiotisch-antagonistische Faktoren durch die Förderung bodentypischer Mikroflora im Zuge des Humifizierungsprozesses.

#### 7.4.2.1 Heißrottephase (> 55°C)

Die thermophile Phase über 55 °C ist von größter Bedeutung für die Eliminierung von pathogenen Keimen, besonders bei Anwesenheit von wärmetoleranten bzw. -resistenten pathogenen Keimen im Ausgangsmaterial. Dies ist der Grund, dass in den meisten verpflichtenden Normen und rechtlichen Regelungen zur Kompostierung als sogenannte *indirekte Methode* ein zu dokumentierendes Temperatur/Zeitregime während der Heißrotte vorgeschrieben wird. Vor allem die Mindestzeitvorgaben für die Einhaltung eines bestimmten Temperaturniveaus sind jedoch sehr unterschiedlich.

**Tabelle 7-21: Bandbreite an Vorgaben zum indirekten Hygienisierungsnachweis über die Dokumentation eines Temperatur/Zeitregimes in Europäischen Regelungen**

Temperatur	Dauer
40 °C	5 Tage, mit 55°C 4 h
55 °C	4 Stunden; 3-14 Tage
60 °C	3-7 Tage
65 °C	2-7 Tage
70°C	1-5 Stunden

In einer dänischen Untersuchung stellten Kjellberg-Christensen et al. (2002[PS97]) bei offenen Mietenrotten gegenüber geschlossenen Anlagen zum Teil geringere Reduktionsraten für *E. coli* und *Enterococcus* fest. Bei genauerer Analyse der Eckdaten und Ergebnisse (Tabelle 7-22 und Tabelle 7-23) ergibt sich jedoch ein sehr inhomogenes Bild, das nur bedingt letztgültige Aussagen zulässt. Dies natürlich auch aufgrund der Tatsache, dass keine Wiederholungen unter exakt gleichen Rahmenbedingungen vorliegen.

**Tabelle 7-22: Eckdaten der offenen Mietenrotten, deren Hygienisierungsleistung im Rahmen einer Dänischen Studie untersucht wurden (aus Kjellberg-Christensen et al., 2002[PS98]).**

Anlagen-Nr.		1	2	3	4	5	6	7
<b>Typ</b>		Tafelmiete	Tafelmiete	Dreiecksmiete	Dreiecksmiete	Tafelmiete	Trapezmiete	Trapezmiete
		offen	offen	offen	offen	offen	offen	offen
<b>Inputmaterialien</b>								
<i>Biotonne</i>	% Input (m/m)	-	-	50	60	-	-	-
<i>Klärschlamm</i>	% Input (m/m)	-	-	-	-	-	55	55
	TM-Gehalt	% m/m	-	-	-	-	20	35
<i>Gartenabfälle</i>	% Input (m/m)	90	100	45	40	60	30	-
<i>Andere</i>	% Input (m/m)	-	-	-	-	35	5	45
	Art	-	-	-	-	Pferdemist	Stroh	Rinden
<i>Siebüberlauf</i>	% Input (m/m)	10	0	5	-	5	10	-
<b>Hygienisierungsphase 1</b>								
Mietenquerschnitt und -masse	H/B/L (Meter)	3.5/10/40	4.5/40/65	2.5/4/100	2.0/4.0/40	4/17/30	2.1/5.3/275	1.6/5/60
Dauer	Wochen	28	36	8	10	12	7	6
Belüftung	Ja/-	-	-	-	-	-	-	-
Umsetzvorgänge	Anzahl	1	3	2	10	12	7	12
Bewässerung	Ja/-	-	JA	-	bei Bedarf	-	bei Bedarf	-
<b>Hygienisierungsphase 2</b>								
Mietenquerschnitt und -masse	H/B/L (Meter)	4/7/60	-	-	-	4/17/30	-	-
Dauer	Wochen	8	-	-	-	8	-	-
Belüftung	Ja/-	-	-	-	-	-	-	-
Umsetzvorgänge	Anzahl	0	-	-	-	4	-	-
<b>Hygienisierter Kompost (HK)</b>								
Alter	Wochen	36	36	8	10	20	10	6
<b>Stabilisierungsphase 1</b>								
Mietenquerschnitt und -masse	H/B/L (Meter)	4/7/60	4.5/40/65	1.5/3/100	2.0/4.0/40	3/6/30	4/6/200	8/15/15
Dauer	Wochen	8	8	16	4	32	1	16
Belüftung	Ja/-	-	-	-	-	-	-	-
Umsetzvorgänge	Anzahl	1	-	4	4	6	1	-
Bewässerung	Ja/-	-	-	-	-	-	bei Bedarf	-
<b>Stabilisierungsphase 2</b>								
Mietenquerschnitt und -masse	H/B/L (Meter)	4/5/25	5/9/15	-	7/8/10	-	5/6/45	-
Dauer	Wochen	24	12	-	12	-	12	-
Belüftung	Ja/-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Fertigkompost (FK)</b>								
Siebung	Lochung Ø (mm)	25	15	15	-	keine	10	15
Alter *	Wochen	68	56	24	24	48	20	20-24
		<i>Fäkal coliforme</i>	+++	+/R	+	++	++/R	+++
		<i>E. coli</i>	+++	+++	+	+++	+++	+++
		<i>Enterococcus</i>	+++	+++	-	+	+++	+++
		<i>Enterobacteriaceae</i>	++	+/R	+	++	++	+++
*) Alter des Fertigkompostes entspricht u.U. nicht der Summe aus Hygienisierungs und Stabilisierungsphase (HK und FK teilw. von unterschiedlichen Teilchargen)								
- ... Keine Reduktion; + ... Geringe Reduktion/End-Keimzahl >10 <sup>4</sup> ; ++ ... Mittlere Reduktion/End-Keimzahl < 10 <sup>4</sup> > 10 <sup>3</sup> ;								
+++ ... Effektive Reduktion/End-Keimzahl < 10 <sup>3</sup> ; /R ... Reinfektion/Wiederbesiedelung = höhere Keimzahl als zu Beginn oder in HK								

Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass sich Enterobacteriaceae nicht als aussagekräftiger Indikator erweisen, da hierin sehr heterogene Gruppen an Bakterien vertreten sind, die, neben jenen, die aus dem Darmtrakt stammen, auf eine Vielzahl von Habitaten spezialisiert sind.

So kann aus diesen Untersuchung nicht geschlossen werden, dass ein bestimmtes Mietenmanagement bei sonst gleichbleibender Materialzusammensetzung und Kompostierungsdauer zu signifikant unterschiedlichen Reduktionsraten bei den untersuchten Keimen führt.

Die Material(Substrat)abhängigkeit der Hygienisierung wurde durch den Vergleich mit der Kompostierung von Grünschnitt gezeigt. Im Gegensatz zu den sehr nährstoffreichen Ausgangsmaterialien der Biotonne konnte in 2 Fällen eine effiziente Eliminierung von *E. coli* und *Enterococcus* festgestellt werden. Dies wurde durch ein schwaches Bakterienwachstum aufgrund magerer Nährstoffverhältnisse erklärt.

Die geringste Reduktionsraten erreichte eine 2,5 m hohe Biotonnenmiete mit nur 2 Umsetzungsvorgängen in den ersten 8 Wochen. Mittlere bis gute Ergebnisse erzielten Biotonnenmieten unabhängig von der Mietenhöhe, jedoch mit wöchentlichem Umsetzen in den ersten 10 – 12 Wochen.

Im Fall der Klärschlammieten traten vergleichbar gute Reduktionen bei Enterokokken und *E.coli* in den Variante mit Rinde und den höheren Umsetzraten (2x/Woche in den ersten 6 Wochen) auf, kein Hygienisierungseffekt stellte sich bei den Fäkalcoliformen und den *Enterobacteriaceae* ein. Dies lässt auf den Vorteil vielfältiger und aktiver Zuschlagstoffe in der Klärschlammkompostierung schließen.

**Tabelle 7-23: Eckdaten der geschlossenen, zwangsbelüfteten Rottesysteme, deren Hygienisierungsleistung im Rahmen einer Dänischen Studie untersucht wurden (aus Kjellberg-Christensen et al., 2002[PS99]).**

Anlagen-Nr.		9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Typ</b>		Trommel batch, klein	Trommel kontinuierlich	Miete belüftet statisch mit Abdeckung	Miete belüftet semipermeable Membran	Tunnel, statisch, batch, klein	Tunnel, statisch, 'batch	Tunnel kontinuierlich umgesetzt	Tunnel kontinuierlich umgesetzt
<b>Inputmaterialien</b>									
<i>Biotonne</i>	% Input (m/m)	95	65	60	70	65	-	15	75
<i>Klärschlamm</i>	% Input (m/m)	-	-	-	-	-	75	80	-
	TM-Gehalt % m/m	-	-	-	-	-	25	35	-
<i>Gartenabfälle</i>	% Input (m/m)	-	-	-	25	-	-	-	-
<i>Andere</i>	% Input (m/m)	5	35	5	-	35	15	5	5
	Art	Zeitungspapier	Torf	Holzhäcksel	-	Holzhäcksel	Torf+ Holzhäcksel	Holzhäcksel	Holzhäcksel
<i>Siebüberlauf</i>	% Input (m/m)	-	-	35	5	-	10	-	20
<b>Hygienisierungsphase 1</b>									
Mietenquerschnitt und -masse	H/B/L (Meter)	600 Liter	125 m <sup>3</sup>	3.5/4/50	2.0/6.5/21	2.5/3/6	2.5/6/20	1.7/16/35	2.2/3/63
Dauer	Wochen	1-2	1	12	3	3	2	5	4
Belüftung	Ja/-	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Umsetzungsvorgänge	Anzahl	1 mal stündl.	mehrmals	tägl.	1	2	1	2-5 mal tägl.	21
Bewässerung	Ja/-	-	-	-	-	ja	ja	-	ja
<b>Hygienisierungsphase 2</b>									
Mietenquerschnitt und -masse	H/B/L (Meter)	0.7/0.8/1.0	-	3.5/6/15	2.0/6.5/21	-	-	-	3.5/5/15
Dauer	Wochen	2	4	4	3	-	-	-	5
Belüftung	Ja/-	-	-	-	ja	-	-	-	ja
Umsetzungsvorgänge	Anzahl	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Hygienisierter Kompost (HK)</b>									
Alter	Wochen	3	5	16	6	3	2	5	8
<b>Stabilisierungsphase 1</b>									
Mietenquerschnitt und -masse	H/B/L (Meter)	0.7/0.8/1.0	2/4/70	3.5/8/8	2.5/5/15	1.5/2/5	2.5/6/30	4/6/30	3.5/4/12
Dauer	Wochen	6	8-12	12	2	12	24	24	4
Belüftung	Ja/-	-	-	-	-	-	-	-	-
Umsetzungsvorgänge	Anzahl	-	1	-	-	-	-	-	-
Bewässerung	Ja/-	-	-	-	bei Bedarf	-	-	-	-
<b>Stabilisierungsphase 2</b>									
Mietenquerschnitt und -masse	H/B/L (Meter)	-	-	-	2.5/5/15	-	-	-	3.5/6/15
Dauer	Wochen	-	-	-	16	-	-	-	24
Belüftung	Ja/-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Fertigkompost (FK)</b>									
Siebung	Lochung Ø (mm)	20	keine	10	10	30	20	keine	15
Alter *	Wochen	8	24	28	24	16	24	28	45
<b>Ergebnisse</b>	<i>Fäkal coliforme</i>	+++	+++	+/R	+/R	+++	+++	-/R	+/R
	<i>E. coli</i>	+++	+++	-/R	-/R	+++	+++	-/R	-/R
	<i>Enterococcus</i>	+++/R	+++	++/R	-/R	+++	+++/R	+++/R	-/R
	<i>Enterobacteriaceae</i>	+++	+++	+/R	+/R	++	+/R	-/R	+/R

\*) Alter des Fertigkompostes entspricht u.U. nicht der Summe aus Hygienisierungs und Stabilisierungsphase (HK und FK teilw. von unterschiedlichen Teilchargen)  
- ... Keine Reduktion; + ... Geringe Reduktion/End-Keimzahl >10<sup>4</sup>; ++ ... Mittlere Reduktion/End-Keimzahl < 10<sup>4</sup> > 10<sup>3</sup>;  
+++ ... Effektive Reduktion/End-Keimzahl < 10<sup>3</sup>; /R ... Reinfektion/Wiederbesiedelung = höhere Keimzahl als z

Grundsätzliche lassen sich aber auch trotz der heterogenen Einzelergebnisse aus der Zusammenschau der bestehenden Erfahrungen und auf Basis der Gesetze des Milieus für ein optimales Abbaugeschehen folgende Grundsätze aufstellen:

- prinzipiell ist bei **nährstoffreichem Ausgangsmaterial** nach den Umsetzungsvorgängen eine Vermehrung von Bakterien eher gegeben als bei nährstoffarmen Substratmischungen
- **große Mietenquerschnitte** in Kombination mit unzureichender Sicherstellung des Gasaustausches führen zu inhomogenem Abbaugeschehen des Substrates und von eingetragenen pathogenen Keimen. Dem kann durch eine Kombination von
  - ausgewogenem Strukturanteil
  - entsprechender Umsetzfrequenz und/oder

- technischer Belüftung und
- Feuchtigkeitssteuerung (weder Vernässung noch Austrocknung) entgegengewirkt werden.

Durch zu hohe Mietenabmessungen sind inhomogene Rottebedingungen und damit Zonenbildungen mit reduzierenden Verhältnissen innerhalb weniger Stunden nicht zu verhindern und auch durch regelmäßiges Umsetzen schwerer in den Griff zu bekommen. Es schreitet in diesen Zonen der Ab- und Umbau nicht kontinuierlich voran, sondern es tritt eher eine Konservierung auf. Hier können sich die potenziellen Brutstätten für eine mesophile (pathogene) Bakterienflora aufgrund der so erfolgten Konservierung von Substrat ausbilden. In der Hygienisierungsphase haben die Bakterien, die in kühleren und noch nährstoffreicheren Bereichen überlebten, nach Umsetzungsvorgängen demnach wieder Gelegenheit sich an der kühleren Oberfläche zu etablieren.

Ein Erscheinungsbild (Wechsel von verpilzten trockenen, vernässten, verklumpten, unstrukturieren, braunen bis hellbraunen nicht humifizierten Zonen), das aus inhomogen geführten Rotten mit nicht ausreichend homogenisierend wirkenden Umsetzungssystemen bei zugleich großen Mietenabmessungen resultiert, weist auf einen unzureichenden Stabilisierungs- und Humifizierungsvorgang hin, wodurch eine dem Stand der Technik entsprechende Hygienisierung nicht optimiert werden kann.

#### ■ Umsetzhäufigkeit

Die Möglichkeit der Rekontamination bei der Kompostierung nährstoffreicher Materialien ist nach den Ergebnissen der dänischen Studie zumindest bei wöchentlichem Umsetzrhythmus nicht auszuschließen. Die Tatsache, dass in dem vorliegenden Versuch jedoch nur Mieten mit relativ großen Mietenquerschnitten ohne Wiederholung unter nicht standardisierten Bedingungen verglichen wurden, lässt einen endgültigen Rückschluss auf den Einfluss des Verfahrens nicht zu. Es muss davon ausgegangen werden, dass geringere Mietenquerschnitte und eine erhöhte Umsetzfrequenz bei optimalem Feuchtigkeitsgehalt zu einem homogenen und zügigeren Abbau und damit Stabilisierungsgeschehen führt, wodurch über den gesamten Mietenquerschnitt der Entzug der Nahrungsgrundlage für Enterobakterien optimiert werden kann. Siehe auch Gieß (1994[p100]).

Für wirtsgebundene Pathogene (Viren, Parasiteneier, Protozoencysten, ...) sehen die Autoren eine **Erhöhung der Umsetzhäufigkeit** für die effektive Reduktion bzw. Eliminierung jedenfalls als förderlich an (Kjellberg-Christensen et al., 2002[PS101]).

In etwa der Hälfte der von Kjellberg-Christensen et al. (2002[PS102]) untersuchten **technischen Systeme** konnte während der Hygienisierungsphase *Enterococcus* auf  $< 100$  KBE  $g^{-1}$  reduziert werden, was die Autoren auf eine homogene Behandlung und Erhitzung des gesamten Materials zurückführen. In einem Drittel der technischen Anlagen war die Reduktion von *Enterococcus* gering oder nicht signifikant. Zurückgeführt wurde dies auf generell zu niedrige Temperaturen ( $< 55^{\circ}C$ ) bzw. auf eine heterogene Temperaturentwicklung durch eine suboptimale Belüftung. Letzteres war wiederum die Folge von zu kompaktem, verdichtetem Material oder einer schlecht funktionierenden Belüftungstechnik.

Hieraus kann gefolgert werden, dass im Sinne einer ausreichenden Hygienisierung insbesondere eine homogene Verteilung von strukturbildenden Materialien, die den Gasaustausch sicherstellen, gefordert werden muss. Rottekörper (in jedem Stadium des Prozesses!), die größere kompakte, verdichtete Zonen aufweisen, zeigen eine nicht ordnungsgemäße Rotteführung an und entsprechen nicht dem Stand der Technik. Dies gilt gleichermaßen für offene Mietenrotten mit und ohne Belüftung und geschlossene Reaktorsysteme.

In den Bereichen des Lufteintritts wird häufig durch ein zu starkes Auskühlen bzw. Austrocknen eine ausreichende Durchhitzung des Materials verhindert. Bei Druckbelüftung in Flachsilos ohne ausreichende Umsetzungsvorgänge erscheint es daher notwendig die Zuluft hinsichtlich Temperatur und Feuchtigkeit zu konditionieren. Alternativ könnte durch eine alternierende Saug- und Druckbelüftung die Entwicklung von trockenen Zonen bzw. eine inhomogene Temperaturentwicklung hintangehalten werden. Wirkungsvoller erscheint in diesem Zusammenhang ein regelmäßiges Durchmischen des Materials, um die in län-

geren Ruhephasen entstehenden Luftkanäle zu zerstören und eine exakte Nachbefeuchtung des Materials zu erwirken. Damit wird die Wahrscheinlichkeit einer vollständigen Durchhitzung bei gleichzeitiger Gewährleistung des erforderlichen Feuchtigkeitsgehalts verbessert.

Bei Saugbelüftungen ist zu beachten, dass die Mietensohle häufig vernässt ist und trotz Zwangsbelüftung anaerobe und auch nicht ausreichend erhitzte Schichten auftreten können.

Strauch (1964[A103]) zit. nach Gieß (1994[p104]) fordert eine Temperatursteuerung in der Weise, dass die Zonen hoher Temperatur nicht vor Ablauf von drei Tagen erreicht werden, damit die sehr widerstandsfähigen Sporen pathogener Sporenbildner auskeimen können. Die ausgekeimten vegetativen Formen sind gegenüber äußeren Einflüssen weit weniger stabil.

Abschließend muss aus den vorliegenden Untersuchungen gefolgert werden: Werden an beide Systeme die gleichen Sorgfaltsansprüche an eine homogene Prozessführung gestellt, können hinsichtlich des Hygienisierungspotenzials geschlossene Intensivrotteverfahren und offene Mietensysteme nicht systematisch unterschieden werden.

#### 7.4.2.2 Stabilisierungsphase

Die Stabilisierungsphase gewährleistet die biologische Stabilität des Endproduktes und reduziert damit die Nahrungsgrundlage und folglich das Wachstumspotenzial von pathogenen Keimen. Eine zu geringe Stabilität des Produkts kann das Wachstum von Fäkal- und pathogenen Bakterien, die entweder die Hygienisierungsphase überlebt haben oder durch Reinfektion eingebracht werden, fördern. Hellemann et al. (1996[PS105]) weisen auf die Bedeutung der Nachrotte für die Reduktion der Keimzahlen im Speziellen der *Enterobacteriaceae* hin. Es ist die Mikroorganismenflora selbst, die zu einem wirkungsvollen Abbau der pathogenen Keime führt. In der Konkurrenz um Nährstoffe und bei zügigem Aufbau eines Bodenmilieus sind bodenbürtige Mikroben in der besseren Position als pathogene Bakterien, die normalerweise auf die Umweltbedingungen ihres Wirtes spezialisiert sind (Millner et al., 1987[A106]). In der Stabilisierungsphase, die daher möglichst früh einsetzen sollte, ändert sich das Milieu zugunsten der bodenbürtigen Keime auf Kosten der Fäkal- oder pathogenen Keime. Eine Forderung nach sterilem Kompost wäre unangebracht, da er aufgrund des fehlenden Antagonismus viel anfälliger auf eine Neuinfektion durch Fäkalbakterien wäre (Hussong et al., 1985[A107]; Millner et al., 1987[A108]) beide zit nach Kjellberg-Kristensen et al., 2002[A109]).

Gieß (1994[p110]) betont die Wichtigkeit der Produktion eines fertig gerotteten Kompost, in dem keine Wiedervermehrung pathogener Mikroorganismen mehr stattfinden kann, wobei auch eine Keimverschleppungen im System durch den Maschinen- und Fuhrpark verhindert werden muss. Bei begrenzten Raumverhältnissen, folglich zu großen Haufen, zu engen Wegen für interne Transporte und schlechtem Handling, berichten Kjellberg Christensen et al. (2002[PS111]) von einem Ansteigen der Keimkonzentration auf das Ausgangsniveau während der Stabilisierungsphase durch Reinfektion.

#### 7.4.2.3 Exkurs Phytohygiene

Die höchste Wärmeverträglichkeit wies nach einer Untersuchung von Idelmann et al. (1998[PS112]) das Tabak-Mosaik-Virus auf, das allerdings im Vergleich zu anderen Phytopathogenen (bodenbürtigen Schadorganismen) eine geringe Widerstandsfähigkeit gegenüber mikrobiellem Abbau aufweist.

Die Autoren zeigten in Untersuchungen in Form von Prozessprüfungen nach LAGA M 10 unter Verwendung der Testorganismen *Plasmodiphora brassicae* (Kohlhrehnie, Schlauchpilz), Tabak-Mosaik-Virus (TMV) und Tomatensamen in Kompostierungsanlagen mit unterschiedlicher Rottetechnik, dass bei sachgerechter Rotteführung und bei einer praxisüblichen Rottezeit von 6-16 Wochen eine weitgehende bis vollständige Eliminierung der eingeschleusten Testorganismen stattfand.

Während für *P. brassicae* und Tomatensamen in allen Rotteverfahren und Bereichen der Rottekörper eine vollständige Inaktivierung erfolgte, wurde die Inaktivierung des TMV in 94 % der Rottebereiche erzielt. Der einzige Rottebereich, bei dem TMV reisoliert werden konnte und eine erhöhte Restinfektion auftrat, war die *Mietenbasis*.

Neben einem erhöhten Wassergehalt dieser Proben (> 55 % FM) ist hier auch i.d.R. von obligat auftretendem Sauerstoffmangel auszugehen.

Weitergehende Untersuchungen mit wesentlich kürzeren Rottezeiträumen (1-6 Wochen) zeigten, dass die für eine zufriedenstellende Inaktivierung direkt wie indirekt (zB über die Beeinflussung der biologischen Aktivität) relevanten Faktoren „optimal“ einzustellen sind:

- Temperatur: 55 – 60 °C
- Wassergehalt: 40 – 55 % FM (sehr abhängig von der Wasserkapazität und Struktur des Materials, d.h. während im Mietenfuß 60 % bereits zu Anaerobie führt, können diese in Mietenkern und der Scheitelzone die optimale Feuchtigkeit darstellen)
- Hohe mikrobielle Aktivität
- Ausgewogenes Nährstoffverhältnis
- Gute Strukturbeschaffenheit und Materialhomogenität
- Gute Sauerstoffversorgung
- C/N-Verhältnis und
- Rottezeit

Idelmann et al. (1998[PS113]) kommen zu dem Schluss, dass in **geschlossenen Intensivrotteverfahren** zur sicheren Inaktivierung neben den o.a. optimierten Rottebedingungen die Behandlungsdauer **nicht kürzer als 2 – 3 Wochen betragen dürfe**.

In Österreich wurde im Zuge der vorbereitenden Gespräche zur Kompostverordnung mit Experten festgestellt, dass bei Einhaltung der Prozessanforderungen für die tierhygienischen Anforderungen auch die phytopathogenen Keime aufgrund ähnlicher Letaltemperaturen ausreichend mit erfasst werden.

#### 7.4.2.4 Exkurs Baumusterprüfung zur Hygienisierungsleistung von Kompostierungsverfahren

Die im Zuge der Baumusterprüfverfahren der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK) vorgesehene Überprüfung der Hygienisierungsleistung von Anlagentypen, die auch in der deutschen Bioabfallverordnung (§ 3 Abs.4 Nr. 1) integriert wurden, sieht die Untersuchung von *Salmonella senftenberg W 775* (H<sub>2</sub>S-negativ), Kohlhernie [*Plasmiodiphora brassicae*], Tabak-Mosaik-Virus und Tomatensamen vor.

Da es nicht möglich ist, die Endprodukte (Kompost und Gärprodukte) selbst auf sämtliche mögliche Erreger zu untersuchen, werden repräsentative Pathogene ausgewählt und Bioabfälle zu Prüfzwecken damit beimpft. Nach erfolgter Kompostierung bzw. Vergärung wird festgestellt, ob die Erreger durch das angewandte Behandlungsverfahren zuverlässig abgetötet worden sind. Solche Art von Prüfungen werden „direkte Prozessprüfungen“ genannt.

Das Hygiene-Baumusterprüfsystem basiert auf einem Konzept, nach dem verschiedene Kompostierungs- bzw. Vergärungsverfahren als Baumuster definiert und beschrieben werden. Die hygienische Wirksamkeit der Verfahren wird durch direkte Prozessprüfungen festgestellt. Ob einzelne Kompostierungs- oder Vergärungsanlagen nach einem dieser hygienisch geprüften Baumuster betrieben werden, kann durch eine Konformitätsprüfung festgestellt werden. Diese als „Stand der Technik“ angesehenen **Prüfsysteme** erlauben es, die Hygienisierungsleistung einer Kompostierungsanlage zu beurteilen, den Hygienisierungserfolg in Abhängigkeit von der Rottezeit zu verfolgen, mögliche Schwachstellen bezüglich der Hygienisierung in der Kompostierungspraxis zu erkennen und dementsprechend Optimierungen vorzunehmen.

#### **Definition von Baumusterkategorien nach dem Hygiene-Baumusterprüfsystem**

1	2	3	4	5
Boxen- und Containerverfahren	Brikollare	Tunnel- und Zeilenverfahren	Trommelverfahren	Eingehauste Mietenkompostierung
6	7	8	9	
Offene und überdachte Mietenkompostierung	Mietenverfahren mit Membranabdeckung	Vergärungsverfahren, mesophil	Vergärungsverfahren, thermophil	

Bei der Beschreibung der einzelnen Baumuster hat der im Rahmen der BGK eingerichtete Hygieneausschuss für wichtige Prozessparameter praxisübliche Spannen festgelegt, innerhalb derer ein Behandlungsverfahren im Rahmen einer Konformitätsprüfung als mit dem Baumuster konform festgestellt werden kann. Es wird jedoch extra darauf hingewiesen, dass die hygienische Wirksamkeit eines Verfahrens nicht auch bei anderen Prozessbedingungen nachgewiesen werden kann. Ein solcher Nachweis könne erforderlichenfalls durch eine direkte Prozessprüfung jederzeit erbracht werden.

Als Beispiel sind 2 Baumusterblätter in Tabelle 7-24 abgebildet.

**Tabelle 7-24: Zwei Beispiele für die Beschreibung hygienisch geprüfter Baumuster (BGK e.V., 2001<sup>[A114]</sup>)**

	<b>Baumusterkategorie 6 (Miete uneingehaust) 6.2 Dreiecksmiete offen</b>	<b>Baumusterkategorie 3 (Tunnel / Zeilen) 3.4 LINDE-KCA-Tunnel</b>
<b>Rottekörper</b>	Dreiecksmiete offen	Tunnel
<b>Geometrie des Rottekörpers</b>	Höhe am Scheitel: $\leq 3,5$ m Breite am Fuß: $\leq 9$ m	Länge: 14 - 25 m Breite: 2,5 - 3 m Höhe: 1,70 - 2,20 m (Schütthöhe)
<b>Wassergehalt Rotteeingangsgemisch Rotteausgangsgemisch <sup>1)</sup></b>	50 - 65 % $\geq 30$ %	50 - 65 % $\geq 40$ %
<b>Art der Befeuchtung <sup>2)</sup></b>	Bewässern bei Bedarf während des Umsetzens Brauchwasser, Prozesswasser bis zu 3 Wochen	Prozesswasser bis zu 5 Tagen Brauchwasser
<b>Belüftung</b>	entfällt	Druckbelüftung Druck- /Saugbelüftung
<b>Belüftungssteuerung <math>m^3</math> Luft <math>m^{-3}</math> Material <math>h^{-1}</math></b>	entfällt	3 - 100
<b>Umsetzaggregat</b>	Radlader o. Mietenumsetzer	entfällt
<b>Umsetzhäufigkeit <sup>3)</sup></b>	$\geq 1$ x spätestens nach 4 Wochen	entfällt
<b>Rottezeit bis zur Hygienisierung</b>	6 Wochen	10 Tage
<b>Ausgangsmaterialien <sup>4)</sup></b>	Bioabfälle (Biotonne) Garten- und Parkabfälle Gewerbeabfälle $< 10$ % <sup>5)</sup>	Bioabfälle (Biotonne) Garten- und Parkabfälle Gewerbeabfälle $< 10$ % <sup>5)</sup>
<b>Strukturanteil</b>	$\geq 20$ %	$\geq 20$ %

<sup>1)</sup> Wassergehalt des Rottegemisches nach der „Rottezeit bis zur Hygienisierung“

<sup>2)</sup> Nach Einsatz von Prozesswasser muss mindestens noch ein Umsetzvorgang erfolgen

<sup>3)</sup> Innerhalb der angegebenen „Rottezeit bis zur Hygienisierung“

<sup>4)</sup> Zugelassen nach Bioabfallverordnung (BioAbfV)

<sup>5)</sup> liegt der Anteil an Gewerbeabfällen über 10 % erfolgt eine Bewertung der Art und Zusammensetzung der Gewerbeabfälle durch die Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.

Diese direkte Prozessprüfung und Konformitätsprüfung wurde in Österreich aus folgenden Gründen nicht übernommen:

- Die Erfahrungen der seuchenhygienischen Endproduktkontrollen an Komposten zeigten, dass eine Fülle von individuellen Rahmenbedingungen (Materialmischung, Homogenität, Rottedauer, Feuchtigkeitsgehalt und Gasaustausch in allen Rottephasen, Temperaturprofil, Probenahme etc.) in allen Verfahren zu einer enormen Variabilität der gefundenen Keimspektren nach Qualität und Quantität führt.
- Von der mikrobiologischen Expertenrunde im Zuge der Vorarbeiten zur Kompostverordnung wurde daher einhellig die Auffassung vertreten, dass eine einmalige Systemüberprüfung (Baumuster) bzw. auch eine Konformitätsprüfung in der Regel nur ein zufälliges Ergebnis zum Zeitpunkt der Untersuchung erbringt. Ein wesentlicher Rückschluss auf die jeweilige Qualität der individuell erzeugten Kompostcharge wäre demnach unzulässig. Für die Produktsicherheit wäre dies in Ergänzung zur indirekten Prozessüberwachung (Temperaturkontrolle und Dokumentati-

on einer ordnungsgemäßen Prozessführung) und zur Endproduktkontrolle mittels Indikatorkeimen am Kompost kein zusätzlicher Beitrag.

Die hygienisch geprüften Baumuster mit den aufgeführten Basisparametern können aber generell als grobes Raster mit den wichtigsten Eckdaten für eine planmäßige Prozessführung im Sinne der Hygienisierung als Stand der Technik herangezogen werden.

Im Folgenden werden auf Basis der Literaturergebnisse und praktischer Erfahrungen die Mindestanforderungen an die Prozessführung für eine ausreichende Sicherung der seuchenhygienischen Unbedenklichkeit zusammengefasst.

Es wird an dieser Stelle ausdrücklich festgehalten, dass es für das Bestreben, sämtliche potenzielle Krankheitserreger abzutöten, keine 100-prozentige Sicherheit geben kann. Diese wäre nur durch eine vollständige Pasteurisierung (zB 133 °C 12 h bei 3 bar) zu erzielen. Eine solche Sterilisierung wäre erstens hinsichtlich der erwünschten mikrobiellen Vielfalt und Aktivität von Kompost nicht wünschenswert und zweitens hinsichtlich der tatsächlichen Gefahr schwere epidemiologisch relevante Krankheiten zu übertragen ein unverhältnismäßiger Aufwand.

Die Hygiene- oder Tierische Nebenprodukte (TNP) Verordnung, (EG) Nr. 1774/2002<sup>21</sup> mit den Durchführungs- und Übergangsbestimmungen muss nunmehr für die Anforderungen an Hygienisierung und das damit verbundene Prozessmanagement mit berücksichtigt werden.

Aus den grundsätzlichen Anforderungen an die Hygienisierung aus der TNP-Verordnung ergibt sich in Abhängigkeit der eingesetzten TNP ein abgestuftes Anforderungsprofil an Kompostierungsanlagen.

### **7.4.3 Grundsätzliches aus der TNP-Verordnung**

Für die Behandlung in Kompostanlagen kommen grundsätzlich nur Materialien der Kategorie 2 und 3 in Frage.

#### **Material der Kategorie 3**

Bei Material der Kategorie 3 handelt es sich durchwegs um Nebenprodukte von gesunden Tieren bzw. um grundsätzlich genusstaugliche, bei der Herstellung oder Verarbeitung von Lebensmitteln tierischer Herkunft angefallene Nebenprodukte oder ehemalige (überlagerte) Lebensmittel unter der Voraussetzung dass diese Materialien keine Anzeichen einer übertragbaren Krankheit aufweisen. Hierzu zählen auch Küchen- und Speiseabfälle aus Groß- und Haushaltsküchen, wodurch auch biogene Abfälle aus Haushalten (und „ähnlichen Einrichtungen“) aus der getrennten Sammlung („Biotonne“) umfasst sind. Im folgenden Kasten sind sämtliche Materialien der Kategorie 3 des Artikel 6 Abs. 1, TNP-Verordnung aufgelistet.

---

<sup>21</sup> Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Oktober 2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte

### **Artikel 6 (1) Material der Kategorie 3**

Material der Kategorie 3 umfasst folgende tierische Nebenprodukte und jedes diese Produkte enthaltende Material:

- a) Schlachtkörperteile, die nach dem Gemeinschaftsrecht genusstauglich sind, die jedoch aus kommerziellen Gründen nicht für den menschlichen Verzehr bestimmt sind;<sup>22</sup>
- b) Schlachtkörperteile, die als genussuntauglich abgelehnt werden, die jedoch keine Anzeichen einer auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit zeigen und die von Schlachtkörpern stammen, die nach dem Gemeinschaftsrecht genusstauglich sind;<sup>22</sup>
- c) Häute, Hufe und Hörner, Schweineborsten und Federn von Tieren, die nach einer Schlachttieruntersuchung, aufgrund deren sie nach dem Gemeinschaftsrecht für die Schlachtung zum menschlichen Verzehr geeignet sind, in einem Schlachthof geschlachtet werden;
- d) Blut von anderen Tieren als Wiederkäuern, die nach einer Schlachttieruntersuchung, aufgrund deren sie nach dem Gemeinschaftsrecht für die Schlachtung zum menschlichen Verzehr geeignet sind, in einem Schlachthof geschlachtet werden;
- e) tierische Nebenprodukte, die bei der Gewinnung von für den menschlichen Verzehr bestimmten Erzeugnissen angefallen sind, einschließlich entfetteter Knochen und Grieben;
- f) ehemalige Lebensmittel tierischen Ursprungs oder Erzeugnisse tierischen Ursprungs enthaltende ehemalige Lebensmittel, außer Küchen- und Speiseabfällen, die aus kommerziellen Gründen oder aufgrund von Herstellungsproblemen oder Verpackungsmängeln oder sonstigen Mängeln, die weder für den Menschen noch für Tiere ein Gesundheitsrisiko darstellen, nicht mehr für den menschlichen Verzehr bestimmt sind;
- g) Rohmilch von Tieren, die keine klinischen Anzeichen einer über dieses Erzeugnis auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit zeigen;
- h) Fische oder andere Meerestiere, ausgenommen Meeressäugetiere, die auf offener See für die Fischmehlherstellung gefangen wurden;
- i) bei der Verarbeitung von Fisch anfallende frische Nebenprodukte aus Betrieben, die Fischerzeugnisse für den menschlichen Verzehr herstellen;
- j) Schalen, Brütereinebenprodukte und Knickeiernebenprodukte von Tieren, die keine klinischen Anzeichen einer über diese Erzeugnisse auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit zeigten;
- k) Blut, Häute, Hufe, Federn, Wolle, Hörner, Haare und Pelze von Tieren, die keine klinischen Anzeichen einer über diese Erzeugnisse auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit zeigten, und
- l) ~~andere Küchen- und Speiseabfälle als die in Artikel 4 Absatz 1 Buchstabe e) genannten.~~

### **Material der Kategorie 2**

Material der Kategorie 2 stammt zwar nachweislich ebenfalls nicht aus Risikobereichen (hinsichtlich BSE Risiko), betrifft jedoch sonstige eventuell tierseuchenrelevante Herkünfte oder mögliche Kontaminationen mit zB Arzneimittelrückständen oder es handelt sich um tierische Nebenprodukte, die nicht unmittelbar aus der Lebensmittelgewinnung stammen oder Mängel aufweisen (zB Importwaren, aus Drittländern, die nicht alle Importbestimmungen einhalten, Abwässer aus Schlachthöfen oder untauglich beurteilte Schlachtkörper und -teile (Konfiskate)).

Eine besondere Stellung nehmen „Gülle sowie (von Magen und Darm getrennter) Magen- und Darminhalt, Milch und Kolostrum“ (Art. 5(1)(a) und Art. 5(2)(e)) ein. Diese werden zwar zu den Materialien der Kategorie 2 zugerechnet, hinsichtlich der Hygienisierungsanforderungen sind – jeweils mit Zustimmung

<sup>22</sup> Beachte: Schlachtkörperteile entsprechend Artikel 6 Abs. 1 Buchstabe (a) und (b) jedweder Herkunft und Art sind gemäß Anlage 1 Kompostverordnung kein zulässiges Ausgangsmaterial zur Herstellung von Kompost.

der zuständigen Behörde – weitreichende Ausnahmen und Erleichterungen für Transport, Behandlungsvorschriften und Aufbringung vorgesehen.

Festzuhalten ist, dass die Definition von Gülle in Anhang I Punkt 37 *Exkrememente und/oder Urin von Nutztieren, mit oder ohne Einstreu*, umfasst und damit im Grunde dem Begriff „Wirtschaftsdünger“ entspricht.

#### 7.4.4 Abgestufte Behandlungsvorschriften in Kompostierungsanlagen

Hinsichtlich der spezifischen Anforderungen zur Hygienisierung wird zwischen fünf Materialgruppen unterschieden:

- (A) **Getrennt gesammelte biogene Abfälle** inklusive der hierin enthaltenen Küchen- und Speiseabfälle sowie andere zulässige Materialien zur Kompostierung gemäß Anlage 1 Kompostverordnung, die keine tierischen Nebenprodukte enthalten [**Basisanforderungen**]
- (B) Getrennte Anlieferung von Küchen- und Speiseabfällen aus Gastronomie und Großküchen
- (C) **Sonstige Kategorie 3 Materialien** gemäß § 6(1) Buchstabe (a) bis (k) TNP-Vo;
  - (C.1) Anforderungen für **Betriebe, die gemäß den Übergangsbestimmungen [(EG) Nr. 809/2003] bereits am 1. November 2002 genehmigt** waren
  - (C.2) Anforderungen für **Betriebe, die erst nach dem 1. November 2002 genehmigt wurden** (keine Anwendung der Übergangsbestimmungen)
- (D) **Wirtschaftsdünger, Magen- und Darminhalt (zB Panseninhalt), Milch und Kolostrum** (falls ausschließlich oder gemeinsam verarbeitet mit Materialien aus (A) bis (C))
- (E) **Sonstige Kategorie 2 Materialien**

Wie oben erwähnt, muss hinsichtlich der Behandlungsvorschriften in Kompostanlagen zwischen den Materialien der Kategorien 2 und 3 unterschieden werden. Hierbei sind insbesondere die Ausnahme- und Übergangsbestimmungen für Küchen- und Speiseabfälle, Wirtschaftsdünger, sowie Magen- und Darminhalt, Milch und Kolostrum zu berücksichtigen.

Grundsätzlich bedürfen Kompost- und Biogasanlagen, in denen tierische Nebenprodukte behandelt werden, der Zulassung gemäß Artikel 15 der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002. Die spezifischen Anforderungen für Kompost- und Biogasanlagen an die Verarbeitung von TNP der Kategorie 2 und 3 mit den allgemeinen und speziellen Hygienevorschriften und die Anforderungen an Fermentationsrückstände und Kompost sind in Anhang VI Kapitel II, TNP-Verordnung festgelegt.

Hier werden nun die konkreten nationalen Anforderungen an die Hygienisierung unter Berücksichtigung der Erfordernisse der TNP-Verordnung aufgeführt.

##### 7.4.4.1 (A)

Basisanforderungen für getrennt gesammelte biogene Abfälle (inklusive Küchen- und Speiseabfälle) sowie sonstige zulässige Materialien zur Kompostierung gemäß Anlage 1 Kompostverordnung, die keine tierischen Nebenprodukte enthalten

##### **Definitionen und Vorgaben der TNP-Verordnung**

Die Definition von Küchen- Speiseabfällen lautet (Anhang 1 Punkt 15, TNP-Verordnung):

*„Küchen- und Speiseabfälle“ alle aus Restaurants, Catering-Einrichtungen und Küchen, einschließlich Groß- und Haushaltsküchen, stammenden Speisereste einschließlich gebrauchtes Speiseöl“*

Es ist grundsätzlich festzustellen, dass „Küchen- und Speiseabfälle“ durch die Bestimmung in Artikel 6(2)(g) und Artikel 7(1) TNP-Vo sowohl von den besonderen Anforderungen an *Abholung/Sammlung, Beförderung und Lagerung* als auch den Anforderungen an Kompostanlagen des Anhang VI ausgenommen sind.

Dabei wird nicht zwischen (tierischen) Küchenabfällen aus Großküchen und Privathaushalten bzw. Sam- melsystem (Direktabholung oder kommunale Sammlung/Biotonne), unterschieden.

Aus prozesstechnischer und abfallwirtschaftlicher Sicht sollten jedoch schlammig-pastöse Küchen- und Speiseabfälle in Biogasanlagen vergoren werden.

Wenn dies gesamtökologisch sinnvoll ist (zB Transportwege im ländlichen Einzugsgebiet), können diese aber auch in Kompostanlagen verarbeitet werden. Im Falle einer getrennten Anlieferung von Küchen- und Speiseabfällen aus Gastronomie und Großküchen gelten die Anforderungen (B) in Abschnitt 7.4.4.2.

Absatz (14) in Kap. II C. des Anhang VI stellt auch klar, dass die Ausnahme des Artikel 6(2)(g) auch dann gilt, wenn Küchen- und Speiseabfälle gemeinsam mit Wirtschaftsdünger, Magen- und Darminhalt, Milch und Kolostrum verarbeitet werden. Der Forderung nach einer gleichwertigen Wirkung bei der Verringerung von Krankheitserregern wird bei Einhaltung der hier festgelegten Behandlungsvorschriften entsprochen.

Küchen- und Speiseabfälle der Kategorie 3 können gemäß Artikel 6(2)(g) der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 bis zum Erlass von Vorschriften auf Gemeinschaftsebene nach innerstaatlichem Recht in einer Biogasanlage verarbeitet oder kompostiert werden.

Bisher wurde seitens der Kommission keine Initiative zu einer harmonisierten Durchführungsbestimmung für die Kompostierung und anaerobe Vergärung von Küchenabfällen ergriffen.

Konkret heißt dies, dass der Stand der Technik für die Hygienisierung (Prozesssteuerung und -überwachung) und die Anforderungen an das Endprodukt seitens der Mitgliedsstaaten festgelegt werden können.

Für die Kompostierung sind die grundlegenden Anforderungen and die Temperatur- und Prozessaufzeichnungen in der Kompostverordnung, BGBl I Nr. 292/2001 festgelegt. Diese werden nunmehr in dieser Richtlinie zum *Stand der Technik der Kompostierung* präzisiert.

Da es seit Erlass der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 fortdauernd Diskussionen mit sehr widersprüchlichen Interpretationen und Aussagen sowohl seitens der Kommission als auch der Mitgliedsstaaten gegeben hat, hat die Kommission im April 2004 eine Klarstellung mit dem Leitfaden *“Guidance on applying the new Animal By-Products Regulation (EC) No 1774/2002”* zur Verarbeitung von Küchen- und Speiseabfällen in Kompostierungs- und Biogasanlagen vorgenommen.

Hier wird unmissverständlich klargelegt, dass die Verordnung auf eine Regelung der Küchen- und Speiseabfälle zugunsten vorgesehener Umweltvorschriften bzw. nationaler Regeln verzichtet.

### **Basisanforderungen an die Prozessführung im Sinne einer ordnungsgemäßen Hygienisierung**

- Die KompostausgangschARGE muss homogen mit sämtlichen Mischungspartnern abgemischt werden. Zur Herstellung einer solchen homogenen Ausgangsmischung sind vorzugsweise Mischaggregate, wie Mischschnecken, Umsetzmaschinen, Mist- oder Kompoststreuer, Mischtrommeln zu verwenden. Die Abmischung mit dem Rad- oder Frontlader ist nur dann als geeignet anzusehen, wenn die Mischungspartner selbst bereits in einem weitgehend homogenen, gut mischbaren Zustand vorliegen.
- In der offenen Mietenkompostierung sind zu große Querschnitte (Höhe > 2,50 m) bei Verarbeitung von Mischungen mit hohen Anteilen an biogenen Abfällen aus Haushalten, Küchenabfällen sowie Klärschlamm zu vermeiden, da eine gleichmäßige Sauerstoffversorgung bzw. Homogenisierung im Zuge des Umsetzens nur erschwert möglich ist. Dies kann nur beschränkt durch Zwangsbelüftungssysteme kompensiert werden. Als Faustregel hat daher für beide Systeme zu gelten: Je höher die Miete (evtl. auch über 2,50 m), desto höher muss der Strukturanteil sein und desto sorgfältiger muss auf einen homogenen Gasaustausch durch Umsetzen bzw. eine Kombination aus technischer Belüftung und mechanischem Umsetzen vorgenommen werden. Dies muss jeder Betrieb über die maschinelle und personelle Ausstattung gewährleisten.
- Bei der Arbeit mit dem Radlader ist auf die Vermeidung der Klumpenbildung und die Unterbindung von Rekontaminationen durch Reste in der Laderschaufel aus frischen Materialien zu achten. Die Radlader Schaufel ist vor der Bearbeitung von Kompostchargen, die keine thermische Hygienisierung mehr erfahren, von Materialresten, die eine Verschleppung von Keimen bewirken könnten, mechanisch zu reinigen.

- Die Zumischung von tonhaltiger Erde oder Altkompost (bis ca. 10 % (m/m)) kann zusätzlich eine zügigere Humifizierung und Stabilisierung fördern, und dadurch das Wachstumspotenzial für (pathogene) Keime reduzieren. Es ist jedoch in Abhängigkeit der anderen Mischungspartner und des Mietenquerschnitts darauf zu achten, dass der Flächendruck (die Dichte) der Gesamtmischung insbesondere durch den Zusatz von Erde nicht zu hoch wird. Durch einen zu hohen Erdzusatz können Porosität, Sauerstoffversorgung und Abbauintensität leiden.
- Die Kompostverordnung gibt hinsichtlich des Temperatur/Zeitregimes nur die arbeitstägliche Temperaturaufzeichnung über einen Gesamtzeitraum von 10 Tagen während der Heißrottephase vor. Damit wurde auf die verschiedenen Ausgangsmaterialien, klimatischen Bedingungen aber auch auf die Anforderungen an die Qualitätsbildung (Stoffeherhaltung und Humusbildung) Bedacht genommen.

Nach verschiedenen Autoren und Regelwerken können hinsichtlich der temperaturbewirkten Entseuchung folgende Varianten als Mindeststandards formuliert werden. Diese bieten genügend Flexibilität für die verschiedenen Kompostierungsverfahren.

**Tabelle 7-25: Varianten des Temperatur-Zeitregimes zum indirekten Nachweis der ausreichenden Reduktion von seuchenhygienisch relevanten Keimen**

Mindesttemperatur	Dauer
<b>Offene und umhauste Mieten (offene Zeilenmieten, Rottehallen,) mit natürlicher oder Zwangsbelüftung</b>	
<b>55 °C</b>	kontinuierliche Temperaturmessung mittels Sonde; Einhaltung der Mindesttemperatur über einen zusammenhängenden Zeitraum von 4 Stunden jeweils nach 5 Umsetzungsvorgängen; Gesamtmesszeitraum: mindestens 10 Tage
<b>55 °C</b>	Diskontinuierliche, arbeitstägliche Temperaturmessung *; Einhaltung der Mindesttemperatur an sämtlichen Messtagen innerhalb eines zusammenhängenden Zeitraums von 10 Tagen bei mindestens 3 Umsetzungsvorgängen
<b>60 °C</b>	Diskontinuierliche, arbeitstägliche Temperaturmessung *; Einhaltung der Mindesttemperatur über 3 x 3 Tage bei 2 Umsetzungsvorgängen innerhalb eines zusammenhängenden Zeitraums von 14 Tagen
<b>65 °C</b>	Diskontinuierliche, arbeitstägliche Temperaturmessung *; Einhaltung der Mindesttemperatur über 2 x 3 Tage bei 1 Umsetzungsvorgang innerhalb eines zusammenhängenden Zeitraums von 14 Tagen
<b>Gekapselte Intensivrotte (zB Boxen oder Tunnelkompostierung) mit Zwangsbelüftung</b>	
<b>55 °C</b>	kontinuierliche Temperaturmessung mittels Sonde; Einhaltung der Mindesttemperatur über 4 Tage innerhalb eines zusammenhängenden Zeitraums von 10 Tagen
<b>65 °C</b>	kontinuierliche Temperaturmessung mittels Sonde; Einhaltung der Mindesttemperatur über 3 Tage innerhalb eines zusammenhängenden Zeitraums von 10 Tagen

\* Auch kontinuierliche Messverfahren mittels Temperatursonden und automatischer Aufzeichnung sind möglich.

- In den Wintermonaten kann es zu nicht ausreichend hohen Temperaturen kommen, in offenen Anlagen durch Abkühlung der Mietenoberfläche und in geschlossenen Anlagen an der Mietenbasis durch eine nicht angepasste Belüftung. Eine Lösungsmöglichkeit bietet die Erhöhung des Mietenquerschnitts und des Strukturanteils. Mietenhöhen zwischen ca. 1,5 und 2,5 Meter ergeben ein Rottevolumen, dass bei gut abgestimmter Materialmischung eine ausreichende Erwärmung sicherstellt. In gekapselten Intensivrottesystemen ist rechtzeitig von „Sommer- auf Winterbelüftung“ umzustellen. Voraussetzung ist eine gewissenhafte innerbetriebliche Rotteüberwachung (Temperatur/ Feuchtigkeitsüberwachung).
- Eine ausreichende Stabilisierung ist zur Sicherung der biologischen Stabilität des Endproduktes von größter Bedeutung. Hierbei wird das Wachstumspotenzial von Fäkal- und pathogenen Bakterien, die entweder die Hygienisierungsphase überlebt haben oder durch Reinfektion eingebracht werden, reduziert.
- Eine Trockenstabilisierung in geschlossenen Anlagen erfüllt diese Aufgabe nicht. Daher ist in diesem Fall die 2. Hauptrottephase bzw. die Nachrotte bei ausreichendem Feuchtigkeitsgehalt und entsprechender mechanischer oder technischer Belüftung durchzuführen.

- Bauliche Elemente, die Schadnagern die Möglichkeit zur Vermehrung bieten, sollten diesen unzugänglich gemacht werden.
- Die Verschleppung von Keimen durch innerbetriebliche Abläufe ist durch eine räumliche Trennung des Übernahme-, Aufbereitungs- und Hauptrottebereichs von allen übrigen Anlagenteilen zu verhindern. Mieten (Kompostchargen) sollen im Zuge des Rottefortschritts durch regelmäßiges Umsetzen (Seitenversetzung) *immer nur in eine Richtung* wandern. Geräte, die zur Manipulation von nicht hygienisierten Materialien verwendet wurden, sind vor dem Einsatz im Bereich der Nachrotte, der Feinaufbereitung oder des Nachlagers mechanisch von Materialresten zu befreien.
- Bei Einbringen von unbehandelten (nicht über eine Pflanzenkläranlage biologisch gereinigte) Prozesswässern und verunreinigten Niederschlagswässern aus dem Übernahme- und Hauptrottebereich in Mieten, die keine eine temperaturbedingte Hygienisierung gemäß Tabelle 7-25 durchlaufen (Nachrotte), ist eine 4-wöchige Wartefrist für die Verwertung (Inverkehrbringen) der Komposte zu beachten.
- Es ist eine vom Hauptrottebereich getrennte Lagerfläche für Fertigkomposte vorzusehen.

### **Dokumentation zur seuchenhygienischen Beurteilung des Rotteprozesses und des Verfahrensablaufes**

Die Durchführung der Kontrolle des Verfahrensablaufes ist in Anlage 6 Punkt 4.b KompostVo geregelt. Hierin heißt es:

„... 4) Vom Komposthersteller ist während der Kompostierung aufzuzeichnen:

*... b) zur seuchenhygienischen Beurteilung des Rotteprozesses und des Verfahrensablaufes die Temperatur (während thermophiler Phase, über einen Zeitraum von zumindest 10 Tagen, arbeitstäglich, während der übrigen Rottephasen je nach Erfordernis der Verfahrenstechnik) und die Maßnahmen der Prozesssteuerung (Angaben über Umsetzzeitpunkte, Bewässerung, Belüftung, Zumischung von Materialien usw.); Das Temperaturmessverfahren kann auf das angewandte Kompostierungssystem abgestimmt werden.“*

Diese Aufzeichnungen sind gemeinsam mit dem Ergebnis der mikrobiologischen Produktuntersuchung von der befugten Fachanstalt hinsichtlich der seuchenhygienischen Unbedenklichkeit für die jeweiligen Anwendungsbereiche zu beurteilen.

Im Betriebstagebuch sind daher unter Angabe des Datums folgende Aufzeichnungen zur Temperatur und über Maßnahmen der Prozesssteuerung zu führen:

- **Temperaturmessung**
  - Diskontinuierliche Messung: Zumindest eine Messung pro Arbeitstag über einen zusammenhängenden Zeitraum von 10 Tagen. Temperaturniveau mindestens 55 °C oder
  - Kontinuierliche Messung: Temperatursonden mit EDV-gestützter Temperatureaufzeichnung über einen Zeitraum von 10 Tagen.
  - Die Anforderungen an das Temperatur-Zeitprofil mit den jeweils erforderlichen Umsetzmaßnahmen in der offenen Mietenkompostierung gemäß Tabelle 7-25.
  - Nach Abschluss der temperaturbedingten Hygienisierungsphase sind bis zum Ende der Hauptrotte (Temperatur konstant unter ca. 40 °C) diskontinuierliche Temperaturmessungen zumindest einmal wöchentlich durchzuführen.
  - Die Messstellen müssen im Mietenkern, jedoch mindestens 30 cm über dem Mietenfuß bzw. 30 cm unterhalb der Mietenoberfläche erfolgen.
- **Feststellen des Feuchtigkeitsgehaltes (zB Messung, Faustprobe)**
  - Ein ausreichender Feuchtigkeitsgehalt ist sowohl für die temperaturbedingte Hygienisierung als auch für den in der mesophilen Abkühlungsphase stattfindenden mikrobiellen Abbau ausschlaggebend. Die Einschätzung des Feuchtigkeitsgehaltes ist die Voraussetzung für eine gezielte Steuerung des Wassergehaltes im Rottegut.

- Die Beurteilung des Feuchtigkeitsgehalts hat zumindest 1x wöchentlich bzw. zum Zeitpunkt der Temperaturmessung zu erfolgen.
- Eine einfache Einschätzung aufgrund von Erfahrungswerten mittels Faustprobe oder visueller Kontrolle ist in der Regel ausreichend.
- Die Beurteilung ist anhand einer Boniturskala (zu trocken – gute Feuchtigkeit – zu nass) im Betriebstagebuch einzutragen.
- In geschlossenen Reaktoren kann der Feuchtigkeitsgehalt über Sensoren im Rottekörper bzw. in der Abluft abgeschätzt werden.
- Bewässerungsmaßnahmen
  - Festzuhalten sind:
    - ⇒ Bewässerungszeitpunkt
    - ⇒ Herkunft des Bewässerungswassers (zB Frischwasser, Perkolat aus geschlossenen Anlagen, Prozesswasser aus dem Sammelbecken der Hauptrotte bzw. aus dem Sammelbecken der getrennten Erfassung von Oberflächenabwässern aus dem Nachrotte- oder Nachlagerungsbereich und der Feinaufbereitung)
    - ⇒ Im Falle von geschlossenen Anlagenteilen sollte eine chargenbezogene Aufzeichnung der zugegebenen Wassermenge erfolgen.
- Umsetzzeitpunkte
- Belüftungsmaßnahmen bei zwangsbelüfteten Systemen
- Allfällige andere Maßnahmen wie zB
  - Zusammenlegen mit anderen Kompostchargen
  - Zumischung von weiteren Ausgangsmaterialien, Häckselgut, Erde, sonstigen Zuschlagstoffen im Zuge der Kompostierung
  - Mietenabdeckung
  - Siebung

Mit Ausnahme der Protokollierung des Temperaturverlaufes gemäß Tabelle 7-25 müssen diese Aufzeichnungen bei *regelmäßig genau gleichen Prozessabläufen* nicht für jede Kompostcharge wiederholt werden. Jede Abweichung hiervon muss allerdings nachvollziehbar dokumentiert werden.

Die für die zu beurteilende Kompostcharge gültige Prozessdokumentation ist der mit der Kompostbeurteilung beauftragten Fachanstalt (Labor) zu übergeben.

#### 7.4.4.2 (B)

#### Getrennte Anlieferung von Küchen- und Speiseabfällen aus Gastronomie und Großküchen

In Artikel 6(2)(g) der TNP-Verordnung werden Küchen- und Speiseabfälle aus Gastronomie und Großküchen hinsichtlich der Anwendung nationaler Vorschriften von Haushaltsküchen nicht unterschieden (siehe auch Definition in 7.4.4.1). Wie erwähnt sollten jedoch aus prozesstechnischer und abfallwirtschaftlicher Sicht schlammig-pastöse Küchen- und Speiseabfälle in Biogasanlagen vergoren werden.

Im Falle der Kompostierung setzt der pastös-flüssige Zustand der Küchen- und Speiseabfälle aus Großküchen eine besondere Sorgfalt hinsichtlich Aufbereitung und Abmischung zur Sicherstellung eines ordnungsgemäßen Prozessablaufes voraus (Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Strukturgutanteil zur Aufrechterhaltung des erforderlichen Gasaustausches, Geruchsmanagement; siehe 7.2, 9.2.4 und 9.3).

Getrennt angelieferte Gastronomieabfälle sind *unverzüglich* mit den erforderlichen Mischungspartnern zu einer Kompostausgangsscharge abzumischen oder zur Vorfermentation gemäß Abschnitt 5.2.2 aufzubereiten und aufzusetzen.

Zusätzlich zu den bereits in den Basisanforderungen (A) beschriebenen Anforderungen (Reinhaltung, Vermeidung von Verschleppung nicht hygienisierter Materialien in Bereiche der Nachrotte und Nachlagerung, Gewährleistung, dass das gesamte Material der erforderlichen Temperatur ausgesetzt ist) wirkt bei offener Mietenkompostierung ein Abdecken der Mieten mit Schreddermaterial, Altkompost oder Kom-

postvlies bis zum Abschluss der thermischen Hygienisierungsphase gemäß Tabelle 7-25 der Verschleppung von Materialien durch Wind oder Vögel ausreichend entgegen.

#### 7.4.4.3 (C.1)

Bestimmungen für die Verarbeitung sonstiger Materialien der Kategorie 3 (Art.6(1) Buchstabe (a) bis (k) TNP-Vo) auch gemeinsam mit „Wirtschaftsdünger“ in Kompostierungsanlagen, die diese Bestimmungen bereits am 1. November 2002 anwendeten – Übergangsbestimmung (EG) Nr. 809/2003

Die folgenden Anforderungen an die Hygienisierung gelten zusätzlich zu den Basisanforderungen in 7.4.4.1 für Materialien des Artikel 6 (1) Buchstabe (a) bis (k) [siehe Kasten in Abschnitt 7.4.3].

#### **Grundlegende Bestimmungen**

Mit der Verordnung (EG) Nr. 809/2003 wurde für Kompostanlagen, die Materialien der Kategorie 3 mit oder ohne „Wirtschaftsdünger“ verarbeiten, eine Übergangsbestimmung geschaffen. Durch diese Übergangsbestimmung können Erleichterungen von den Anforderungen in Anhang VI Kapitel II A, C und D der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 auf Basis von nationalem Recht ermöglicht werden. Die ursprüngliche Befristung dieser Übergangsbestimmung mit 31. Dezember 2004 wurde um ein Jahr bis 31. Dezember 2005 verlängert<sup>23</sup>.

Alle anderen (zu einem späteren Zeitpunkt genehmigten) Anlagen, die sonstige Materialien der Kategorie 3 oder Kategorie 2 (mit Ausnahme von Küchen- und Speiseabfällen, Wirtschaftsdünger, Magen- und Darminhalt, Milch und Kolostrum) verarbeiten, haben vollinhaltlich die Bestimmungen des Artikel 15 und Anhang VI, Kapitel II zu erfüllen (siehe Abschnitt 7.4.4.4).

#### **Spezielle Behandlungs- und Hygienevorschriften**

- Das Behandlungsverfahren muss eine Reduktion von pathogenen Keimen insgesamt gewährleisten.  
*Abweichend von den Hygienisierungsvorschriften der Basisanforderungen der Tabelle 7-25 in 7.4.4.1 ist hier generell eine Mindesttemperatur von 60 °C erforderlich. Dies stellt bei eventueller ungleichmäßiger Temperaturverteilung eine zusätzliche Sicherheit dar, dass das gesamte rotierende Material der erforderlichen Hygienisierungstemperatur über den notwendigen Zeitraum ausgesetzt ist.*
- Folgende Installationen müssen zur Verfügung stehen:
  - Geräte zur Überwachung der Temperaturentwicklung
  - Aufzeichnungsgeräte zur Aufzeichnung der Messergebnisse
  - ein angemessenes Sicherheitssystem zur Vermeidung einer unzulänglichen Erhitzung  
*Auch diese Anforderungen werden durch die Anwendung der Hygienisierungsvorschriften der Basisanforderungen in 7.4.4.1 erfüllt.*
  - geeignete Einrichtungen zur Reinigung und Desinfektion von Fahrzeugen und Behältern beim Verlassen der Kompostierungsanlage  
*Mindestanforderungen hierzu siehe Kasten „Hygienevorschriften (Anhang VI Kapitel II (B)) unten.*
- Zusätzlich sind die allgemeinen Hygienevorschriften des Anhang VI Kap. II (B) für Biogas- und Kompostanlagen einzuhalten (siehe Kasten)
- Jede Kompostierungsanlage muss über ein betriebseigenes Labor verfügen oder die Dienste eines externen Labors in Anspruch nehmen. Das Labor muss für die erforderlichen Analysen ausgerüstet und von der zuständigen Behörde zugelassen sein.

<sup>23</sup> Verordnung (EG) Nr. 12/2005 der Kommission vom 6. Januar 2005 zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 809/2003 und (EG) Nr. 810/2003 hinsichtlich der Verlängerung der Gültigkeit der Übergangsmaßnahmen für Kompostier- und Biogasanlagen gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates

Diese Anforderung wird über die externe Güteüberwachung und die Beauftragung eines zulässigen mikrobiologischen Labors gemäß Kompostverordnung erfüllt.

### **Hygienevorschriften (Anhang VI Kapitel II (B)) sowie Anweisungen zu deren betriebliche Umsetzung**

- Die Materialien sind nach ihrer Anlieferung sobald wie möglich zu verarbeiten und ordnungsgemäß zu lagern.

*Die übernommenen Materialien sind **unverzüglich** mit den erforderlichen Mischungspartnern zu einer KompostausgangschARGE abzumischen oder zur Vorfermentation gemäß Abschnitt 2.1.2 aufzubereiten und aufzusetzen.*

- Säuberung der Container, Behälter und Fahrzeuge, in denen unbehandeltes Material befördert wurde, an einem entsprechend ausgewiesenen Ort, so dass jedes Risiko der Kontamination behandelter Erzeugnisse vermieden wird

*Die Transportbehälter sind nach jeder Benützung zu reinigen, wobei eine gründlich durchgeführte Reinigung mit Heißwasser (z.B. mit Dampfstrahler) auch im Hinblick auf die geforderte Desinfektion in der täglichen Praxis als ausreichend erachtet werden kann. Die gereinigten Transportbehälter sind bis zur nächsten Verwendung trocken und sauber zu halten und in geeigneter Weise zu lagern.*

- Präventive Maßnahmen gegen Vögel, Nager, Insekten auf der Grundlage eines dokumentierten Ungezieferbekämpfungsplans

*Im Falle einer offenen Mietenkompostierung sind bis zum Abschluss der thermischen Hygienisierungsphase gemäß Tabelle 7-25 die Mieten nach dem Aufsetzen und nach jedem Umsetzvorgang mit einer organischen Abdeckung (zB Schreddermaterial, AltKompost) Kompostvlies oder im Falle einer Vorfermentation gemäß Abschnitt 2.1.2 Folie vollständig abzudecken.*

- Festlegung und Dokumentation von Reinigungsverfahren für alle Bereiche der Anlagen, Bereitstellung von Putzgeräten und Reinigungsmitteln
- Dokumentierte regelmäßige Hygienekontrollen auf Basis eines Zeitplans, Inspektionen des Arbeitsumfelds und der Arbeitsgeräte
- Einwandfreier Zustand der Installationen und Ausrüstungen; regelmäßig Eichung der Messgeräte
- Behandlung und Lagerung der Fermentationsrückstände, so dass eine Rekontamination ausgeschlossen ist

### **Kritische Kontrollpunkte**

Gemäß Artikel 15 der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 müssen alle Kompostierungs- und Biogasanlagen, die tierische Nebenprodukte verarbeiten,

- Methoden zur Überwachung und Kontrolle der kritischen Kontrollpunkte festlegen
- und diese auch anwenden.

Dies kann anhand der Beschreibung des Prozessablaufes (zB mittels Flow-Chart) im Rahmen des betrieblichen Eigenkontrollkonzeptes bzw. gemeinsam mit dem "*Innerbetrieblichen Konzept*" (siehe 7.2.7.1) geschehen. Beim Betrieb der Anlage ist zu überprüfen und zu dokumentieren, ob die festgelegten Parameter in den jeweiligen Prozessabschnitten eingehalten wurden.

*Mit der Anwendung der Basisanforderungen des Abschnitt 7.4.4.1 und der obigen zusätzlichen Hygienevorschriften kann diese Anforderung als erfüllt angesehen werden.*

#### 7.4.4.4 (C.2)

Bestimmungen für die Verarbeitung sonstiger Materialien der Kategorie 3 (Art.6(1) Buchstabe (a) bis (k) TNP-Vo) in Betrieben, die erst nach dem 1. November 2002 genehmigt wurden (keine Anwendung der Übergangsbestimmungen)

#### **Kompostierreaktor**

Die Kompostierungsanlage muss gemäß Anhang VI Kapitel II über

- einen geschlossenen Kompostierreaktor mit Geräten zur Überwachung der Temperaturentwicklung und zur gegebenenfalls kontinuierlichen Aufzeichnung der Messergebnisse und über ein angemessenes Sicherheitssystem zur Vermeidung einer unzulänglichen Erhitzung,
- geeignete Einrichtungen zur Reinigung und Desinfektion von Fahrzeugen und Behältnissen, in denen unbehandelte tierische Nebenprodukte befördert werden,
- ein betriebseigenes Labor (oder die Möglichkeit die Dienste eines externen Labors in Anspruch nehmen zu können)

verfügen.

Es sind andere Kompostierungssysteme als geschlossene Reaktoren, die nicht umgangen werden können zulässig, sofern

- sie gewährleisten, dass Schädlinge keinen Zugang haben,
- das gesamte Material der vorgeschriebenen Temperatur über einen definierten Zeitraum ausgesetzt ist, mit gegebenenfalls kontinuierlicher Temperaturüberwachung
- alle anderen Anforderungen der Verordnung erfüllt werden

Unter Einhaltung dieser Bedingungen ist demnach die offene Mietenkompostierung für die Verarbeitung sämtlicher zulässigen Materialien ein mögliches Verfahren.

Es ist jedoch durch eine entsprechende Abdeckung der Mieten in Kombination mit einem dokumentierten Schädlingsbekämpfungsplan zu gewährleisten, dass eine Verschleppung von noch nicht behandeltem Rohmaterial vermieden wird.

Sämtliche Fahrzeuge, Transportbehälter und wieder verwendbare Geräte sind nach den Vorschriften des Anhangs II der TNP-Vo vor und nach jeder Verwendung zu säubern bzw. zu desinfizieren.

#### **Verarbeitungsnormen (Temperatur-Zeitregime)**

Folgende Mindestanforderungen an Teilchengröße und das Temperatur-Zeitregime für Kompostierungsanlagen sind in Anhang VI Kapitel II C der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 vorgegeben:

- Mindesttemperatur des gesamten Materials im Reaktor / in der Abteilung (Pasteurierungs-/Entseuchungsabteilung, die einer Biogasanlage zur Hygienisierung von tierischen Nebenprodukten vorgeschaltet wird: 70 °C;
- Mindestzeit im Reaktor (gesamtes Material) /in der Abteilung ohne Unterbrechung bei 70 °C: 60 Minuten;
- Maximale Teilchengröße vor Eingang in den Kompostreaktor / in die Abteilung: 12 mm<sup>24</sup>

#### **Kompostierung auf landwirtschaftlichen Betrieben**

Durch eine Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 wurde nunmehr eindeutig festgehalten, dass Kompostierungsanlagen auf landwirtschaftlichen Betrieben unabhängig von den eingesetzten Rohstoffen zulässig sind.

Vorraussetzung ist gemäß Anhang VI Kapitel II A:

---

<sup>24</sup> Es ist davon auszugehen, dass nach Abschluss der laufenden Beratungen des wissenschaftlichen Ausschusses der EFSA (European Food and Safety Agency) die Anforderung an die Partikelgröße an die praktischen Erfordernisse angepasst wird.

- Ein ausreichender Abstand von dem Bereich, in dem die Tiere gehalten werden; neben der Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten (zB geschlossene fensterlose oder teilweise offene Stallwand, Vorhandensein von Ansaugvorrichtungen zur Stallbelüftung ) kann ein Abstand von 10 bis 20 Metern zwischen den Anlagenteilen Übernahme, Hauptrotte, Nachrotte, Zwischenlager von nicht hygienisierten Materialien und den Stallungen bzw. Freilaufgehegen als Richtwert angegeben werden..
- Die vollständige physische Trennung zwischen Kompostanlage und den Tieren, dem Futter und der Einstreu; erforderlichenfalls die Abtrennung mit einem Zaun. Manipulationsflächen für nicht hygienisierte Materialien sollten so angeordnet sein, dass eine Aerosolverfrachtung zu Futtermittel- oder Einstreulager bzw. offenen Stallungen weitestgehend vermieden wird.
- Bauliche Gegebenheiten müssen sicherstellen, dass der Zugang der Tiere zu sämtlichen Anlagenteilen ausgeschlossen ist. Dies ist durch eine entsprechende Abzäunung entweder des Freilaufes und der Durchgangswege der Tiere oder die Einzäunung der Kompostierungs- oder Biogasanlage zu gewährleisten.
- Futter und Einstreumaterialien, sowie Fahr- und Hochsilos dürfen sich nicht auf dem Areal der Kompostanlage befinden. Für die nicht umhauste Lagerung von Futter und Einstreumaterialien gelten die in Punkt 1 und 2 angeführten Richtwerte und Vorsichtsmaßnahmen.
- Ein Konzept zur Eigenüberwachung

#### **Anforderungen an Kompost – Indikatorkeime (Anhang VI Kap. II D)**

Die Endproduktkontrolle von Kompost erfolgt über die Untersuchung auf Indikatororganismen. Die seuchenhygienische Unbedenklichkeit wird über Keimzahlen von *Enterobacteriaceae* und *Salmonella* festgestellt.

Es gelten folgende Mindestanforderungen:

Testkeim	Probenmenge	Anzahl der Proben	Befund [KBE*]
Salmonella	in 25 g	5	negativ
Enterobacteriaceae	je Gramm	gesamt: 5	<300
			< 10

\* ... KBE = koloniebildende Einheiten

Der Indikator *Enterobacteriaceae* mit den Referenzwerten von < 300 bzw. < 10 KBE/g für Kompost sind aus abfallwirtschaftlicher Sicht kritisch zu betrachten. Gegen diese in Kapitel II des Anhang VI der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 festgelegten Grenzwerte wurde von einer Reihe von Mitgliedstaaten eingewendet, dass *Enterobacteriaceae* einen ungeeigneten Indikator für die seuchenhygienische Beurteilung darstellt. Begründet ist dies mit dem weit verbreiteten Vorkommen in sämtlichen Umweltmedien (Boden, Mist, Kompost auch aus reinen Grünabfällen) und mit der großen Bandbreite an Spezies mit zum überwiegenden Teil geringer toxikologisch-epidemiologischer Relevanz.

Weiters kann der Grenzwert von 300 KBE/g, geschweige denn 10 KBE/g von Kompost unabhängig von den verwendeten Inputmaterialien und dem Prozessverlauf keinesfalls eingehalten werden.

Diese Kritik wird auch im wissenschaftlichen Komitee der EFSA diskutiert, sodass zu hoffen ist, dass 2005 ein dem Stand des Wissens entsprechender Vorschlag zur Neuregelung der seuchenhygienischen Überprüfung von Kompost vorgelegt werden wird.

#### **7.4.4.5 (D) Spezielle Anforderungen an „Wirtschaftsdünger“ sowie Magen- und Darminhalt, Milch und Kolostrum**

Die Definition für „Gülle“ in Anhang I der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 lautet:

*„Exkremte und/oder Urin von Nutztieren, mit oder ohne Einstreu, sowie Guano, entweder unverarbeitet oder verarbeitet in Übereinstimmung mit Anhang VIII Abschnitt III oder auf andere Weise in Biogas- oder Kompostieranlagen umgewandelt“.*

Für die Verwendung von Gülle bzw. Wirtschaftsdünger, von Magen und Darm getrenntem Magen und Darminhalt, Milch und Kolostrum wird in Artikel 5(2)(e) zwischen drei Möglichkeiten unterschieden:

- Die direkte Aufbringung auf den Boden in unbehandeltem Zustand
- Die Behandlung und Verarbeitung in einer gemäß Artikel 15 zugelassenen Kompostierungs- oder Biogasanlage
- Die Behandlung in einer gemäß Artikel 18 für diesen Zweck zugelassenen technischen Anlage.

Diese Behandlungsformen sind dann zulässig, sofern nach Ansicht der zuständigen Behörde keine Gefahr der Verbreitung einer schweren übertragbaren Krankheit zu erwarten ist.

#### **Direkte Aufbringung auf den Boden**

Bisher wurde in Österreich keine Einschränkung zur direkten Aufbringung von Wirtschaftsdünger auf den Boden ausgesprochen. Es bestehen hier also keine spezifischen Anforderungen an die Hygiene.

#### **Die Behandlung und Verarbeitung in einer gemäß Artikel 15 zugelassenen Kompostierungsanlage**

Absatz 14 des Kapitel II in Anhang VI der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 schafft die Möglichkeit, dass die zuständige Behörde andere als die im Kapitel II Anhang VI festgelegten Anforderungen zulassen kann. Voraussetzung ist, dass:

- die Behörde nicht der Ansicht ist, dass dieses Material das Risiko der Ausbreitung einer schweren übertragbaren Krankheit birgt;
- die Behörde die Rückstände bzw. den Kompost als unbehandeltes Material betrachtet;
- Wirtschaftsdünger, von Magen und Darm getrennter Magen und Darminhalt, das in der Anlage das ausschließlich verarbeitete tierische Nebenprodukt darstellt.

Gülle, Magen- und Darminhalte, genussuntaugliche (zB hemmstoffhaltige) Milch, Milch und Milchprodukte, sowie Abfälle und Nebenprodukte aus Molkerei- und Käsebetrieben können ohne vorherige Behandlung als Rohware in eine Kompostieranlage eingebracht werden.

Im Falle der Kompostierung von Wirtschaftsdünger gemeinsam mit anderen Abfällen gemäß Kompostverordnung sind die für diese Materialien jeweils beschriebenen Hygienevorschriften (Abschnitt 7.4.4.1, 7.4.4.2, 7.4.4.3 bzw. 7.4.4.4) anzuwenden.

#### **7.4.4.6 (E)**

#### **Verarbeitungsnormen für sonstiges Material der Kategorie 2**

Vor der Behandlung in einer Kompostierungs- oder Biogasanlage muss Material der Kategorie 2 nach der so genannten Verarbeitungsmethode 1, d.h. bei 133 °C im gesättigten Wasserdampfdruck von 3 bar 20 Minuten hitzebehandelt werden.

Sämtliche Fahrzeuge bzw. Transportbehälter und wieder verwendbare Geräte sind nach den Vorschriften des Anhangs II vor und nach jeder Verwendung zu säubern bzw. zu desinfizieren.

### **7.4.5 Weitere Bestimmungen**

#### **7.4.5.1 Zwischenstaatlicher Handel**

Der zwischenstaatliche Handel mit unverarbeitetem „Wirtschaftsdünger“ von anderen Tierarten als Geflügel und Equiden ist gemäß Anhang VIII Kapitel III (I)(A)(1.b) der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 nur dann zulässig, wenn dies die Behörde für die Behandlung in einer Kompost- oder Biogasanlage oder die direkte Aufbringung zulässt. Dabei ist bei der Zulassung für Kompost- oder Biogasanlagen vor allem die Herkunft der „Gülle“ (des Wirtschaftsdüngers) zu beurteilen. Die direkte Aufbringung von importiertem „Wirtschaftsdünger“ muss von den Behörden beider Staaten (Export- und Importstaat) genehmigt werden. Dabei ist eine Veterinärbescheinigung erforderlich.

Im Falle des grenzüberschreitenden Handels von Geflügelgülle/mist muss eine Bestätigung vorliegen, dass dieses/r aus einem Gebiet stammt, in dem keinerlei Beschränkungen wegen dem Ausbruch der Newcastle-Krankheit oder der Geflügelpest vorliegen und es muss eine Veterinärbescheinigung beiliegen.

Der Handel mit Equidengülle oder -mist unterliegt keinen Veterinärbedingungen.

#### 7.4.5.2 Aufbringung von Kompost

Artikel 22 der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 verbietet das Ausbringen anderer organischer Düngemittel und Bodenverbesserungsmittel als Gülle auf Weideland. Eine Aufbringung von Kompost aus tierischen Nebenprodukten ist somit nach dieser Bestimmung verboten.

Sonst enthält die Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 keine speziellen Einschränkungen auf die Anwendung von Kompost als organisches Dünge- oder Bodenverbesserungsmittel.

Diese Bestimmung folgt dem Grundsatz, demzufolge Fleisch- und Knochenmehl als Futtermittel verboten wurden und man über den Umweg der Düngung von Flächen, die beweidet werden, ein mögliches Schließen des Keimkreislaufes nicht ermöglichen wollte.

#### **Wartefrist**

Nach eingehenden Diskussionen und entsprechenden Stellungnahmen, unter anderem auch aus Österreich, wählte die Kommission den Weg einer Erklärung, in der sie der Aufbringung von Kompost (bei Verarbeitung von Material der Kategorie 3 und Wirtschaftsdünger, inkl. Magen- und Darminhalt, Milch und Kolostrum) auf Weideland bei Einhaltung einer 3-wöchigen Frist zwischen Aufbringen und Beweidung zustimmt. Diese Maßnahme soll vorübergehend gelten, bis sich der wissenschaftliche Ausschuss hierüber eine Meinung gebildet hat. Es ist derzeit nicht bekannt bis wann der wissenschaftliche Ausschuss der EFSA eine harmonisierte Vorgangsweise, die dann in eine entsprechende Durchführungsbestimmung mündet, vorgeschlagen wird.

### **7.4.6 Anforderungen an die seuchenhygienische Unbedenklichkeit des fertigen Komposts gemäß Kompostverordnung**

Für den Nachweis der Wirksamkeit eines Kompostierungsverfahrens im Sinne der Seuchenhygiene sind laut Kompostverordnung Kontrollen des anlagenspezifischen Verfahrensablaufes und des Endproduktes erforderlich.

#### 7.4.6.1 Anforderungen an das Endprodukt

Die Anforderungen an das Endprodukt sind in Tabelle 7-26 dargestellt.

Für offen abgegebenen Kompost für den Hobbygartenbereich genügen die Basisanforderungen für den Bereich Landwirtschaft (Untersuchung auf *E.coli* und *Salmonella sp.*). Kompost, der als Mischkomponente für die Herstellung von Erden, die im Haushaltsbereich verwendet werden sollen, hergestellt wird, muss darüber hinaus die Hygieneanforderungen für Sackware einhalten (zusätzliche Untersuchung auf *Campylobacter* und *Listeria sp.*). Da letztere jedoch durch die Abmischung mit Erden zusätzlich „verdünnt“ werden, wäre es naheliegend, in einer künftigen Novellierung eine Angleichung an die Anforderungen für den Hobbygarten vorzunehmen.

**Tabelle 7-26: Anforderungen an die seuchenhygienische Unbedenklichkeit**

	A B G A B E A R T O D E R A N W E N D U N G S B E R E I C H				Biofiltermaterial
	Sackware	Landwirtschaft	Landschaftsbau und Landschaftspflege, Rekultivierungsschicht auf Deponien		
<b>Untersuchungshäufigkeit</b>	pro angefangenen 500 m <sup>3</sup> hergestelltem Kompost: <i>1 Untersuchung</i>	gemäß Anlage 3 Teil 1 Tabelle 1			
			Herstellung und Erhaltung einer vegetationsfähigen Oberbodenschicht bei Landschaftsbau allgemein und Rekultivierungsschicht auf Deponien	Erhaltung einer vegetationsfähigen Oberbodenschicht bei Sportstätten und Freizeitanlagen einschließlich Kinderspielplätzen	
<b>Pathogene E. coli</b>	nicht nachweisbar in 50 g Probe	bei Nachweis entsprechende Anwendungsempfehlungen*	keine Anforderungen	nicht nachweisbar in 50 g Probe	keine Anforderungen
<b>Salmonella sp.</b>	nicht nachweisbar in 50 g Probe	nicht nachweisbar in 50 g Probe	nicht nachweisbar in 50 g Probe	nicht nachweisbar in 50 g Probe	keine Anforderungen
<b>Campylobacter</b>	nicht nachweisbar in 50 g Probe	keine Anforderungen	keine Anforderungen	nicht nachweisbar in 50 g Probe	keine Anforderungen
<b>Listeria sp.</b>	nicht nachweisbar in 50 g Probe	keine Anforderungen	keine Anforderungen	nicht nachweisbar in 50 g Probe	keine Anforderungen
* Bei einem positiven Nachweis hat die Kompostbeurteilung die identifizierten Keime zu bewerten. Die Bewertung hat gegebenenfalls den Ausschluss von Anwendungsfällen oder Hinweise für eine gefahrlose Anwendung zu enthalten.					
<i>Ergibt sich aus den Untersuchungsergebnissen die Notwendigkeit, zusätzlich auf nicht explizit angeführte pathogene Keime zu untersuchen, so hat die Kompostbeurteilung bei einem positiven Nachweis diese anzuführen und zu bewerten. Die Bewertung hat gegebenenfalls den Ausschluss von Anwendungsfällen oder Hinweise für eine gefahrlose Anwendung zu enthalten.</i>					

Die Anforderung an die befugte Fachanstalt, im Falle eines positiven Nachweis von *pathogenen E. coli* bzw. von *nicht explizit angeführten pathogene Keimen*, die auf Basis der Untersuchungsergebnisse auf individuelle Einschätzung der Fachanstalt untersucht werden können, eine Bewertung und Hinweise für eine gefahrlose Anwendung zu geben, hat in der Praxis erhebliche Verunsicherung hervorgerufen.

Aus diesem Grund wurde eine Arbeitsgruppe unter dem Fachnormenausschuss 199 „*Biologische Abfallbehandlung und –verwertung*“ ins Leben gerufen, die eine Arbeitsanleitung für die mikrobiologische Kompostuntersuchung, insbesondere für *E. coli*, und ein standardisiertes Auswertungsschema für die Kompostbeurteilung ausarbeiten soll.

## 7.4.7 Kurzer Überblick zu den Hygieneanforderungen anderer europäischer Länder

Zum Vergleich sind in Tabelle 7-27 die Hygieneregulungen einiger Europäischer Staaten gegenübergestellt.

**Tabelle 7-27a: Regelungen für die Reduktion und Überprüfung von pathogenen Keimen, Unkrautsamen und austriebsfähigen Pflanzenteilen in einigen Europäischen Ländern**

	I n d i r e k t			Anwendung	D i r e k t e M e t h o d e n	
	°C	% H <sub>2</sub> O	Tage		Krankheitserreger / Unkrautsamen	Produkt- (PP) oder Verfah- rens- prüfung (VP)
<b>EC/ 'eco-label'</b> 488/98 EEC				Gartenbau	<i>Salmonella sp.</i> <i>E. coli</i>	keine < 1000 MPN ( <i>most probable number</i> )/g
<b>Österreich</b> <i>KompostVo</i>	Arbeitstägliches Temperaturprotokoll während zusammenhängender 10 Tage in der thermophilen Phase (>55 °C)			Rekultivierung LW  Sackware, Sport- u. Spielplätze  Biofilter	<i>Salmonella sp.</i> <i>Salmonella sp.</i> <i>E. coli</i>  <i>Salmonella sp.</i> <i>E. coli</i> , <i>Campylobacter</i> , <i>Yersinia sp.</i> , <i>Listeria</i>  ---	keine keine bei Nachweis, Empfehlg. f. Anwendung keine keine keine keine keine Anforderungen Auskeimung: → 3 Pflanzen /l
<b>Belgien</b> <i>VLACO</i>	60	40	3		<i>allgemein</i> <i>Nematoden</i> <i>Unkrautsamen</i>	keine keine keine
<b>Dänemark</b>	55		14			
<b>Finnland</b>					Gefährliche MO in keiner für Mensch, Tier, Pflanze und Umwelt gefährlichen Konzentration.	
<b>Frankreich</b>	60		4			
<b>Deutschland</b> <i>BioAbfV</i>	55 60 <sup>a)</sup> 65 <sup>b)</sup>	40 40 40	14 7 7		<i>Salmonella senft.</i> <i>Plasmod. Brass.</i> <i>Nicotiana virus 1</i> <i>Tomaten Samen</i>  <i>Salmonella senft.</i> <i>Unkrautsamen</i>	(VP) <sup>c)</sup> : keine Infektionsindex: → 0.5 Richtwert bio-test: → 8 /Pflanze Keimrate /Probe: → 2%  (PP): keine in 50 g Probe Auskeimung → 2 Pflanzen/l
<b>Italien</b> <i>Düngergesetz</i>	55		3		<i>Salmonella sp.</i> <i>Enterobacteriaceae</i> <i>Fecal Streptococcus</i> <i>Nematodes</i> <i>Trematodes</i> <i>Cestodes</i>	keine in 25 g Probe → 1.0 x 10 <sup>3</sup> KBE/g → 1.0 x 10 <sup>3</sup> MPN/g keine in 50 g Probe keine in 50 g Probe keine in 50 g Probe
<b>Niederlande</b> <i>BRL K256/02</i>	55		4		<i>Nematoden</i> <i>Rhizomania Virus</i> <i>Plasmodoph. Brass.</i> <i>Unkrautsamen</i>	keine keine keine Auskeimung → 2 Pflanzen/l

<sup>a)</sup> Eingehauste Anlagen <sup>b)</sup> Offene Mietenkompostierung <sup>c)</sup> 2 Anerkennungen (1 im Winter) für Mieten

**Ergänzende Anforderungen in DK und NL:**

<b>Dänemark</b>	Hygieneanforderungen für verschiedene Prozesstypen: (a) Kontrollierte Kompostierung (> 55 °C über mehr als 2 Wochen) (b) Kontrollierte Deaktivierung (70 °C über 1 Stunde) (Abwesenheit von <i>salmonellae</i> sowie <i>streptococci</i> < 100/g)
<b>Niederlande</b>	Zur Gewährleistung der Hygienisierung (Unkrautsamen, pflanzen- und tierpathogenen Keime) ist die Einhaltung von Prozessparametern und Produkteigenschaften vorgesehen: Mindestdauer der Kompostierung: 8 Wochen, davon 4 Wochen intensiv (Druckbelüftung, 50-60°C, mindestens 35 % Wassergehalt und mindestens zweimaliges Umsetzen) und 4 Wochen extensiv (Lager, Nachreife) unter Vermeidung einer Reinfektion durch Unkrautsamen und pathogene Keime; (max. 2 Unkrautsamen, frei von Nematoden, Tabak-Mosaik-Virus und <i>Sclerotium cepivorum</i> . In der internen Kontrolle IKB ist als zusätzliches Kriterium die tägliche Dokumentation des Temperaturverlaufes vorgesehen.

## 7.5 Luftgetragene Keimemissionen

Neben den vorhandenen Literaturergebnissen ist für die Beurteilung der arbeitsplatzbezogenen Mindestanforderungen als wesentliche Referenz die *Verordnung über biologische Arbeitsstoffe* (BGBl. II 237/1998) anzusehen, wobei es sich bei Kompostierungsanlagen im Sinne § 1(4) der Verordnung um eine unbeabsichtigte Verwendung von biologischen Arbeitsstoffen handelt.

Wie bereits erwähnt genügt es nicht, die auftretenden Keimkonzentrationen qualitativ und quantitativ in den verschiedenen Behandlungsstufen zu erfassen. Die Ergebnisse müssen hinsichtlich der epidemiologischen und Infektionsgefährdung einerseits im Arbeitsumfeld (Dauer- und vorübergehende Arbeitsplätze), andererseits für die Anrainer in der näheren und weiteren Umgebung des Ortes der Emission bewertet werden.

Bei der Betrachtung der Keime, die aus dem Sammelgut in den luftgetragenen Zustand übergehen können, müssen nach Böhm et al. (1998[A115]) neben den Bakterien selbst auch deren Endo- und Exotoxine berücksichtigt werden. Bei den Pilzen sind hier neben den zellulären Strukturen mit Sporen auch die  $\beta$ -1-3-Glucane und Mykotoxine in Betracht zu ziehen. Bei Pilzen und Bakterien ist auch mit biologisch aktiven Proteasen zu rechnen, die gegebenenfalls ebenfalls aerogen verfrachtet werden. Schließlich sind noch die Viren in diesem Zusammenhang zu nennen. Während sich Bakterien und Pilze im Sammelgut vermehren können, sind die Viren wie erwähnt einem kontinuierlichen Absterbevorgang unterworfen.

Es können, ohne Berücksichtigung der im Einzelfall möglichen Besonderheiten, zusammenfassend folgende Komponenten in Bioaerosolen von Abfallbehandlungsanlagen auftreten:

- **Bakterien**
  - Endotoxine
  - Exotoxine
  - Enzyme und andere Stoffwechselprodukte
- **Pilze**
  - Glucane
  - Mykotoxine
  - Enzyme und andere Stoffwechselprodukte
- **Viren**

Der Luftkeimgehalt wird in „koloniebildenden Einheiten“ (KBE) pro Kubikmeter Luft angegeben. Damit wird nicht die Konzentration an einzelnen Keimen, sondern die Anzahl der auf einem Nährmedium wachsenden Pilz- oder Bakterienkolonien angegeben. Die tatsächliche Zahl an einzelnen Pilzsporen oder Bakterien ist häufig größer als der KBE-Wert (Conrad et al., 1997[PS116]). Dies hängt mit dem Auftreten von Keimkonglomeraten bzw. keimbelegten Staubteilchen zusammen. So kann eine zusammenhängende Keimgruppe in Form einer einzelnen Kolonie auf dem Nährmedium wachsen.

Die folgende Tabelle 7-28, zusammengestellt von Conrad et al. (1997[PS117]) und ergänzt nach Diehl & Hoffmann (1996[PS118]), stellt etablierte Grenz-/Orientierungswerte für Luftkeime und eine Auswahl an Schwellenwerten für bestimmte Erkrankungstypen gegenüber.

**Tabelle 7-28: Etablierte Grenz-/Orientierungswerte für Luftkeime und eine Auswahl an Schwellenwerten für bestimmte Erkrankungstypen**

Keimtyp und -zahl	KBE/m <sup>3</sup> Luft	Referenzliteratur	Charakterisierung
Schimmelpilzsporen	10 <sup>6</sup>	Eduard et al. (1993)	MMI (Schleimhautirritation), ODTS (organic dust toxic syndrom)
Schimmelpilzsporen	>10 <sup>6</sup>	Lacey (1981)	EEA (exogen allergischen Alveolitis)
A. fumigatus	10 <sup>7</sup> bis 10 <sup>8</sup>	Fogelmark et al. (1991)	ODTS
A. fumigatus	>10 <sup>8</sup>	Land et al. (1980)	EEA
Alternaria sp.	10 <sup>2</sup>	LEA Advisory (1993)	Allergische Symptome
Cladosporidium sp.	3*10 <sup>3</sup>	LEA Advisory (1993)	Allergische Symptome
Pilzsporen	10 <sup>6</sup> bis 10 <sup>7</sup>	Koller et al. (1993[PS119])	In Innenräumen von Personen mit Atembeschwerden
Thermophile Actinomyceten	10 <sup>8</sup> bis 10 <sup>10</sup>	Rylander (1986[PS120]), Lacey (1981[PS121])	Auslösung einer EEA
Pilzsporen	10 <sup>9</sup>	Malmberg et al. (1993[PS122])	EAA oder ODTS bei Landwirten
Pilzsporen	10 <sup>8</sup>	Rylander (1986[PS123])	Allergische Sensibilisierung
Pilzsporen/Actinomyceten	10 <sup>6</sup> bis 10 <sup>10</sup>	Lacey et al. (1972[PS124])	Respiratorische Symptome
Thermophile Actinomyceten	>10 <sup>9</sup>	Van den Bogart et al. (1993[PS125])	Pilzzüchterlunge (EAA)
Gram-negative Bakterien	7,2*10 <sup>7</sup>	Laitinen et al. (1992[PS126])	Schwellenwert für Endotoxinvergiftung
Gesamtbakterien	10 <sup>4</sup>	Rüden et al. (1994[PS127])	Dänische Grenzwertempfehlung
Gesamtbakterien	5*10 <sup>3</sup>	Rüden et al. (1994[PS128])	Schwedischer Grenzwert
Gesamtkeime	10 <sup>4</sup>	Morey et al. (1986[PS129])	Größter vorgeschlagener Orientierungswert
Gesamtkeime	10 <sup>4</sup>	Malmros (1990[PS130])	Am häufigsten genannte Quelle für eine Grenzwertempfehlung
Gesamtbakterien	>10 <sup>7</sup>	Stalder (1994[PS131])	Sichere Voraussetzung für infektionsbedingte Entzündungen
Gesamtkeime	10 <sup>4</sup>	Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (1995[PS132])	Vorläufiger Orientierungswert zur Überprüfung Lüftungstechnischer Anlagen
Schimmelpilze	5*10 <sup>3</sup>	Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (1997 und 1998)	Vorläufiger Orientierungswert zur Beurteilung der Atemluft an Arbeitsplätzen durch biologische Arbeitsstoffe
Summenwert für mesophile Schimmelpilze	5*10 <sup>4</sup>	TRBA 211, Biologische Abfallbehandlungsanlagen: Schutzmaßnahmen (2002)	Technischer Kontrollwert für die Kontrolle von Schutzmaßnahmen in Sortierkabinen, Kabinen und Steuerständen

Seit 1998 ist schimmelpilzhaltiger Staub, d.h. Staub, der Schimmelpilze und Actinomyceten enthält, als atemwegssensibilisierend in der deutschen *Technischen Regel für Gefahrstoffe* (TRGS 907, 2002[FA133]) aufgeführt. In der Begründung heißt es u.a.<sup>25</sup>:

„Auch im Bereich der Müllentsorgung ist infolge derartiger Belastungen von einem erhöhten Allergierisiko auszugehen. Neben der IgE-vermittelten Allergie führt die Exposition gegenüber Schimmelpilzen in die-

<sup>25</sup> Begründung: BArbBl. Heft 1, S. 51, 1998

sen Bereichen auch zu der Allergieform der exogen allergischen Alveolitis (EAA) vom Typ der Farmerlunge (...) oder zum Krankheitsbild des ODTs (organic dust toxic syndrome), das in der Regel folgenlos wieder abklingt. ... Personen, die im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit großen Mengen an schimmeligem Stäuben ausgesetzt sind, sind erheblich mehr gefährdet als die Allgemeinbevölkerung. ... Es hat sich gezeigt, dass staubreduzierende Maßnahmen wie Luftabsaugvorrichtungen oder das Tragen von Filtermasken das gesundheitliche Risiko senken, jedoch nicht völlig ausschalten können.“

### 7.5.1 Überprüfung der Atemluft

Da die Entstehung mikrobiell belasteter Aerosole während der Arbeiten mit bewegtem Kompostmaterial nicht vermieden werden kann und in diesem Bereich das Tragen von Atemschutzmasken empfohlen wird, kann hier auf eine messtechnische Bewertung der Luftqualität verzichtet werden. Angezeigt ist eine messtechnische Bewertung nur zur Überprüfung der Effizienz von Biofiltern und anderen technischen Einrichtungen bzw. nach bedeutenden Änderungen der Anlagentechnik, die eine Erhöhung der mikrobiellen Belastung zur Folge haben können. Als Leitkeime eignen sich thermophile und thermotolerante Mikroorganismen, da sie verfahrenstypische biologische Agenzien sind. Besonderer Wert sollte auf die Spezies *Saccharopolyspora sp.*, *Saccharomonospora sp.* und *Aspergillus fumigatus* gelegt werden (Haas et al., 1999). Die genannten Vertreter der *thermophilen Actinomyceten* sind als Indikatoren für die anlagenbezogene Immission im Laufe der Hauptrotte geeignet. *A. fumigatus* ist thermotolerant und entsteht vor allem in der Temperaturanstiegsphase der Kompostierung (Göttlich et al., 1994). Die genannten Keime sind fakultativ pathogen und zählen zu den Mitverursachern der EAA. In der unbelasteten Außenluft sind sie nur in geringer Konzentration nachweisbar.

In den Leitlinien für den Arbeitsschutz in biologischen Abfallbehandlungsanlagen (LASI-LV13 1997) findet sich als Empfehlung ein vorläufiger Orientierungswert, der sich an der Anforderung einer Arbeitsstättenrichtlinie der Arbeitsstoffverordnung orientiert (ASR 5), Atemluft „in Außenluftqualität“ zu gewährleisten.

Aufgrund der hohen Messgenauigkeit wurde im Rahmen der ÖNORM S 2205 (Punkt 4.5) auf die Festlegung von Grenzwerten verzichtet (Pkt. 4.5). Nach Sichtung der Literatur wird auch künftig davon abgeraten, Schwellenwerte verpflichtend einzuführen. Sinnvoller ist die Beachtung gezielter Rahmenbedingungen und von Regeln der guten Praxis im Rahmen des Qualitätsmanagements.

**Grundsätzlich muss festgestellt werden, dass noch erheblicher Standardisierungs- und Forschungsbedarf bei der Erfassung und Bewertung der Keimemissionen besteht (siehe auch Kühner, 2001).**

Zum Vergleich werden hier die Regelungen in Deutschland angeführt.

In Deutschland werden im wesentlichen drei Regelblätter für die Beschreibung und Beurteilung von Schutzmaßnahmen zur Reduzierung der Gesundheitsgefährdung der Beschäftigten herangezogen:

- Leitlinien für den Arbeitsschutz in biologischen Abfallbehandlungsanlagen (LV 13), Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), Hessisches Ministerium für Frauen, Arbeit und Sozialordnung, Wiesbaden, Oktober 1997
- Leitlinien des Arbeitsschutzes in Abfallbehandlungsanlagen (LV 15), Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), Hessisches Ministerium für Frauen, Arbeit und Sozialordnung, Wiesbaden, November 1998
- Biologische Abfallbehandlungsanlagen: Schutzmaßnahmen (TRBA 211), Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe, veröffentlicht in: Bundesarbeitsblatt 10/2002

Nach der Arbeitsstättenrichtlinie (ASR) 5 „Lüftung“ ist Atemluft in Außenluftqualität zu gewährleisten. Außenluft enthält regelmäßig deutlich weniger als 5.000 KBE Schimmelpilze/m<sup>3</sup>. Zur Beurteilung der Atemluft an Arbeitsplätzen durch biologische Arbeitsstoffe wird vorläufig ein technischer Orientierungswert von 5.000 KBE Schimmelpilze/m<sup>3</sup> empfohlen (LASI, LV 13 und LV 15). In Abhängigkeit der Höhe der Messergebnisse sind ggf. Maßnahmen durchzuführen, um den Orientierungswert anzustreben. Ergibt die Überprüfung der Belastung der Atemluft mit biologischen Arbeitsstoffen eine Schimmelpilzkonzentration von:

- 1.)  $\leq 5.000 \text{ KBE/m}^3$  sind keine weiteren zusätzlichen Maßnahmen hygienischer, organisatorischer oder technischer Art erforderlich.
- 2.)  $5.000 \text{ KBE/m}^3 < \text{Konzentration} \leq 50.000 \text{ KBE/m}^3$  sind weitergehende hygienische Maßnahmen erforderlich, wie
  - Änderung und Intensivierung der Reinigungsverfahren und –intervalle
  - Wartung der Lüftungstechnik
  - Vermeidung der Verschleppung von organischem Material in unbelastete Arbeitsbereiche
  - häufigerer Schutzkleidungswechsel, Beachtung der persönlichen Hygiene
 Die durchgeführten Maßnahmen sind zu dokumentieren.
- 3.)  $> 50.000 \text{ KBE/m}^3$  sind zusätzlich zu einer Verbesserung der hygienischen Maßnahmen die organisatorischen und technischen Schutzmaßnahmen zu überprüfen und zu optimieren:
  - Änderung oder Einbau von Aggregaten zur Vorsortierung bzw. Trennung, weitgehende Automatisierung
  - eine verbesserte Kapselung und Absaugung von Emissionsquellen
  - eine veränderte Lüftungstechnik
 Die durchgeführten Maßnahmen sind zu dokumentieren und ihr Erfolg ist nachzuweisen.

Der Technische Kontrollwert (TKW) aus der TRBA 211 ist festgelegt auf  $5 \times 10^4 \text{ KBE/m}^3$  Atemluft als Summenwert für mesophile Schimmelpilze. Er gilt nur für die Kontrolle von Schutzmaßnahmen in Sortierkabinen, Kabinen und Steuerständen. Der TKW gilt nicht für Betriebsituationen und –bereiche, in denen verfahrens- und technologiebedingt die geforderte Atemluftqualität nicht eingehalten werden kann (zB Anlieferung, Intensivrotte). Der TKW ist nicht im Sinne eines Grenzwertes für Genehmigungsverfahren heranzuziehen.

## 7.5.2 Vergleichswerte natürlicher Umgebungen

Nach einer durch die Stadt Wien durchgeführten Studie (Mark, 1992a,b zit. nach Amlinger, 1993[A134]), die Standorte mit erhöhter aerosolierter Lebendsporenkonzentration von *Aspergillus fumigatus* feststellen sollte, zeigte aufgrund vieler Einflussfaktoren insbesondere im Freien stark schwankende Messwerte. Es ist eine Gliederung nach zwei Gesichtspunkten erkennbar:

- Messungen im Freien oder in geschlossenen Räumen
- Substrat im Ruhezustand oder während der Manipulation

Bezüglich der zwei Aspekte - Ruhezustand und Manipulation - stellte sich eine erwartete Abhängigkeit der Sporenfreisetzung heraus, wobei in geschlossenen Räumen aufgrund der fehlenden natürlichen Dispersions- und Abtötungsmechanismen tendenziell höhere Konzentrationen als in freier Natur auftreten. Stark erhöhte Konzentrationen aerosolierter Sporen wurden nur in Ställen, in denen sich Heu befand, festgestellt, wobei auch hier Sporenfreisetzung nur nach Bewegung des Substrates erfolgte. Weder im Wald noch in der Nähe von ruhendem Kompost wurden erhöhte Sporenkonzentrationen verzeichnet.

**Tabelle 7-29: Lebendsporenkonzentration an *Aspergillus fumigatus* an verschiedenen Standorten (Mark, 1992a,b zit. nach Amlinger, 1993)**

Messort	Mittlere LSK/m <sup>3</sup>
Laubwald	0,0 – 6,5
Kuhstall, keine Aktivität	47,5
Ziegenstall während Heufütterung	1282,1
Pferde- und Schafweide und Bauernhof	6,7
neben ruhendem Komposthaufen eines Bauernhofes	1,2
Heuspeicher ohne Manipulation	0,0
nach Bewegen einiger Heuballen	33,3
nach Bewegen losen Heus	4362,3
Getreidespeicher, eine Woche vor Messung geleert	0,0
voll, keine Manipulation des Substrates	6,7

LSK = Lebendsporenkonzentration

Selbst wenn klare qualitative Zusammenhänge zwischen aerogener Exposition und dem Auftreten von Gesundheitsstörungen aufzustellen wären (was in den meisten Fällen bei luftgetragenen Keimen in Abfallbehandlungsanlagen nicht möglich ist), wäre es im Einzelfall schwer zu beweisen, ob die Exposition während der Arbeit oder in der Freizeit erfolgte (Böhm et al., 1998[A135]) zit. nach Reinhaller et al. (2000[A136]).

### 7.5.3 Luftkeimkonzentrationen in Kompostanlagen

Bei jeder Manipulation des Materials entstehen Erregeraerosole in der Luft des Arbeitsplatzes. Bestandteile beim Umgang mit Bioabfall können nach Stalder (1993[PS137]) pathogene Bakterien (zB Salmonellen), Schimmelpilze (zB *Aspergillus fumigatus*) und Actinomyceten (zB *Saccharopolyspora rectivirgula*) sein. In Tabelle 7-30 sind die Größenordnungen (Median) der Expositionsverhältnisse gegenüber Mikroorganismen in der Luft in verschiedenen Bereichen der Abfall- und Abwasserwirtschaft aufgelistet (Reinhaller et al., 2000[A138]).

**Tabelle 7-30: Expositionsverhältnisse (Median) gegenüber Mikroorganismen in der Luft in verschiedenen Bereichen der Abfall- und Abwasserwirtschaft und natürliche Hintergrundwerte\***

KBE/m <sup>3</sup>	Mesophile Bakterien (TSA 1, 37°C)	Thermophile Actinomyceten (TSA 2, 50°C)	Schimmelpilze (MEA, 25°C)	<i>A. fumigatus</i> (BA, 37°C)
Kompostierungsanlagen	2x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>3</sup>	8x10 <sup>3</sup>	5x10 <sup>2</sup>
Sortieranlagen	7x10 <sup>4</sup>	2x10 <sup>3</sup>	9x10 <sup>4</sup>	6x10 <sup>3</sup>
Abkipphalle, Aufbereitung, Sortierung	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>5</sup> (Aerosolwerte)			
Müllbunker	10 <sup>6</sup>		10 <sup>7</sup>	
Rottehalle	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>8</sup> (Bakterien allg.)	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>7</sup> (Pilze allg.)	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup>
Umsetzen bei offener Anlage	MW: 10 <sup>5</sup> Max: 10 <sup>6</sup>	MW: 10 <sup>5</sup> Max: 10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>	MW: 10 <sup>4</sup> Max: 10 <sup>6</sup>	MW: 10 <sup>4</sup> Max: 10 <sup>6</sup>
Kläranlagen	7x10 <sup>2</sup>	10	2x10 <sup>3</sup>	15
Deponien	1x10 <sup>3</sup>	3x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>3</sup>	20
Hintergrund	2x10 <sup>2</sup>	10	10 <sup>3</sup>	10

\* Reinhaller et al. (1999[PS139]); Wüst et al. (1999[PS140]); Haas et al. (1999[PS141]) zit. nach Reinhaller et al. (2000[SP142]), Gerbl-Rieger et al. (1999[PS143]) und verschiedene Quellen nach Grüner (1995[PS144])

#### 7.5.4 Übersicht zu Prozessabschnitten, Anlagenteilen, Arbeitsbereichen als abgegrenzte Emissionsquellen

Da die Vermehrung der in Abschnitt 7.4.1 genannten Mikroorganismen im Kompostierungsprozess erforderlich ist, besteht nicht die Forderung nach einer Reduktion der Mikroorganismenzahl, sondern die Forderung, die Aerosolbildung so gering wie möglich zu halten und die beschäftigten Personen so effizient wie möglich zu schützen Böhm et al. (1998[A145]).

Nach Böhm et al. (1998[A146]), Binner (2002[A147]) und Reinthaler et al. (2000[A148]) sind bei der Erfassung, Verarbeitung und Anwendung von biogenen Abfällen folgende Arbeits- und Belastungsbereiche vorhanden:

- **Sammlung**
  - Öffnung der Biotonne und Beschickung
  - Standzeit der Tonne mit aeroben und anaeroben Abbauvorgängen, bei denen sich dazu befähigte obligat oder fakultativ pathogene Keime sowie Saprophyten vermehren können oder einem Absterbevorgang unterworfen sind
- **Abholung**
  - Öffnen und Umfüllen der Tonnen in das Sammelfahrzeug
  - Transport, bei dem eine Durchmischung des Sammelgutes und eine weitere Keimvermehrung stattfinden kann
- **Materialannahme und Zwischenlager**
  - Abladen, Zwischenlagern; im Anlieferungsbereich liegt das Gefährdungspotenzial in erster Linie in den luftgetragenen Mikroorganismen, die an den Umsetzungsvorgängen beteiligt sind oder die sich als Begleitflora im Substrat vermehrt haben und in den seltensten Fällen obligat pathogene Mikroorganismen sind (Reinthaler et al., 2000[A149]).
- **Abfallaufbereitung**
  - Sortieren und Mischen
  - Durch die Zerkleinerung des Rohmaterials mittels Häckselmaschine ergibt sich eine starke Staubentwicklung und somit Emission der Pilzsporen (Amlinger, 1993[A150]).
- **aerobe Behandlung offen bzw. im geschlossenen System oder Vergärung**
  - Zwischenbearbeitung (Umsetzen, Mischen, Entwässern usw.); bei den Umsetzungsvorgängen der Intensivrotte liegt das Hauptgefährdungspotenzial in Mikroorganismen, welche sich im Verlauf der Rotte entwickelt haben. An den ruhenden Mieten kann eine erhöhte Sporenkonzentration durch Luftbewegungen an der Mietenoberfläche auftreten (Amlinger, 1993[A151]).
  - Materialaustrag aus geschlossenen Systemen
- **(Roh-)Kompostaufbereitung**
  - biologische Nachbehandlung
  - mechanische Nachbehandlung. Der hohe Anteil an Feinmaterial und der geringe Wassergehalt bringen eine hohe Staubentwicklung mit sich; allerdings ist die Sporenkonzentration nur ein Bruchteil derjenigen, die während der Kompostreifungsphase auftritt (Amlinger, 1993[A152]).
- **Lagern**
  - Verladen und Transport
- **beim Anwender**
  - Abladen, Zwischenlagern und Verteilen
  - endgültige Einarbeitung in den Boden

Die übliche Einteilung von Kompostierungsanlagen entsprechend der Jahresumsatzrate ist nach Reinthaler et al. (2000[A153]) für den Arbeits- und Dienstnehmerschutz bedeutungslos, da sie nicht arbeitsplatzorientiert ist. Im Folgenden kommt daher eine **Einteilung** zum Tragen, die **Kompostierungsanlagen**

arbeitsplatzbezogen, dem baulichen Zustand entsprechend drei Emissionsgruppen zuordnet. Kriterium ist die baulich/technische Ausgestaltung von Intensiv- und Nachrotte.

**Tabelle 7-31: Einteilung der aeroben Kompostierungsverfahren aus Arbeitsschutzsicht (Schappler Scheele, 1997[A154])**

TYP	"Platz"	"Dach"	"Werk"
Hauptkriterium Intensivrotte	offen	baulich gefasst	geschlossen (Box, Container, Halle)
Nebenkriterium Nachrotte	offen	offen baulich gefasst	offen baulich gefasst geschlossen

Aus den Arbeiten von Fanta et al. (1999[A155]) und Wüst et al. (1999[A156]) zit. nach Reinthaler et al. (2000[A157]), geht hervor, dass geschlossene Anlagen ("Werk") über den Biofilter fortlaufend biologische Agenzien in das Ausbreitungsmedium Luft abgeben. Innerhalb dieser Kompostwerke mit völliger baulicher Umschließung liegt kontinuierlich eine hohe Bioaerosolkonzentration vor, es kommt zur Aufkonzentrierung potenziell gesundheitsgefährdender Keime. Die Keimbelastungen sind längerfristig relativ konstant und im Mittel etwa um eine Zehnerpotenz höher als die mittleren Werte in baulich offenen Anlagen. Innerhalb dieser Anlagen sind zwar keine ständigen Arbeitsplätze vorhanden, die Betriebsorganisation in Kompostwerken erzwingt etwa bei Betreuung der Anlagentechnik jedoch häufig einen Aufenthalt von Arbeit- und Dienstnehmern in hochbelasteten Bereichen. Im Bereich von Kompostierungsanlagen vom Typ "Platz" oder "Dach" treten kurzfristige, aber ausgeprägte Emissionsspitzen vor allem während Arbeiten mit bewegtem Kompostmaterial auf. Ruhende Mieten setzen keine signifikant erhöhten Mengen biologischer Agenzien in die Umgebungsluft frei (Haas et al., 1999[A158]) zit. nach Reinthaler et al. (2000[A159]), (Gerbl-Rieger et al., 1999[PS160]). Beim Vergleich der Bioaerosolemissionen einer offenen Rottefläche (offene Mietenkompostierung) mit einer geschlossenen Rottehalle zeigt sich am Beispiel der Medianwerte, dass sich die Keimzahlen der aeroben Gesamtkeime während der Arbeitstätigkeit in der offenen und geschlossenen Anlage nicht unterscheiden. Bei allen Proben lagen sie auf dem Niveau von  $10^5$  KBE/m<sup>3</sup> Luft (VDI 3475 Blatt 2, 2003). Über Lüftungstechnische Maßnahmen (lokale Absaugung) ist eine Minderung der Belastung zu erreichen, um mögliche Gesundheitsrisiken von Beschäftigten zu minimieren.

Die Sammlung und Handhabung von Abfällen, die organisches Material enthalten, stellt eine Folge von Schritten dar, von denen jeder eine bestimmte Bedeutung im Hinblick auf eine Vermehrung und Freisetzung von Mikroorganismen hat. Vereinfacht dargestellt folgt nach Böhm et al. (1998[A161]) auf einen Schritt, bei dem das Sammelgut mit der Umwelt in Kontakt kommt, immer eine Phase, in der sich biologische oder physikalische Prozesse abspielen, die das Sammelgut durch mikrobielle Umsetzungen verändern und aus Sicht der Hygiene positiv oder negativ beeinflussen.

Bei den Emissionsquellen gibt es einerseits kontinuierliche und nicht kontinuierliche Typen (Gerbl-Rieger et al., 1999[PS162]). Bei geschlossenen Anlagenkonzepten beschränken sich freisetzungrelevante Tätigkeiten meist auf Anlieferung, Zerkleinern und Umlagerung von Strukturmaterial. Bei teilumhausten und offenen Anlagenkonzepten finden zusätzlich vor allem Auf- und Umsetzen von Mieten und Absieben von Kompost statt.

Untersuchungen von Kühner (2001) zeigten, dass bei dynamischen Vorgängen (Umsetzvorgängen) Emissionen mit Werten von  $10^8$  bis  $10^9$  KBE m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (um bis zu Faktor 1000 bis 10000 über den Werten der ruhenden Mieten) auftreten. Als Ursachen für diese hohe Emission sind die starke mechanische Beanspruchung des Materials durch die rotierende Walze des Umsetzers, die Freilegung von trockenen Mietebereichen und die starke Thermik durch das Aufbrechen von heißem Material zu nennen.

Diese hohen Frachten nahmen – im Gegensatz zu den Emissionen aus den ruhenden Mieten – im gegenständlichen Versuch im Verlauf der Rotte wenig ab, sondern blieben auf einem hohen Niveau bis zum Versuchsende in der 9. Rottewoche. Eine sehr deutliche Reduktion in der Fracht brachte ein vorheriges Bewässern der Miete. Durch die Bewässerung wurde der Wassergehalt zwar nur geringfügig erhöht (< 1%), aber die Staubfreisetzung und damit die Keimemission drastisch reduziert.

**Tabelle 7-32: Flächenspezifische Keimfracht in KBE m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> beim Umsetzen der Miete a vor und nach einer kurzzeitigen Bewässerung (Kühner, 2001)**

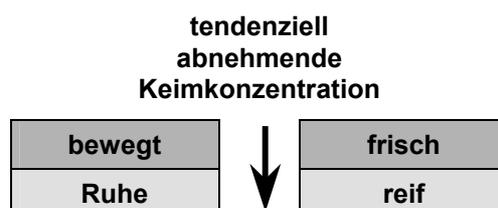
	Keimfracht in KBE m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	Reduktion %
<b>thermophile. Aktinomycceten</b>		
Miete a vor Bewässern	2,0 E+9	
Miete a nach Bewässern	8,3 E+7	95,9
<b>Aspergillus fumigatus</b>		
Miete a vor Bewässern	6,1 E+8	
Miete a nach Bewässern	1,5 E+7	97,5
<b>Gesamtschimmelpilzzahl</b>		
Miete a vor Bewässern	5,2 E+8	
Miete a nach Bewässern	2,1 E+7	96

Der Faktor *Reifephase* ist am Beispiel der Sporenkonzentration von *A. fumigatus* im Kompostmaterial in Tabelle 7-33 veranschaulicht.

**Tabelle 7-33: Sporenkonzentration während der Reife (Sporen pro Gramm Trockengewicht)**

Rohmaterial (Mittelwert aus 6 Messungen)	345.708
rottendes Material (Mittelwert aus 12 Messungen)	2.045.161
reifer, abgeseibter Kompost (Mittelwert aus 6 Messungen )	8.196

Grundsätzlich sind folgende Zustandsgrößen die wesentlichen Kriterien für die potenziell emittierbare Keimkonzentration:



## 7.5.5 Technische Maßnahmen zur Reduktion der Keimemissionen

### 7.5.5.1 Abdeckung mit semipermeablen Membranen

Untersuchungen an belüfteten Mieten mit Abdeckungen mittels semipermeablen Membranen ergaben für alle untersuchten Keimgruppen eine deutliche Verminderung der Luftkeimkonzentration von 100 % oberhalb der Membran im Vergleich zur Konzentration unterhalb der Membran (Ursache: Geringe Porenweite, Temperaturdifferenz, Kondensation, erschwerte Freisetzung). Es traten keine Emissionen über den Hintergrundwerten auf (Kühner, 2001). Im Falle des Abdeckens und Umsetzens der Miete ist jedoch mit einer entsprechenden Stoßemission zu rechnen.

### 7.5.5.2 Reduktionsleistung für Keimemissionen durch Biofilter

In geschlossenen Anlagen erfolgt eine Abscheidung der luftgetragenen Keime im Wäscher, Luftbefeuchter und Biofilter. Das Abscheideverhalten von Biofiltern in Bezug auf einzelne Mikroorganismengruppen ist unterschiedlich, wodurch das Artenspektrum gegenüber der Rohluft verändert wird. Aus Flächenbiofiltern mit üblichen Filtermaterialien (Wurzelholz, Baumholzverschnitt, Kompost) können während trockener Warmwetterperioden zusätzlich Pilze freigesetzt werden. Optimal durchfeuchtete Biofilter (bei regnerischen Witterungsperioden, sonst Sprühbefeuchtung) führen zu einer Verminderung der Pilzsporenemission um bis zu 80 % (Kliche, 1996[SP163]). In einem im Technikummaßstab getesteten Biofilter mit kombinierter Sprüh-/Tropfbefeuchtung im kompletten down-flow Betrieb ist eine Reduktion der Pilzfracht auf die in der Reinluft durchgängig erreichbar. Dennoch werden auch hier in der Reinluft Gesamtpilzkonzentrationen von bis zu  $7,2 \times 10^2$  KBE/m<sup>3</sup> ermittelt. Auch aus diesem Grund entspricht es dem Stand der Technik, eine regelmäßige Befeuchtung von Flächenbiofiltern (insbesondere während längerer Trockenperioden) vorzunehmen.

Vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen wurden die Emissionen luftgetragener Mikroorganismen an den Biofiltern von fünf Anlagen zur biologischen Abfallbehandlung gemessen (Schilling, 2003[FA164]). Die Messungen in Roh- und Reingas wurden mit etablierten Messverfahren zeitgleich durchgeführt, um eine Einschätzung des Abscheideverhaltens der Filter zu ermöglichen. An allen Anlagen ergaben die Messungen im Reingas der Filter geringere Konzentrationen als im unbehandelten Rohgas. Insgesamt wiesen die Ergebnisse einen Schwankungsbereich von bis zu drei Zehnerpotenzen auf.

Auf der Basis der vorgestellten Messwerte kann daher geschlossen werden, dass die von Kompostierungsanlagen emittierten wirkungsrelevanten thermotoleranten Organismen, wie *Aspergillus fumigatus*, in den Biofiltern in der Regel keine weitere Vermehrung erfahren.

Weiterhin ist zu bedenken, dass Biofilter üblicherweise zur Geruchsminderung konzipiert und eingesetzt werden. Wenn gleichzeitig eine Minderung von Bioaerosolen angestrebt wird, ist eine Anpassung und Optimierung des Verfahrens bzw. der Filter hinsichtlich der Rückhaltung von Mikroorganismen erforderlich.

Kumer et al. (2003[SP165]) kamen in ihren Untersuchungen zum Abscheideverhalten von Abluftreinigungsanlagen im Hinblick auf Bioaerosole zu folgenden Schlussfolgerungen:

- die Messergebnisse innerhalb einer Messreihe unterliegen einer starken Streuung,
- das Abscheideverhalten in Bezug auf einzelne Mikroorganismen ist unterschiedlich, auch in Abhängigkeit der Rohgaszusammensetzung,
- tendenziell ist von einer Abreicherung? auszugehen.

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass sowohl die biologische als auch die thermische – regenerative Abluftreinigung geeignet sind, Bioaerosolemissionen aus biologischen Abfallbehandlungsanlagen zu reduzieren.

Das Abscheideverhalten für Bioaerosole in Biofiltern zeigt Grenzen auf. Die Reduzierungen des untersuchten Bioaerosolpotenzials bewegen sich zwischen 0 und 99%, je nach Mikroorganismengruppe und Anlage. Dies entspricht bei Bioaerosolkonzentrationen von z.T.  $>10^5$  bis  $10^6$  KBE/m<sup>3</sup> Minderungen  $<2$  Zehnerpotenzen. Dadurch können standort- oder anlagenabhängig im Einzelfall jedoch auf Grundlage von Emissionsprognosen oder Anlagenüberwachungen höhere Abscheidegrade notwendig sein (Kumer et al., 2003[SP166]).

Die Kombination von Biowäscher und Biofilter führt je nach Mikroorganismengruppe und Sammelverfahren zu einer Reduktion von Keimemissionen von bis zu 100%. Eine deutliche Abnahme ergab sich bei *Aspergillus fumigatus* um 94 bzw. 100% (Kumer et al., 2003[SP167]).

Mit dem thermisch-regenerativen Abluftreinigungsverfahren konnten *Aspergillus fumigatus* sowie mesophile und thermotolerante Schimmelpilze zu 100% reduziert werden. Für thermophile Actinomyceten und Gesamtbakterien wurden Rückhaltekoeffizienten zwischen 96,3 und 98,5% ermittelt (Kumer et al., 2003[SP168]).

#### 7.5.5.3 Benebelungs- bzw. Niedernebelungssysteme

Bei Benebelungs- oder Niedernebelungssystemen wird Wasser unter einem Druck von 70-80 bar in feine Partikel zerstäubt. Die Staubpartikel in der Luft werden durch die Benebelung mit feinsten Wassertropfen auch ohne Zusatz eines Benetzungsmittels, das die Oberflächenspannung des Wassers reduziert, niedergeschlagen. Damit sich die in der Luft schwebenden Staubpartikel und Keime mit den feinen Wassertropfen verbinden ist es erforderlich, dass die Tropfen in ihrer Dimension der des Staubes sehr ähnlich sind. Dadurch wird verhindert, dass die Staubpartikel durch die höhere Strömungsgeschwindigkeit um den Wassertropfen geleitet werden. Mit der Feinheit der Wassertropfen nimmt die Oberflächenspannung ab, und die Affinität zum Staub steigt. Daraus folgt, dass die Tropfen die Staubpartikel benetzen können, und diese nicht mehr abstoßen. Die Staubpartikel werden durch die Benetzung mit feinen Wasserpartikel gebunden, und durch die Gewichtszunahme niedergeschlagen. Durch den feinen, schwebefähigen Wassernebel kann die Wasserzugabe auf das Material weiter reduziert werden, da sich dieser länger in der Luft hält. Es erfolgt keine direkte Wasseraufgabe auf das Material selbst.

Dadurch, dass sich der Wassernebel raumfüllend ausbreitet wird eine hohe Effizienz erzielt. Ein Vorteil gegenüber einer Absaugung liegt in der Möglichkeit, die Wirkung des Verfahrens genau einstellen zu können. So ist es möglich die Düsen so zu platzieren, dass am Ort der größten Staubemission mehr

Wassernebel erzeugt wird. Ein weiteres Mittel, um die Wirkung und die Wasserzugabe zu steuern, bietet das große Spektrum an Düsen mit unterschiedlichem Wasserdurchsatz. Ein besonderes Merkmal einer Bedüsungsanlage ist, dass kein Handling großer Staubmengen erforderlich ist. Dies wird dadurch erreicht, dass der Staub nach der Bindung mit Wasser in den Förderstrom zurückgeführt wird (siehe Microfog, 2004[SP169]).

Diese Systeme können, wo dies standortbedingt erforderlich ist, an offenen Kompostierungsanlagen oder auch in geschlossenen Anlagenteilen mit hoher Staubeentwicklung wirkungsvoll gegen Staub- und Keimemissionen eingesetzt werden.

### 7.5.6 Immissionsbetrachtung eine Frage der Entfernung

Bei den Luftkeimen besteht die zentrale Frage, wie weit und in welchen Konzentrationen sie getragen werden.

Generell hängt die Empfehlung von angemessenen Sicherheitsabständen zu Kompostanlagen von deren örtlichen Lage, deren baulichen Design, den mikroklimatischen Gegebenheiten und den vorhandenen emissionsmindernden Maßnahmen ab.

Nach Gerbl-Rieger et al. (1999[PS170]) ist bei einem Vergleich unterschiedlicher Anlagenkonzepte grundsätzlich zu berücksichtigen, dass geschlossene Anlagen über den Biofilter fortlaufend biologische Agenzien in das Ausbreitungsmedium Luft abgegeben, wohingegen offene Anlagenkonzepte nur während freisetzungrelevanter Tätigkeiten biologische Agenzien in die Umgebungsluft abgeben. Ruhende Mieten setzen keine signifikant erhöhten Mengen biologischer Agenzien in die Luft frei, eine Tatsache, die auch von Kühner (2001[PS171]) in großtechnischen Versuchen mit abgedeckten Mieten bestätigt werden konnte. In 500 m Entfernung lagen die Immissionswerte bei einem geschlossenen Anlagekonzept unter den Werten für ein offenes Anlagenkonzept. Besonders deutlich zeigt sich dies in um zwei 10-er Potenzen höheren Werten für Actinomyceten. Obgleich bei geschlossenen Anlagen im Jahresmittel bereits in 100 bis 200 m Entfernung kein Einfluss auf die Umgebung mehr nachzuweisen ist, ist jedoch aufgrund der kontinuierlichen Emissionsquelle „Biofilter“ davon auszugehen, dass unter 100 m immer ein gewisser Anlageneinfluss besteht. Bei offenen Anlagen ist nur während freisetzungrelevanter Tätigkeiten ein Anlageneinfluss auf die Umgebung nachzuweisen, hier allerdings bis zu 500 m.

Reinthalter et al.(1997[PS172]) kamen bei anlagen- und anrainerbezogenen Messungen von Bioaerosolen an zwei geschlossenen und einer offenen Kompostierungsanlage zu dem Schluss, dass ab einem Abstand von etwa 150 Metern keine erhöhten Keimbelastungen mehr zu erwarten sind, und dass daher die in Österreich mit Hinblick auf die Geruchsemissionen empfohlenen Abstände von 300 Metern für diese Fragestellung ausreichend sind. Bei mangelhafter Betriebsführung der Anlagen und in Abhängigkeit von klimatischen Einflüssen (Wind u.a.) sind höhere Einzelwerte auch über diesen Entfernungsbereich möglich. Daher sollten im Zusammenhang mit der Anrainerschaft für Kranken- und Heilanstalten grundsätzlich größere Abstände (> 1 km) berücksichtigt werden.

In einer neueren Untersuchung zeigten Reinthalter et al. (2004[SP173]), dass eine effektive Reduktion der Keimemissionen in offenen Mietensystemen mit einfachen Mitteln erzielt werden kann. Danach sind die wesentlichen Maßnahmen die Bestückung der Wendemaschine mit Staubschürzen aus Gummi zur bestmöglichen Abschirmung des Manipulationsraumes, die Befeuchtung der Mieten vor und nach den Umsetzungsvorgängen und die regelmäßige Reinigung der Fahrflächen. In 5-tägigen Messungen vor und nach Einführung der Maßnahmen zeigten sich an allen Messorten signifikante Rückgänge nicht nur bei allen kultivierbaren Indikatorkeimen (zB thermophile Actinomyceten und *Aspergillus fumigatus*), sondern auch bei den Gesamtkeimkonzentrationen. Die Keimbelastung nach Einführung der Verbesserungsmaßnahmen verminderte sich je nach Keimgruppe und Messort auf einen Wert zwischen 0,5 und 16 % der Ausgangsbelastung. In der Umgebung der Anlage sank so bereits in einer Entfernung von 150 Metern die Keimimmissionen auf das Niveau der natürlichen Hintergrundbelastung!

Fischer et al. (1998[FA174]) untersuchten den Einfluss der Umsetzfrequenz auf die Konzentration von *A. fumigatus* in der offenen Mietenkompostierung von Bio- und Gartenabfällen. Mit steigender Umsetzfrequenz stieg auch die Temperatur rascher an und damit ging eine stärkere Reduktion der Sporenkonzentration an der Mietenoberfläche einher.

Eine effektive Maßnahme zur besseren Verwirbelung und Verdünnung möglicher Keimemissionen aus Kompostierungsanlagen stellt die Errichtung natürlicher Barrieren dar. Hierzu zählen Dämme, Zäune, Hecken bzw. Baumgalerien (Wheeler et al., 2001[FA175]; Britter, 1998[FA176]).

Kämpfer et al. (2002[PS177]) fanden eine Dominanz von *Aspergillus fumigatus* in der in Windrichtung liegenden **Nachbarschaft von Kompostanlagen**. In der natürlichen Umwelt dominieren Arten wie Cladosporium und Alternaria.

*Aspergillus fumigatus* eignet sich daher nach Kämpfer et al. (2002[PS178]) als Leitkeim für die Abschätzung des Emissionspotenzials von Luftkeimmessungen sowohl für den Anlagenbereich als auch für den Anrainerbereich. Gerbl-Rieger et al. (1999[PS179]) halten den Parameter „Schimmelpilze“ nicht für ein geeignetes Kriterium zur Bestimmung eines Anlageneinflusses, da Schimmelpilze tendenziell fast unabhängig vom Anlagentyp und Anlagenkonzept bereits ab 100 bis maximal 200 m Entfernung im Bereich der natürlichen Konzentrationen auftreten. Die Messungen von Bakterien (Anzucht bei 37 °C) und insbesondere von Actinomyceten (Anzucht bei 30 °C und 50 °C) wären aufgrund ihres geringeren Auftretens in natürlicher Umgebung dazu besser geeignet.

Beispielhaft sind die Messergebnisse der Wiener Untersuchungen angeführt, die die Abhängigkeit der Sporenkonzentrationen von *A. fumigatus* vor allem von der Kompostmanipulation und der Entfernung von der Emissionsquelle bestätigen (Amlinger, 1993[A180]).

**Tabelle 7-34: Mittlere Konzentration aerosolisierter Sporen (Sporen m<sup>-3</sup>)**

Entfernung (m)	Umsetzen	Absieben	Ruhen
0 - 100	4.523 +/-10.630	87 +/-203	74 +/-148
101 - 400	1.084 +/-2.370	78 +/-139	49 +/-101
401 - 1000	675 +/-1.732	36	8 +/-12

Es ist aus der Größe der Standardabweichungen zu erkennen, welchen großen Einfluss die verschiedenen Parameter wie geländespezifische Gegebenheiten, Windgeschwindigkeit, Windstärke ausüben.

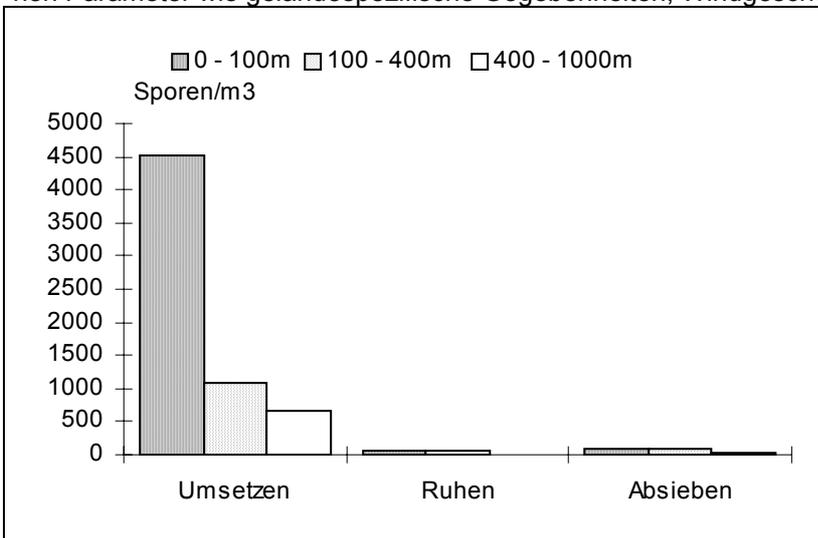


Abbildung 7-11 zeigt sehr deutlich, dass während des Umsetzens die höchsten Konzentrationen aerosolisierter Sporen auftreten. Es lassen sich Sporenwerte, die über dem ermittelten Durchschnittswert liegen, auch in 1.000 m Entfernung von der Emissionsquelle nachweisen (abhängig von Windstärke und -richtung), während beim Absieben bzw. bei ruhenden Mieten die Konzentration der Sporen in der Luft sich relativ rasch dem Kontrollwert nähert. Auch die Feuchtigkeit des Materials (Staubentwicklung) spielt für die Verdriftung eine wesentliche Rolle.

**Abbildung 7-11: Mittlere Sporenkonzentrationen in der Umgebungsluft von Kompostmieten während des Umsetzens, Absiebens und Ruhens in Abhängigkeit von der Entfernung**

Der Autor der Studie weist darauf hin, dass diese Untersuchung nicht isoliert betrachtet werden sollte, da in der Literatur eine Vielzahl von Standorten genannt wird, wo *A. fumigatus* vorkommt (LACEY, 1991[PS181]). Es wäre daher wichtig, Messwerte aus der Umgebungsluft von Kompostwerken mit jenen Standorten zu vergleichen, an denen Aspergillose-Fälle aufgetreten sind.

Kämpfer et al. (2002[PS182]) berichten von sehr niedrigen **Endotoxinkonzentrationen** in der Umgebung von offenen und geschlossenen Kompostanlagen im Bereich zwischen 0,4 und 20,6 EU/m<sup>3</sup>, welche klar

unter den von Danneberg et al. (1997[PS183]) an Arbeitsplätzen als gesundheitsschädlich bezeichneten 50 bis 100 ng/m<sup>3</sup> Luft lagen. Aus diesem Grund scheinen die Endotoxinkonzentrationen nicht als Indikator für Emissionen aus Kompostanlagen geeignet zu sein.

Prasad et al. (2004[SP184]) haben kürzlich eine umfassende Literarstudie zur Bioaerosolemission und –immission fertiggestellt. Bei den Untersuchungen zur Staubemission wurden die Parameter: *Aspergillus fumigatus*, *Gesamt-Pilzsporen*, *Endotoxine*, *Gesamt-Bakterien* auf Kompostanlagen im Vergleich zu anderen Emittenten und der Hintergrundbelastung ausgewertet. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass bei Beachtung der Grundregeln für eine emissionsarme Prozessführung auf den Kompostanlagen die Belastungen sowohl für Arbeiter, wie auch für Anrainer als minimal einzustufen sind. Hinsichtlich der Standortwahl halten die Autoren auf Basis der ausgewerteten Literatur einen Abstand zu einem *sensiblen Rezeptor* von 200 m für ausreichend.

Auf Basis der ausgewerteten Literatur ist unter Standardbedingungen aus der Sicht des Immissions-schutzes ein Abstand von 150 bis 200 m zu Wohnbebauungen als ausreichend anzusehen. Im Fall von Krankenanstalten, Altenheimen oder Kuranstalten sollte jedoch aus Vorsorgegründen analog zum geruchsseitigen Orientierungswert ein Abstand von ca. 1.000 m eingehalten werden. Werden diese Entfernungen unterschritten ist eine gutachterliche Stellungnahme einzuholen, die insbesondere die betrieblichen und technischen Maßnahmen hinsichtlich einer Minimierung der Keimemissionen beurteilt und gegebenenfalls entsprechende zusätzliche Maßnahmen für den Regelbetrieb vorsieht.

### 7.5.7 Allgemeine arbeitnehmerseitige Schutzmaßnahmen

Um einen hygienisch unbedenklichen Betriebsablauf sicherzustellen, sind in den Bereichen Verfahrens-, Bau- und Transporttechnik sowie für den Schutz der Personen entsprechende Maßnahmen zu setzen.

Die gesundheitliche Belastung wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst, die eine Aussage über die Auswirkungen auf die Arbeit- und Dienstnehmer erschweren. Diese reagieren aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften, ihres Leistungsvermögens sowie ihrer Gesundheit in unterschiedlichem Maße. Zusätzlich wirken sich Lebensalter, geschlechtsspezifische Unterschiede sowie soziale Faktoren aus. Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen sind ein Instrument, um bei bestehender Exposition mit Risikocharakter im Einzelfall zu prüfen, ob wegen der individuell verschiedenen Empfindlichkeit ein besonderes gesundheitliches Risiko besteht (LASI-LV 13, 1997[A185]) zit. nach Reinthaler et al. (2000[A186]).

Im Folgenden werden allgemeine Schutzmaßnahmen für Arbeiter in abfall- und abwasserverarbeitenden Betrieben aufgezählt (zitiert aus dem Branchenkonzept für Biologische Arbeitsstoffe der AUVA, 2000 nach (Wüst, 2002[A187]):

- An den Arbeitsplätzen ist die *Aufbewahrung und der Konsum von Getränken, Speisen, Medikamenten und Genussmitteln* (Tabakwaren) sowie der Gebrauch von Kosmetika verboten.
- Vor dem Einnehmen von Speisen, Getränken und Medikamenten sowie vor dem Rauchen und vor der Benützung der Toiletten sind wegen der Infektionsgefahr die *Hände zu waschen*. Es sind Waschgelegenheiten einzurichten und Hautreinigungs-, Hautschutz- und Hautpflegemittel sowie Einweg-Handtücher in Spendern zur Verfügung zu stellen.
- Dem Arbeit- und Dienstnehmer ist vom Arbeit- und Dienstgeber kostenlos eine für den Einsatz geeignete und passende *Arbeits- und Schutzkleidung sowie persönliche Schutzausrüstung (PSA)* zur Verfügung zu stellen. Die Arbeit- und Dienstnehmer sind verpflichtet diese zweckentsprechend zu tragen. Die Arbeit- und Dienstgeber haben die Verwendung zu kontrollieren und dürfen ein Nichttragen nicht dulden. Die Arbeit- und Dienstgeber haben für die Reinigung, Wartung, Instandhaltung und Überprüfung der Arbeits- und Schutzkleidung sowie der PSA zu sorgen. Arbeits- und Schutzkleidung muss, soweit eine Verunreinigung mit biologischen Arbeitsstoffen anzunehmen ist, vor Betreten der Pausenräume abgelegt werden. Arbeits- und Straßenbekleidung sind getrennt aufzubewahren.
- *Verletzungen* an Händen und der ungeschützten Haut sind *fachgerecht zu versorgen*. Bei allen Verletzung, insbesondere durch Injektionskanülen, ist unverzüglich Meldung an den Vorgesetzten zu erstatten und ein Arzt bzw. das Krankenhaus aufzusuchen. Alle Verletzungen sind schriftlich zu dokumentieren.

- Die Beschäftigten sind *nachweislich jährlich* in für sie verständlicher Weise nach §12 und §14 ASchG über mögliche Gefahren für die Gesundheit, von den Arbeit- und Dienstnehmern zu treffende Hygiene- und Reinigungsmaßnahmen, Maßnahmen zur Verhütung einer Exposition und das Tragen und Benutzen von persönlicher Schutzausrüstung zu informieren und zu unterweisen.
- Der Arbeit- und Dienstgeber hat anlagenbezogene Maßnahmen gegen Gefährdungen durch biologische Arbeitsstoffe mit einem *Hygieneplan und einem Hautschutzplan* zu erstellen.
- Bei Tätigkeiten, bei denen die *Gefahr einer Berufskrankheit* besteht und bei denen einer arbeitsmedizinischen Untersuchung im Hinblick auf die spezifische mit dieser Tätigkeit verbundene Gesundheitsgefährdung prophylaktische Bedeutung zukommt, dürfen Arbeit- und Dienstnehmer nach Arbeitsschutzgesetz, ASchG, BGBl. Nr. 450/1994 §49 i.d.g.F. nur beschäftigt werden, wenn vor Aufnahme der Tätigkeit eine solche Untersuchung durchgeführt wurde (Eignungsuntersuchung) und bei Fortdauer der Tätigkeit solche Untersuchungen in regelmäßigen Zeitabständen durchgeführt werden (Folgeuntersuchungen).
- Die Kosten von *Eignungs- und Folgeuntersuchungen* sind nach § 57 vom Arbeit- und Dienstgeber zu tragen.
- Die Verwendung von biologischen Arbeitsstoffen durch *Betriebsfremde* in eigenen Anlagen bzw. durch eigene Arbeit- und Dienstnehmer in fremden Anlagen ist von den Arbeit- und Dienstgebern zu koordinieren.

#### 7.5.7.1 Spezielle Arbeitsschutzmaßnahmen in Kompostierungsanlagen

Die speziellen Arbeitsschutzmaßnahmen wurden nach ÖNORM S 2205, Reinthaler et al. (2000[A188]) und Wüst (2002[A189]) zusammengestellt.

Es wird zwischen **betrieblichen**, **technischen** und **personenbezogenen** Maßnahmen unterschieden.

##### **Betriebliche Maßnahmen**

- Bei manuellen Arbeiten während des Aufsetzens, Wendens und Austrages der Mieten sollte Atemschutz (P3) getragen werden. Gerbl-Rieger et al. (1999[PS190]) empfehlen zur Verminderung der Staubfreisetzung Umsetzgeräte mit Staubschürzen, das Befeuchten des Kompostes vor dem Umsetzen sowie mobile Staubabschirmungen. Zielführend ist auch ein zeitliches Abstimmen freisetzungsrelevanter Tätigkeiten entsprechend der vorherrschenden Windrichtungen und Umgebungsnutzung.
- Ehest mögliche Aufbereitung von biogenen Abfällen aus Haushalten, Gastronomie u. dgl. (zB durch logistische Maßnahmen), um Kleinnager, Vögel, Insekten nach Möglichkeit vom frischen Rottegut fernzuhalten.
- Regelmäßige Reinigung jener Anlagenteile, die mit frischem Rottegut, das keine temperaturbedingte Hygienisierung erfahren hat, in Berührung kommt, um eine Keimvermehrung bzw. -verschleppung hintanzuhalten.
- Die Betriebsabläufe sollten möglichst so gestaltet werden, dass ständige Arbeitsplätze im Intensivrottebereich nicht vorhanden sind.
- Die Reinigung und Instandhaltung im Rottebereich eingesetzter Maschinen sollte in unbelasteten Bereichen durchgeführt werden.
- Der Rottebereich einer geschlossenen Anlage ("Werk") soll während der Hauptrotte nur zu Steuerungs- Reinigungs- und Instandhaltungsvorgängen sowie zur Kontrolle des Rotteprozesses unter Tragen von Atemschutz (P3) bzw. einer Fluchthaube betreten werden.
- Die Lüftungstechnischen Anlagen sollten entsprechend den Herstellerangaben regelmäßig gereinigt und gewartet sowie nachweislich mindestens 1x jährlich auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft werden. Türen und Fenster sollten während des Betriebes geschlossen gehalten werden. Die Reinhaltung der Kabine durch geeignete Maßnahmen wird empfohlen.

*Das Auftreten hoher Keimemissionen im Rottebereich ist prozessbedingt unvermeidbar. Daher kommt den Lüftungstechnischen Einrichtungen an diesen Orten eine große Bedeutung zu. Die Ergebnisse verschiedener Studien zeigen, dass bereits effektive Keimimmissions-*

*mindernde Maßnahmen zum Schutz der Fahrzeugführer in keimbelasteten Bereichen im Einsatz sind. Einige Zuluffiltereinrichtungen erwiesen sich jedoch bezüglich ihres Rückhaltevermögens für Actinomyceten als unzureichend. In jedem Fall ist auf die strikte Einhaltung aller Betriebs- und Arbeitsschutzvorschriften zu achten, wenn die volle Leistung lüftungstechnischer Einrichtungen gewährleistet werden soll (Reinthalter et al., 2000[A191])*

- Bei Reinigungs-/Instandhaltungsarbeiten, bei denen mikrobielle Aerosole in erheblichem Umfang entstehen (zB Biofilterwechsel), sollte Atemschutz (P3) getragen werden.
- Mit Ausnahme des Rottebereiches sollten Fahr- und Manipulationsflächen staubfrei gehalten werden und vorzugsweise mit einer Kehrmachine oder geeigneten Industriestaubsaugern gereinigt werden. Bei Einsatz von Flüssigkeitsstrahlern sollte Atemschutz der Klasse P3 getragen werden. Eine Reinigung mit dem Besen sollte weitgehend vermieden werden.
- Die Fahrwege sollten in regelmäßigen Abständen befeuchtet bzw. gereinigt werden.
- Feuchthalten oder Abdeckung (Kompostvlies) der Oberflächen von gelagertem Fertigungskompost.
- Feuchthalten des Biofiltermaterials in Flächenbiofiltern.
- Vermeidung von prozesswasserbedingten Sekundärkontaminationen des Rottegutes, das prozessbedingt Temperaturen über 55 °C nicht mehr erreichen kann.

### **Technische Maßnahmen**

Technische Schutzmaßnahmen sind in erster Linie Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität. Dies betrifft die stationären Arbeitsplätze, an welchen möglichst Außenluftqualität gewährleistet werden sollte, und mobile Arbeitsplätze in Fahrzeugen. (Böhm et al., 1998[A192]).

- Die Manipulation von frischem Rottegut (Übernahme, Aufbereitung, Störstoffauslese) hat maschinell unterstützt unter Minimierung manueller Tätigkeiten zu erfolgen.
- Wirksame Absaugung aller eingehausten Anlagenteile, in denen Staub, Keime, Gerüche und sonstige gasförmige Emissionen zu erwarten sind.
- Fahrzeuge und Steuerstände, die vorwiegend im Bereich der Manipulation von Bioabfall und Kompost eingesetzt werden, sollten über eine geschlossene, klimatisierte Kabine mit außenluftunabhängiger Belüftung (zB mit Pressluft) oder geeigneter Filteranlage (Filterklasse S und Aktivkohlefilter) verfügen.
- Die ArbeitnehmerInnenschutzbestimmungen bezüglich der Lüftungstechnischen Einrichtungen und des Raumklimas sind zu beachten.
- Bereiche, die unmittelbar mit frischem Rottegut in Berührung kommen, sind leicht reinigbar und die Fußwege sind rutschsicher auszuführen.
- Transportbänder sind so auszuführen, dass Verunreinigungen der Anlage weitestgehend vermieden werden. Fallstrecken sind nach Möglichkeit zu vermeiden oder geschlossen auszuführen. Stationäre Transportbänder in geschlossenen Räumen sollten aus Gründen der Staub- und Aerosolbildung gekapselt und zusätzlich mindestens an Übergabestellen abgesaugt werden, sofern sich dort ständige Arbeitsplätze befinden.
- Verwendete Arbeitsmittel (Maschinen, Geräte und Anlagen) haben geltenden Vorschriften zu entsprechen (zB CE Kennzeichnung).
- Installation von raumlüftungstechnischen Anlagen (RLT) im Bereich der Anlieferung, in Sortierkabinen, bei der Konfektionierung (Absiebung, Abmischung) von Kompost, falls Dauerarbeitsplätze (durchschnittlich mehr als 2 Stunden Arbeitszeit pro Tag) bestehen (Böhm et al., 1998[A193]).

### **Personenbezogene Maßnahmen**

- Betriebsvorschriften haben die arbeitnehmerInnenschutzrechtlichen Vorschriften zu berücksichtigen.
- Eine arbeitsmedizinische und sicherheitstechnische Betreuung ist sicherzustellen.
- Bei fehlender Grundimmunisierung gegenüber Diphtherie, Tetanus und Poliomyelitis müssen diese Impfungen und ggf. eine Auffrischungsimpfung angeboten werden. Eine Immunisierung gegen Hepatitis A und -B ist dringend zu empfehlen. Wenn manuelle Grünschnittbearbeitung

durchgeführt wird, ist zusätzlich eine FSME Impfung empfehlenswert. Arbeit- und Dienstgeber haben sicherzustellen, dass Arbeit- und Dienstnehmer, denen Impfstoffe zur Verfügung gestellt werden, über Vor- und Nachteile der Impfung und Nicht-Impfung informiert werden.

- Tragen von persönlicher Schutzausrüstung (zB Schutzkleidung, Handschuhe, Nasen- und Mundschutz: P3-Maske) laut Gewerbeordnung (PSA Sicherheitsverordnung). Bei der Sortierung sollten schnitt- und stichfeste Handschuhe getragen werden. Im gesamten Arbeitsbereich sollten geschlossene Schuhe getragen werden.
- Rauchen, Nahrungsaufnahme und Schnupfen ist nur in hierfür geeigneten Bereichen (zB Aufenthaltsräumen) gestattet.
- Ablegen der Arbeitskleidung vor dem Verlassen des Betriebes.
- Schaffung von Möglichkeiten der Körperreinigung.
- Bei sanitären Anlagen sollte ein Schwarz-Weiß Bereich eingerichtet sein
- Regelmäßige Reinigung der Arbeitskleidung durch den Anlagenbetreiber.
- Aufenthaltsverbot für ungeschützte Personen in geschlossenen Rottehallen, zB bei Druckbelüftung oder während des Umsetzens bzw. unmittelbar danach (die Vorschriften der allgemeinen ArbeitnehmerInnenschutzverordnung bezüglich Begehen und Befahren von geschlossenen Schächten und Behältern sind zu berücksichtigen).
- Regelmäßige Information und Unterweisung der Arbeitnehmer bezüglich Arbeitsplatzsicherheit und -hygiene.

### 7.5.8 Schlussfolgerungen für den Stand der Technik „Minderung von Keimemissionen“

- In der Beurteilung der Luftkeimbelastung liegt das Grundproblem darin, dass eine eindeutige Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen den mikrobiologischen Parametern und dem Entstehen krankhafter, arbeitsmedizinisch relevanter Veränderungen beim Menschen nicht aufzustellen ist. Solange jedoch keine differenziertere Betrachtung möglich ist, besteht die grundsätzliche Forderung, alle technischen und organisatorischen Möglichkeiten zu nutzen, die Luftkeim- bzw. Staubgehalte so gering wie möglich zu halten.
- Der Anlagenstandort ist bei Neuanlagen so zu wählen, dass eine Mindestentfernung von 200 m zum Ort der Immission mit Schutzbedarf (Wohngebiete, ortsfeste Dauerarbeitsplätze) eingehalten wird. Im Fall von Krankenanstalten, Altenheimen oder Kuranstalten beträgt aus Vorsorgegründen der Mindestabstand ca. 1.000 m. Werden diese Entfernungen unterschritten, ist eine gutachterliche Stellungnahme einzuholen, die den Standort unter Berücksichtigung der eingesetzten Technologie, der Topographie und der Hauptwindrichtung grundsätzlich beurteilt. Hierbei sind die betrieblichen und technischen Maßnahmen zur Minimierung der Keimemissionen und gegebenenfalls entsprechende zusätzliche Maßnahmen für den Regelbetrieb mit zu berücksichtigen und aufzunehmen.
- In geschlossenen Rottehallen bzw. Reaktoren (Boxen/Tunnel) herrscht eine extrem hohe Keimbelastung – über den Biofilter kommt es zu einem reduzierten, aber kontinuierlichen Keimaustrag. Regelmäßige Sprüh- und Tropfbefeuchtung können die Keimbelastung jedoch deutlich verringern.
- Bei offenen Mieten treten bei den Umsetzungsvorgängen zeitlich begrenzt höhere Emissionen auf als im Mittel über Biofilter ausgetragen werden. In Summe über Umsetz- und Ruhezeiten unterscheiden sich offene Mietenrotten jedoch nicht von geschlossenen Systemen.
- Manipulations- und Fahrflächen sollen stets sauber und während Trockenperioden feucht gehalten werden.
- Nach suboptimaler Hauptrotte in geschlossenen Reaktoren (inhomogene Feuchtigkeitsverteilung, Trockenstabilisierung, unterschiedliche Zonen des Abbaus durch ungleichmäßige Belüftung und Temperaturzonierung) bei gleichzeitig fehlender Bewegung des Materials ist nicht von einer effektiven Keimreduktion zum Zeitpunkt des Austrags auszugehen. Die Herstellung von Trockenstabilat bzw. eine kürzere Verweildauer als 14 Tage – auch unter Annahme einer optimierten Prozessteuerung – ist daher grundsätzlich abzulehnen, da dies beim Austrag zu einer hohen Keimemission führt.
- Umsetzungsvorgänge und Materialbewegungen in der offenen Mietenkompostierung sollten nur bei ausreichend hoher Materialfeuchte durchgeführt werden. Kommt es zu einer zu starken Abtrocknung, ist solches Material zB nur unter ständiger Anfeuchtung (Sprühvorhang) umzusetzen.
- Wesentliche Maßnahmen sind daher:
  - Befeuchten der Mieten während dem Umsetzen (zB Einsprühen bzw. Nebelung während der Manipulation)
  - Beregnung der Mieten in Trockenperioden, um die Windverdriftung zu reduzieren
  - ausgewogenes Feuchtigkeitsmanagement bei allen Systemen (inklusive Biofilter).
- Im Falle kritischer Standorte (Abstand zu Wohngebiet < 200 m):
  - Umsetzaggregate mit Gummischürzen, um die Austrittsflächen für Staub zu minimieren
  - Umsetzzeiten sind wie auch zur Beherrschung der Geruchsproblematik auf die jeweils aktuelle kleinclimatische Situation abzustimmen (siehe auch Abschnitt 7.2.7).
  - Vliesabdeckung von Mieten mit geringem Querschnitt (Höhe < 1,5 m), die dadurch ein relativ hohes Oberflächen/Volumen Verhältnis aufweisen.
- Die arbeitnehmerseitigen Bestimmungen der AUYA sind einzuhalten, dies gilt im Interesse der Anlagenbetreiber auch für diese selbst, auch wenn für diese keine verbindlichen, rechtlichen Vorschriften zutreffen.

## 7.6 Sonstige gasförmige Emissionen

### 7.6.1 Allgemeine Voraussetzungen

Aus Studien zur Behandlung von organischen Abfällen ist bekannt, dass im Rahmen des mikrobiellen Abbaus klimawirksame Gase wie Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ) gebildet werden können. In der Bilanzierung von gasförmigen Emissionen kommen weiters in Betracht Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Nicht-Methan *volatile organic compounds* (NMVOC).

Zur Darstellung vergleichbarer Daten aus verschiedenen Prozessen wird in der Regel der sog. Emissionsfaktor bezogen auf eine Tonne behandeltes Ausgangsmaterial [ $\text{kg Gas t}^{-1}$ ] aus den tatsächlichen Emissionsfrachten berechnet.

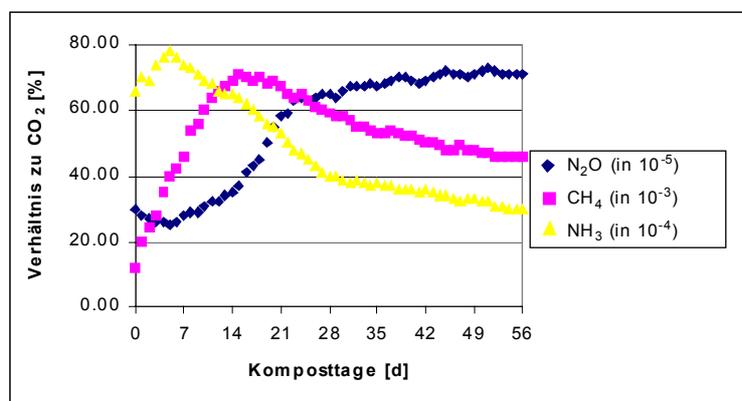
Im Gegensatz zu offenen Kompostierungssystemen muss bei geschlossenen Verfahren zwischen dem Rohgas, welches aus dem Rotteprozess austritt, und dem Reingas, das nach dem Durchströmen des Biofilters an die Atmosphäre entweicht, unterschieden werden. Anhand der Differenz der Emissionsfrachten Rohgas – Reingas kann die Wirksamkeit (Effektivität) der Abluftreinigung abgeschätzt werden.

Zur vergleichenden Beurteilung des Beitrages zum Treibhauseffekt durch Emission der *klimarelevanten* Gase durch die Kompostierung werden die Emissionen an  $\text{N}_2\text{O}$  und  $\text{CH}_4$  auf die sogenannten  $\text{CO}_2$ -Äquivalente, d.h. auf das klimawirksame Erwärmungspotenzial (*global warming potenzial* = GWP) von  $\text{CO}_2$ , über einen angenommenen Zeitraum von 100 Jahren umgerechnet. Der Faktor gegenüber  $\text{CO}_2$  beträgt für  $\text{CH}_4$  21 und für  $\text{N}_2\text{O}$  310. Das bedeutet, dass  $\text{N}_2\text{O}$  hinsichtlich des GWP noch um das 15-fache „effektiver“ ist als Methan.

Da im Bereich Bioabfall- und Grünschnittkompostierung nur relativ wenige systematische Untersuchungen existieren werden zu Vergleichszwecken Untersuchungsergebnisse von 4 mechanisch-biologischen Restabfallbehandlungsanlagen (MBA) gegenübergestellt. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass eine direkte Übertragbarkeit aufgrund der unterschiedlichen Materialzusammensetzung und z.T. anderen Vorbehandlung nicht möglich ist. Diese Ergebnisse dienen als orientierende Vergleichswerte.

Neben einer Zusammenstellung der verfahrenstechnischen und betrieblichen Maßnahmen zur Minimierung der Gasemissionen in geschlossenen und offenen Kompostierungsverfahren wird anhand einer Hochrechnung die durch die Kompostierung entstehenden Treibhausgase und deren Relevanz im Verhältnis zum Gesamtpotenzial an klimarelevanten Gasemissionen auf nationaler Ebene abgeschätzt (Berechnung für Österreich und Deutschland).

## 7.6.2 Quantifizierung von Treibhausgasen bei der Kompostierung



**Abbildung 7-12: Verlauf der Konzentrationen von NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> in Relation zu CO<sub>2</sub> bei der Kompostierung von Stallmist (nach Hellebrand & Kalk, 2000)**

Verhältnis) sowie von den Milieubedingungen in der Rottemiete (insbesondere Feuchte und Temperatur) ab.

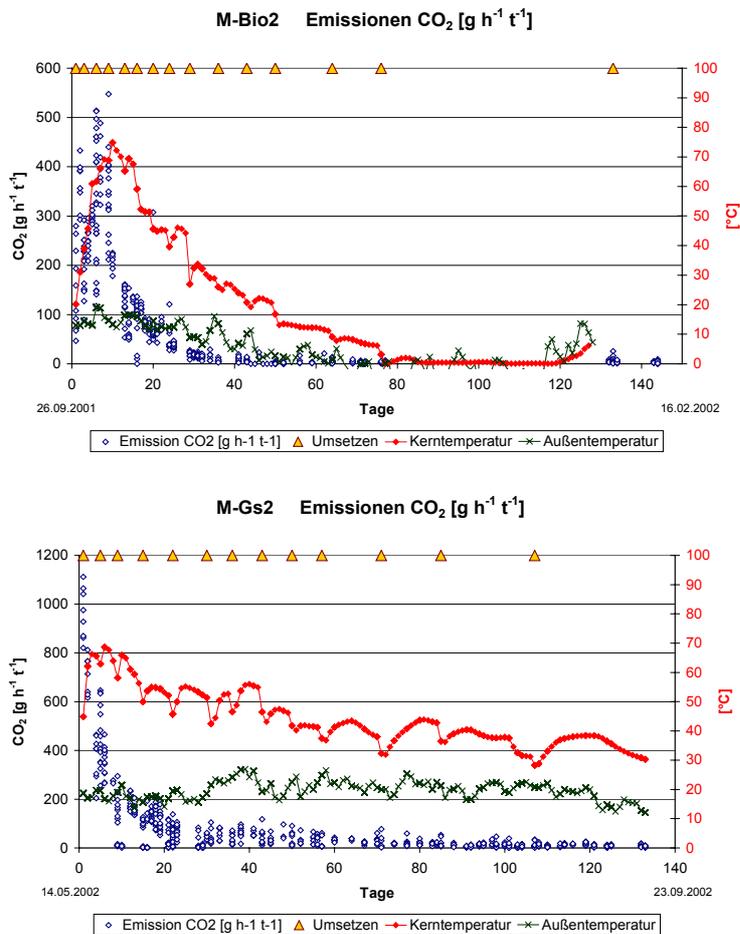
### 7.6.2.1 Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

Die Fixierung des Kohlenstoffs im Kompost und der Kohlenstoffverlust in Form von CO<sub>2</sub> als Zeichen der Stabilisierung des Materials sind ausdrückliche Behandlungsziele. Die CO<sub>2</sub> Emission geht daher nicht in die Bilanzierung als klimarelevantes Treibhausgas ein. Das Ziel einer weitgehenden Bindung des organischen Kohlenstoffs in Huminstoffen rechtfertigt die Forderung nach einer stoffhaltenden (oder schonenden) Kompostierung und nicht nach einem maximalen Abbau (Mengenreduzierung).

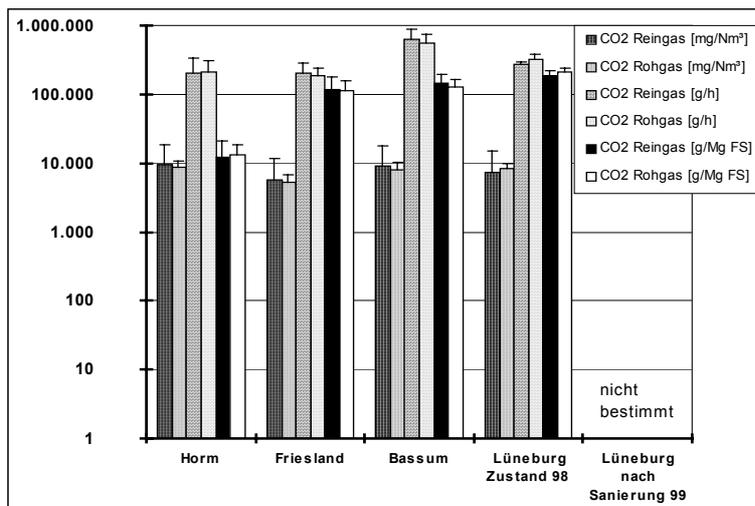
Die CO<sub>2</sub> Emission ist im wesentlichen Ausdruck der Abbauintensität und geht parallel mit der Mietenemperatur. Abbildung 7-13 zeigt typische Emissionsraten für CO<sub>2</sub> für offene Mietenrotten (Dreiecksmieten: B=2,1 m; H=1,0 m; L=8,0 m; M-Bio2 ... Biotonnenkompost; M-GS2 ... Grünschnittkompost) bei einer Umsetzfrequenz von 3 bis 7 Tagen (Amlinger & Peyr, 2003).

Die Wiederfindungsraten des C-Verlustes in der gemessenen CO<sub>2</sub>-C Emission lag bei 89 % in der Biomiete und 97 % in der Grünschnittmiete.

Der prinzipielle Emissionsverlauf von N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> und NH<sub>3</sub> ist in drei Typkurven relativ zum CO<sub>2</sub> in Abbildung 7-12 dargestellt. Im Verlauf einer Kompostperiode nehmen die Emissionen von Ammoniak und Methan innerhalb der ersten drei Wochen fast vollständig ab. Die Lachgasemissionen zeigen über die gesamte Kompostperiode eine hohe Streuung mit der Tendenz, dass mit der CH<sub>4</sub>- und NH<sub>3</sub>-Abnahme die N<sub>2</sub>O-Emissionen zunehmen und Maximalwerte erreichen, wenn die Temperaturen sinken und die Nitrifikation des Stickstoffs beginnt. Die Bildung der klimarelevanten Gase CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O hängt ganz entscheidend vom Inputmaterial (C/N-



**Abbildung 7-13: CO<sub>2</sub>-Emissionen in 3 bis 7-tägig umgesetzten offenen Mieten.** Stundenmittelwerte pro Tonne FM Input-Material [g h<sup>-1</sup> t<sup>-1</sup>]; M-Bio2 ... Biotonnenkompost; M-GS2 ... Grünschnittkompost. (Amlinger & Peyr, 2003)



**Abbildung 7-14: CO<sub>2</sub>-Emissionskonzentrationen [mg/Nm<sup>3</sup>], CO<sub>2</sub>-Emissionsmassenströme [kg/h], CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren [kg t<sup>-1</sup> FM], jeweils mit Standardabweichung**

Hellmann (1995[SP194]) untersuchte Anlagen mit unregelmäßiger offener Mietenkompostierung und bilanzierte die Emissionen in Größenordnungen von 150 bis 230 kg CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> FM.

Aus den Ergebnissen von Gronauer et al. (1997) aus einer geschlossenen Anlage mit belüfteter Tafelmietenkompostierung resultieren 173 kg CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> FM im Rohgas.

Die CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei jeweils 2 Kompostierungsdurchgängen von 43 und 115 kg t<sup>-1</sup> FM (Biotonne) bzw. von 118 und 194 kg t<sup>-1</sup> TM (Grünschnitt) entsprachen nach Amlinger & Peyr (2003) der zu erwartenden Bandbreite. Die sehr geringe CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei Klärschlammkomposten (31 bzw. 45 kg t<sup>-1</sup> TM) erklärte sich durch die widrigen äußeren Umstände (tiefe Temperaturen, enges C/N-Verhältnis, hohe Ammoniumkonzentration) bei den Kompostierungsdurchgängen.

Im Vergleich dazu emittierten MBA im Reingas nach Biofilter stündlich 200 (Friesland) bis 640 kg CO<sub>2</sub> (Bassum) wobei der Emissionsfaktor zwischen 12 (Horm) und 185 kg (Lüneburg) CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> FM betrug (Abbildung 7-14).

### 7.6.2.2 Methan (CH<sub>4</sub>)

Hellmann (1995) untersuchte Anlagen mit unregelmäßiger offener Mietenkompostierung und bilanzierte die Emissionen in Größenordnungen von 880 bis 1.400 g CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup>.

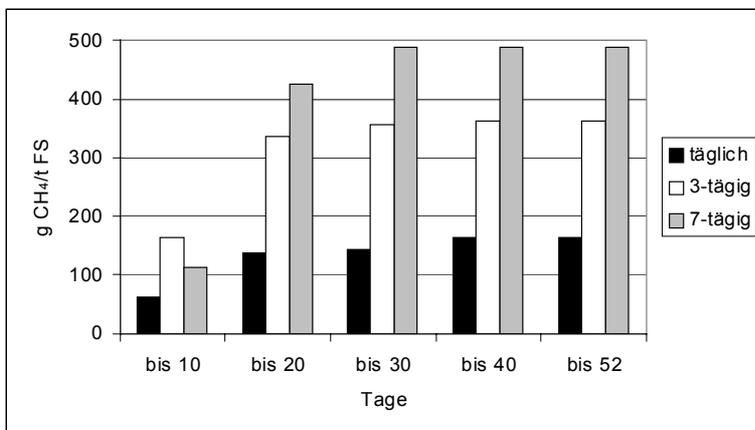
Aus den Ergebnissen von Gronauer et al. (1997) aus einer geschlossenen Anlage mit belüfteter Tafelmietenkompostierung resultieren 1.840 g CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup> im Rohgas und 1.560 g CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup> im Reingas nach Biofilter (Tabelle 7-47). Der geringe Wirkungsgrad der Biofilter für Methan ist auch im vorhergehenden Abschnitt (VOC/TOC) beschrieben.

Die CH<sub>4</sub>-Emissionen liegen nach Amlinger & Peyr (2003) mit 657 – 844 g t<sup>-1</sup> TM bei den Biotonnenkomposten und mit 99 – 1140 g t<sup>-1</sup> TM Eingangsmaterial in dem aus der Litera-

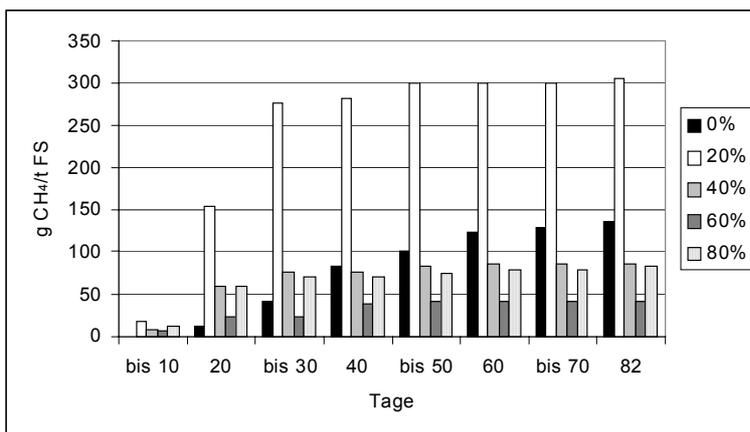
tur bekannten Bereich. Der Anteil der CH<sub>4</sub>-Emission an den Emissionen C<sub>ges.</sub> betrug in den Untersuchungen zwischen 0,11 % und 1,85 %.

Bei Versuchen in einer Tunnelrotte im halbertechnischen Maßstab wurde Methan hauptsächlich während der Hauptrotte mit durchschnittlich 683 g CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup> gebildet. Mit der Verfahrenstechnik des Tunnelreaktors betrug die Verringerung der CH<sub>4</sub>-Emission das 1,5 – 5,5-fache derjenigen aus offenen Dreiecksmieten (Leinemann, 1998).

Durch das Umsetzen wird das Material gelockert und Sauerstoff in das Material eingebracht. Die Folge ist eine erhöhte Aktivität aerober Prozesse. Dadurch wird die Aktivität der strikt anaeroben Methanbildner stark reduziert. Auch wenn in der Intensivrotte nach dem Umsetzen der Mieten bereits nach wenigen Minuten das eingebrachte O<sub>2</sub> wieder veratmet ist und nach Korner (1990) anaerobe Verhältnisse wieder hergestellt sind, werden die strikt anaeroben Methanbildner doch immer wieder kurzzeitig aeroben Verhältnissen ausgesetzt und damit gehemmt (Hellmann, 1995). Darauf kann eine optimale Reduktion der Methanemissionen bei täglichem Umsetzen zurückzuführen sein (vgl. Umkehreffekt bei der N<sub>2</sub>O-Bildung).



**Abbildung 7-15: Kumulierte CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Bioabfall (berechnet aus Hellmann, 1995)**

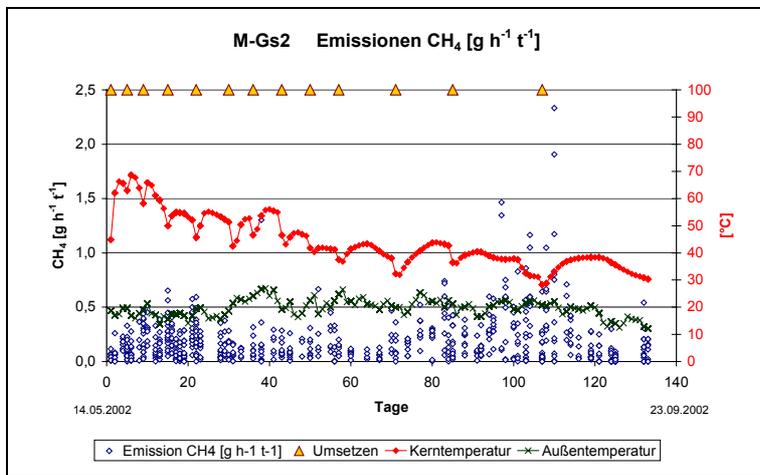
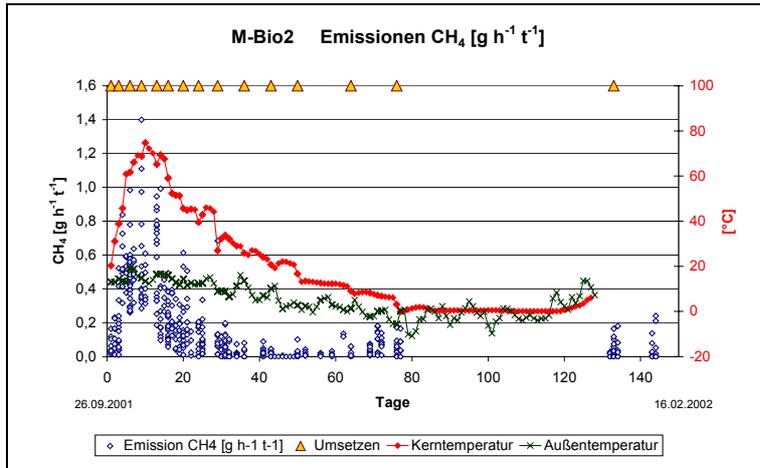


**Abbildung 7-16: Kumulierte CH<sub>4</sub>-Emissionen während der Bioabfallkompostierung mit verschiedenen Strukturanteilen (Hellmann, 1995)**

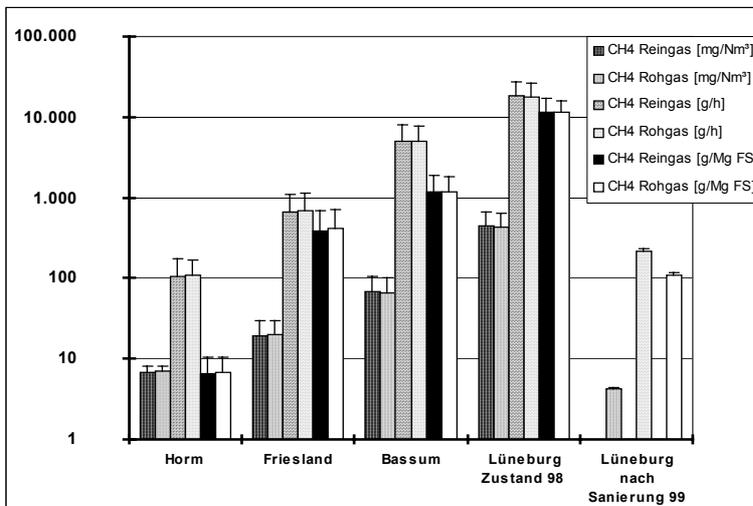
Material mehrfach einfrore und auftaute, sind die Ergebnisse jedoch nur eingeschränkt aussagekräftig.

Unabhängig vom Umsetzintervall lag die Hauptbildungsphase von CH<sub>4</sub> während der ersten 20 Rottetage. In der restlichen Zeit fand nur noch eine geringfügige CH<sub>4</sub>-Bildung statt. Dagegen stiegen die N<sub>2</sub>O-Emissionen erst nach 20 Tagen stark an (Bild BH1). Dies könnte durch sinkende Temperaturen (d.h. nach Abklingen der thermophilen Phase) und verringerte C/N-Verhältnisse bedingt sein. Einen analogen Emissionsverlauf fanden Hellebrand & Kalk (2000) bei der Stallmistkompostierung. Erst als die CH<sub>4</sub>-Emissionen abnahmen, stiegen die N<sub>2</sub>O-Emissionen an.

Bei Bioabfall kann durch die Variation des Grüngutanteiles die Substratstruktur verändert werden. Ein hoher Grüngutanteil erhöht den Strukturanteil und verbessert die Permeabilität des Substrates für Gase. Dadurch kann ein erhöhter Gastransport sichergestellt werden (Sauerstoffzufuhr, aber auch Gasaustritt). In den Untersuchungen von Hellmann (1995) konnten die CH<sub>4</sub>-Emissionen durch einen erhöhten Strukturanteil reduziert werden (Abbildung 7-16). Dagegen traten gleichzeitig N<sub>2</sub>O-Emissionen im ganzen Spektrum auf, mit Ausnahme der Variante mit 80 % Grüngutanteil, bei der die Emissionen am geringsten waren (Abbildung 7-22). Da während der Untersuchungen, die im Winter stattfanden, das



**Abbildung 7-17: CH<sub>4</sub>-Emissionen in 3 bis 7-tägig umgesetzten offenen Mieten.** Stundenmittelwerte pro Tonne FM Input-Material [ $\text{g h}^{-1} \text{t}^{-1}$ ]; M-Bio2 ... Biotonnenkompost; M-GS2 ... Grünschnittkompost. (Amlinger & Peyr, 2003)



**Abbildung 7-18: CH<sub>4</sub>-Emissionskonzentrationen [ $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ]; CH<sub>4</sub>-Emissionsmassenströme [ $\text{g}/\text{h}$ ]; CH<sub>4</sub>-Emissionsfaktoren [ $\text{g t}^{-1} \text{FM}$ ], alle mit Standardabweichung**

Abbildung 7-17 zeigt typische Emissionsraten für CH<sub>4</sub> für offene Mietenrotten (M-Bio2 ... Biotonnenkompost; M-GS2 ... Grünschnittkompost) bei einer Umsetzfrequenz von 3 bis 7 Tagen. Ein ausgeprägter Zusammenhang zwischen Abbauintensität (Temperatur) und Methanemission ist nur bei der starken Dynamik der Biotonnenmiete festzustellen. Bei gleichförmigen Rotten, wie bei der langsam verlaufenden Grünschnittrotte zeigt sich eine gleichmäßige Methanbildung auf niedrigem Niveau über die gesamte Kompostierungsperiode.

Im Vergleich dazu emittierten MBA im Reingas stündlich 100 (Horm) bis 18.000  $\text{g CH}_4$  vor bzw. 210  $\text{g CH}_4$  nach Sanierung (Lüneburg), wobei der Emissionsfaktor zwischen 6 (Horm) und 12.000  $\text{g vor bzw. 110 g CH}_4 \text{ t}^{-1} \text{FM}$  nach Sanierung (Lüneburg) betrug (Abbildung 7-18). Durch die Sanierung des Belüftungsboden konnte in Lüneburg eindrucksvoll belegt werden, dass durch eine optimierte Belüftung eine sehr niedrige Methanbildung erzielt werden kann.

Wie bereits erwähnt müssen jedoch die divergierenden Untersuchungs- und Rottezeiten für die Interpretation der Emissionsfaktoren berücksichtigt werden (Horm: 6-7 Tage; Lüneburg: 16 Wochen!!!).

### 7.6.2.3 Lachgas (N<sub>2</sub>O)

Die Höhe der emittierten N<sub>2</sub>O-Mengen hängt sehr stark vom Sauerstoffangebot, der O<sub>2</sub>-Verteilung und von der Temperatur in der Kompostmiete ab. Neben dem Sauerstoff als Regulativ ist die Verfügbarkeit von Reduktionsäquivalenten bei der Bildung von N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> ausschlaggebend (Schartel et al., 1997[SP195]). So kann es bei Vorhandensein von Nitrat und bei Sauerstoffmangel spontan zu N<sub>2</sub>O-Bildung kommen.

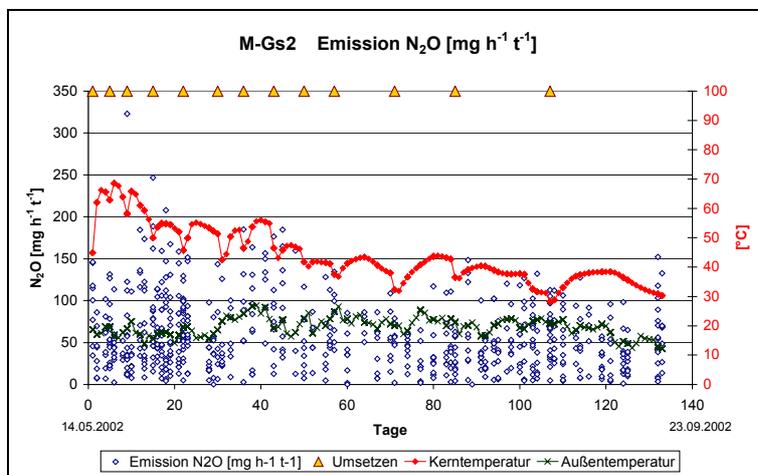
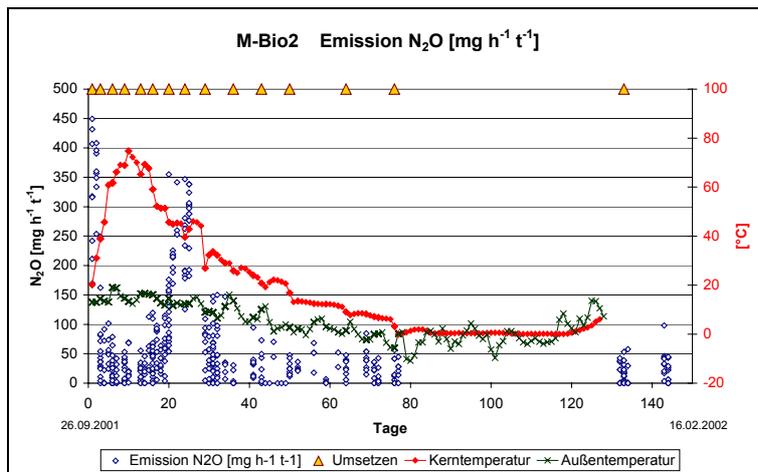
Die N<sub>2</sub>O-Bildung wird als Leckstrom im Nitrifikations- bzw. Denitrifikationsprozess angesehen. So wird bei ungünstigen Bedingungen für den Substratabbau die Oxidation von Ammonium zu Nitrat (Nitrifikation) bzw. die Reduktion von Nitrat zu molekularem Stickstoff (Denitrifikation) nur unvollständig durchgeführt; in beiden Fällen wird das Zwischenprodukt N<sub>2</sub>O freigesetzt (Firestone & Davidson, 1989 [SP196]zit. nach Hellmann, 1995).

Hellmann (1995) untersuchte Anlagen mit unregelmäßiger offener Mietenkompostierung und bilanzierte die Emissionen in Größenordnungen von 150 bis 180 g N<sub>2</sub>O t<sup>-1</sup> FM.

Aus den Ergebnissen von Gronauer et al. (1997) aus einer geschlossenen Anlage mit belüfteter Tafelmietenkompostierung resultieren 120 g N<sub>2</sub>O t<sup>-1</sup> im Rohgas und 140 g N<sub>2</sub>O t<sup>-1</sup> im Reingas nach Biofilter.

Leinemann (1998) beschreibt anhand von Versuchen in einer Tunnelrotte im halbertechnischen Maßstab einen starken Einfluss der NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Gehalte auf die Bildung von N<sub>2</sub>O. Insgesamt ergab sich eine Zunahme der N<sub>2</sub>O-Emissionen von 10 auf 62 g N<sub>2</sub>O t<sup>-1</sup> mit steigender Ammoniumkonzentration (von 88 auf 970 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/kg). Mit der Verfahrenstechnik des Tunnelreaktors betrug die Verringerung der N<sub>2</sub>O-Emission das 3 – 30-fache derjenigen aus offenen Dreiecksmieten (Leinemann, 1998).

In den Ergebnissen von Amlinger & Peyr (2003) wurde die weitaus größte Fracht an Lachgas von den Klärschlammieten produziert (165 bzw. 266 g t<sup>-1</sup> FM). Gründe hierfür sind in einem Überschuss an löslichem Ammonium-Stickstoff bzw. im relativ hohen Gehalt an Nitrat und organischem Stickstoff und bei beiden in einem für ein Ausgangsmaterial für die Kompostierung viel zu engen C/N-Verhältnis zu suchen. Die Bio und Grünschnittkomposte emittierten 27 bis 116 (Bio) bzw. 25 bis 178 g N<sub>2</sub>O t<sup>-1</sup> FM.



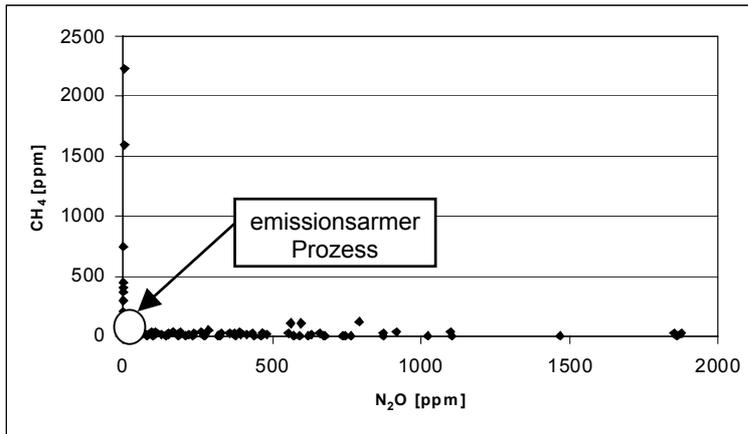
**Abbildung 7-19: N<sub>2</sub>O-Emissionen in 3 bis 7-tägig umgesetzten offenen Mieten.** Stundenmittelwerte pro Tonne FM Input-Material [ $g\ h^{-1}\ t^{-1}$ ]; M-Bio2 ... Biotonnenkompost; M-GS2 ... Grünschnittkompost. (Amlinger & Peyr, 2003)

Wachstum benötigt. Somit kann wenig Stickstoff gasförmig entweichen. Dennoch gebildetes Nitrat wird im Mietenkörper aufgrund der geringen Sauerstoffverfügbarkeit und hohen Konzentration an leicht verfügbarem Kohlenstoff während der Intensivrotte fast vollständig zu elementarem Stickstoff reduziert. Verringert sich der Gehalt an leicht verfügbarem Kohlenstoff, zB nach der Intensivrotte, reduziert sich auch die mikrobielle Aktivität. Der vorliegende mineralische Stickstoff und der zusätzlich aus der organischen Substanz freigesetzte Stickstoff wird nun nicht mehr in gleichem Maße für die mikrobielle Biomasse benötigt. Die Folge können gasförmige Verluste in Form von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) oder Lachgas sein, wenn der Ammonium-Stickstoff über Nitrit zu Nitrat nitrifiziert wird. Bei C/N-Verhältnissen < 17 wurden je nach Ausgangssubstrat erhöhte N<sub>2</sub>O-Emissionen gefunden (zB Schiessl, 1995; Tollknäpper, 1996).

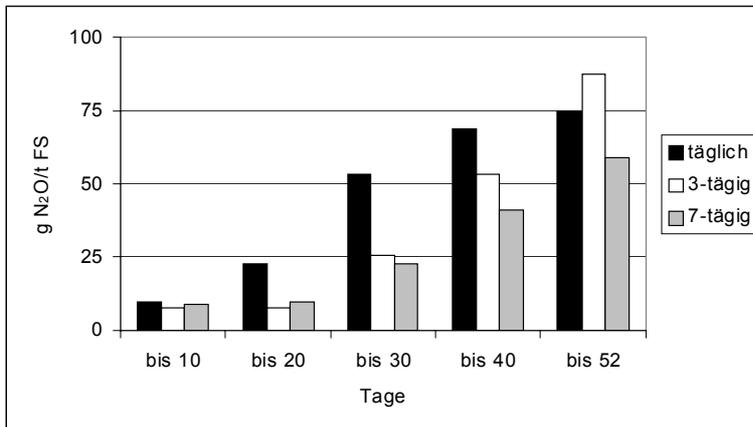
In den Bioabfallmieten zeigt der Verlauf der Lachgasbildung einen tendenziell gegenläufigen Trend zur Methanemission. Während der höchsten Umsetzungsraten im thermophilen Bereich geht die N<sub>2</sub>O-Emissionen tendenziell zurück. Bei genügend N-Angebot zeigten sich die höchsten N<sub>2</sub>O Emissionsraten unter 40/45 °C.

Die CH<sub>4</sub>-Bildung kann im ganzen Temperaturspektrum stattfinden, insbesondere auch während der thermophilen Phase der Intensivrotte (Reinhard et al., 1994). Dagegen finden N<sub>2</sub>O-Emissionen erst bei Temperaturen < 60 °C, i.d.R. < 50 °C statt (Schießl 1995; Tollknäpper 1996, Hellmann, 1995; Hao, 2001). Leinemann (1998) stellte die höchsten Konzentrationen an N<sub>2</sub>O bei 30 °C Mietentemperatur fest. Erhöhte N<sub>2</sub>O-Emissionen finden in der zweiten mesophilen Phase statt, d.h. nachdem ein starker Kohlenstoffabbau stattgefunden hat.

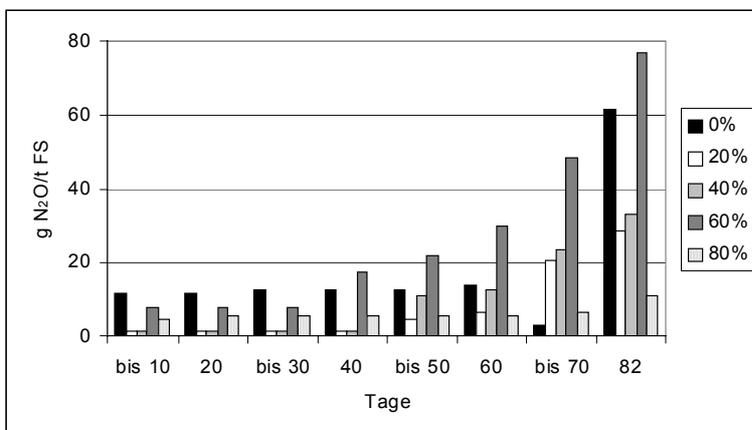
Bei der Kompostierung von ausschließlich biogenen Stoffen zeigte sich ein Zusammenhang zwischen dem C/N-Verhältnis und auftretenden N<sub>2</sub>O-Emissionen (siehe Ergebnisse mit Klärschlammkomposten oben). Bei einem hohen C/N-Verhältnis (> 25) wird der durch den mikrobiellen Abbau der Biomasse freiwerdende Stickstoff, der in Form von Ammonium vorliegt (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), für das mikrobielle



**Abbildung 7-20: Zusammenhang zwischen CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Konzentrationen in Bereichen von Rottemieten (Cuhls, 2001)**



**Abbildung 7-21: Kumulierte N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Bioabfall-Mietenkompostierung bei unterschiedlichen Umsetzintervallen (berechnet aus Hellmann, 1995)**



**Abbildung 7-22: Kumulierte N<sub>2</sub>O-Emissionen während der Bioabfallkompostierung mit verschiedenen Strukturanteilen (Hellmann, 1995)**

Das konkurrierende Verhalten der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Bildung wird anhand von Ergebnissen deutlich, die in lokalen Zonen in Rottemieten gemessen wurden (Cuhls, 2001). Es fällt auf, dass in Zonen mit hoher CH<sub>4</sub>-Konzentration die N<sub>2</sub>O-Konzentration immer niedrig ist. In einer Mischabluft ist dieser Zusammenhang eher zufällig, weil sich unterschiedliche Zonen überlagern. Eine emissionsminimierte Prozessführung sollte sich daher im Bereich des Bildursprungs befinden (siehe Kreis).

Nach Hellmann (1995) waren bei täglichem Umsetzen die N<sub>2</sub>O-Emissionen am höchsten (Abbildung 7-21). Der in die Miete eingebrachte Sauerstoff bewirkte wahrscheinlich einen kurzfristigen Nitrifikationsschub. Nachdem der Sauerstoff verbraucht war, wurde das gebildete Nitrat aufgrund der nun wieder herrschenden anoxischen Bedingungen im Rahmen der Denitrifikation nicht bis zu elementarem Stickstoff sondern nur bis zu N<sub>2</sub>O umgesetzt. Wahrscheinlich durch den verringerten Sauerstoffeintrag waren die N<sub>2</sub>O-Emissionen durch 7-tägiges bzw. 3-tägiges Umsetzen niedriger als bei täglichem Umsetzen.

Hellebrandt (1993) schätzte die Freisetzung von N<sub>2</sub>O aus Kompostmieten auf ca. 8 g N<sub>2</sub>O t<sup>-1</sup> FM.

Nach Czepiel et al. (1996) betragen die durchschnittlichen N<sub>2</sub>O-Emissionen 150 bis 220 g N<sub>2</sub>O t<sup>-1</sup> FM. Dabei wurden keine Unterschiede nach der Art der Kompostierung gemacht.

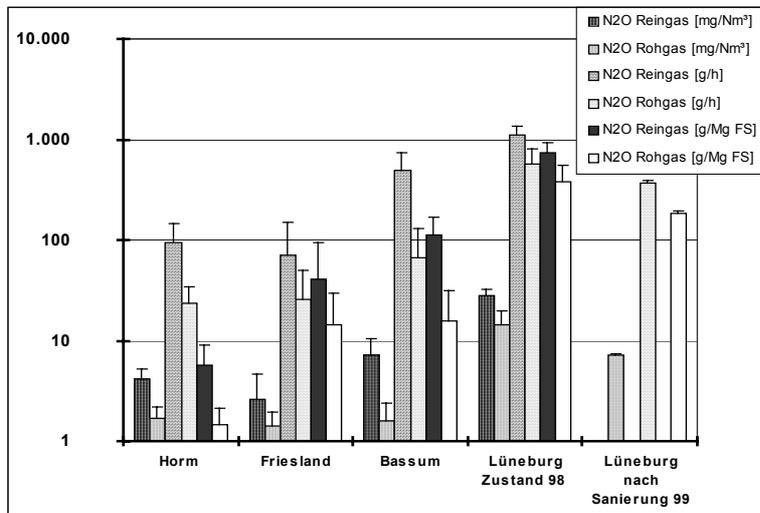


Abbildung 7-23: N<sub>2</sub>O-Emissionskonzentrationen [mg/Nm<sup>3</sup>]; N<sub>2</sub>O-Emissionsmassentrom [g/h]; N<sub>2</sub>O-Emissionsfaktor [g t<sup>-1</sup> FM], jeweils mit Standardabweichung

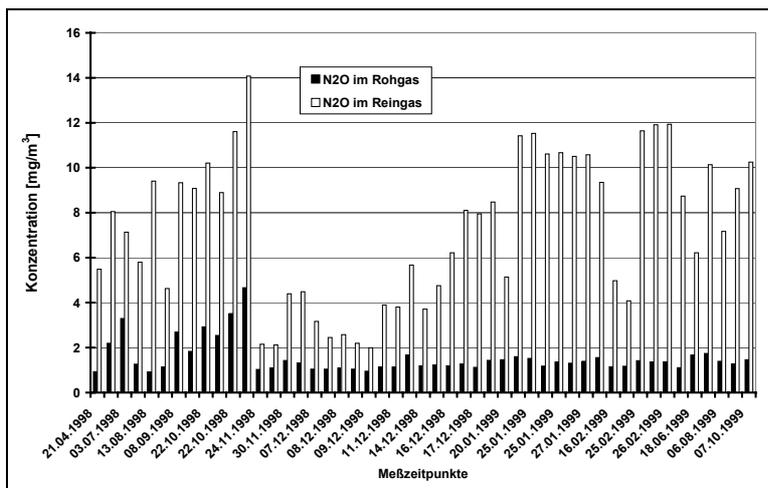


Abbildung 7-24: N<sub>2</sub>O-Gehalte im Roh- und Reingas der RABA Bassum (zeitgleiche Messpaare)

gungen des VOC-Abbaus durch Akkumulation von Stickstoffverbindungen sowie eine Lachgasbildung im Biofilter ausgeschlossen. Als geeignete Bemessungsgrundlage für Biofilter könnte das C/N-Verhältnis des Rohgases (C aus NMVOC / N aus NH<sub>3</sub>+org.N) dienen.

Im Vergleich dazu emittierten MBA im Reingas nach Biofilter stündlich 68 (Horm) bis 1.100 g N<sub>2</sub>O t<sup>-1</sup> FM (Lüneburg, Abbildung 7-23), wobei der Emissionsfaktor zwischen 5 (Horm, nur 6-7 Tage !!!) und 745 g (Lüneburg, 16 Wochen Behandlungsdauer in Rottehalle) N<sub>2</sub>O t<sup>-1</sup> FM betrug.

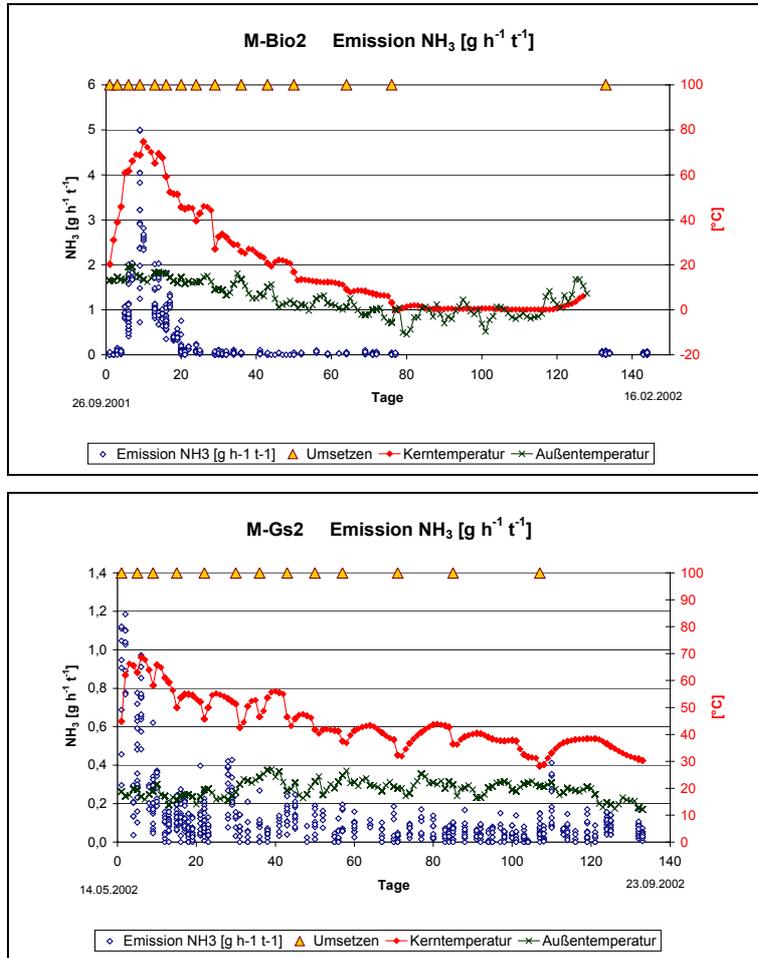
Es zeigt sich, dass im Vergleich zum Rohgas die Emissionskonzentrationen im Reingas um den Faktor 2 bis 10 höher liegen, also im Biofilter zusätzliches Lachgas gebildet wird.

Zusätzlich zu der Rohgasfracht an N<sub>2</sub>O wird im Biofilter N<sub>2</sub>O produziert, wodurch die Reingasfrachten ansteigen. Die durchgehend aeroben Bedingungen im Biofilter legen nahe, dass die N<sub>2</sub>O-Bildung durch die mikrobielle Oxidation von NH<sub>4</sub><sup>+</sup> zu NO<sub>2</sub><sup>-</sup> überwiegen dürfte. Ein eindrückliches Beispiel ist aus einer Messreihe im Roh- und Reingas an der MBA Bassum dargestellt (Abbildung 7-24).

Die kompliziert miteinander verknüpften Prozesse der Stickstoffumsetzungen dürfen nicht isoliert voneinander betrachtet werden. Hier bedarf es intensiver F&E-Arbeiten hinsichtlich Prozessaufklärung der Stickstoffumsetzungen.

Unabhängig davon sind für den praktischen Betrieb von MBA Maßnahmen zu ergreifen, die eine weitgehende Abtrennung des NH<sub>3</sub> vor dem Biofilter gewährleisten. Dadurch werden Schädigungen und Beeinträchtigungen

### 7.6.2.4 Ammoniak (NH<sub>3</sub>)



**Abbildung 7-25: NH<sub>3</sub>-Emissionen in 3 bis 7-tägig umgesetzt offenen Mieten. Stundenmittelwerte pro Tonne FM Input-Material [g h<sup>-1</sup> t<sup>-1</sup>]; M-Bio2 ... Biotonnenkompost; M-GS2 ... Grünschnittkompost. (Amlinger & Peyr, 2003)**

Ammoniak wird teilweise bis fast vollständig in Biofiltern sorbiert und eliminiert. Nach einer Untersuchung von Cuhls (2001) wird das in Biofiltern abgebaute NH<sub>3</sub> vollständig zu N<sub>2</sub>O und NO oxidiert (Abbildung 7-26). Im Rohgas konnten dagegen keine signifikanten NO-Konzentrationen nachgewiesen werden. NO wird demnach ausschließlich im Biofilter – in Summe jedoch in vernachlässigbaren Mengen – gebildet.

Ein Anstieg des pH-Wertes, der Temperatur oder der Belüftung vermehrt die NH<sub>3</sub>-Emissionen, bei hohen C/N-Verhältnissen sinken die NH<sub>3</sub>-Emissionen. Aus vorliegenden Untersuchungen schwanken die NH<sub>3</sub>-Ablufffrachten in Abhängigkeit vom Stickstoffgehalt im Inputmaterial zwischen 500 und 1.700 g t<sup>-1</sup>. Hellebrand und Kalk (2000) nennen für die Stallmistkompostierung einen Stickstoffverlust in Form von NH<sub>3</sub> von 5,2% des Stickstoffgehaltes im Ausgangsmaterial.

Die gasförmigen Stickstoffverluste in der Bio- und Grünschnittkompostierung liegen nach Amlinger & Peyr (2003) bei 0,4 bis 9 % des Ausgangs-N-Gehaltes. 73 bis 93 % der N-Emission erfolgen über NH<sub>3</sub> und nur 7 bis 27 % als N<sub>2</sub>O. Bei den untersuchten Klärschlammieten, die ein extrem enges C/N-Verhältnis aufwiesen und eine geringe Abbauleistung erbrachten, war die Situation genau entgegengesetzt.

In diesen Untersuchungen traten die höchsten NH<sub>3</sub> Emissionen zu Beginn der Rotte auf. Insbesondere in der Bioabfallmiete nahmen die Emissionsraten mit raschem Abbau und zugleich sinkenden Temperaturen rapide ab. Im Gegensatz zu N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub> bildete sich nach 140 Tagen auch bei wieder ansteigenden Außentemperaturen kein NH<sub>3</sub>.

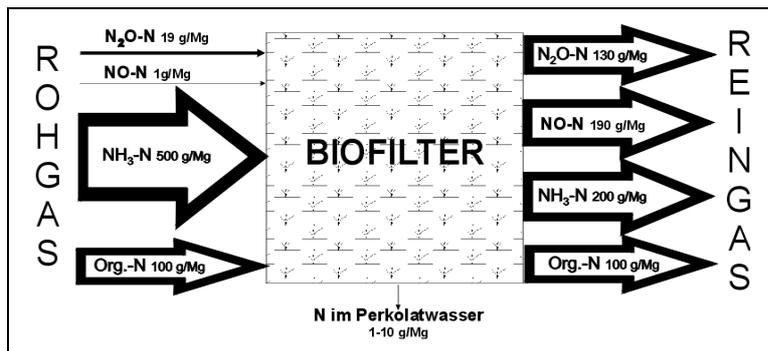


Abbildung 7-26: Stickstoffbilanz eines Biofilters in der Abluft einer biologischen Abfallbehandlungsanlage (Cuhls, 2001)

Trimborn et al. (2003) kommen zu dem Ergebnis, dass unabhängig von der Höhe der  $NH_3$ -Zufuhr mit dem Rohgas ca. 29% des abgebauten  $NH_3$  zu  $N_2O$  und ca. 9% zu  $NO$  umgewandelt werden. In ähnlichen Untersuchungen stellen Hahne & Brandes (2002[DFA197]) fest, dass an Biofiltern für die Reinigung von Stallabluft 32% des eingetragenen gebundenen Stickstoffs als gasförmige Emissionen freigesetzt werden.

### 7.6.2.5 Zusammenfassender Überblick zu den Emissionsfaktoren aus der Kompostierung

**Tabelle 7-35: Zusammenstellung der Emissionsfaktoren bezogen auf eine Tonne Frischmasse der eingesetzten Ausgangsmaterialien aus verschiedenen Untersuchungsprogrammen**

<b>Bezug: Frischmasse</b>		<b>CO<sub>2</sub></b> [kg t <sup>-1</sup> FM]	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>NH<sub>3</sub></b> [g t <sup>-1</sup> FM]	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Äqu</b> [kg t <sup>-1</sup> FM]	<b>Versuchsdauer</b>
<b>M-Bio1<sup>+</sup></b> <b>M-Bio2</b> <b>M-Gs1</b> <b>M-Gs2</b> <b>M-Ks1</b> <b>M-Ks2</b> Eigene Untersuchungen (Amin-ger & Peyr., 2003)		43	293	52	27	14,4	9 Wochen
		115	243	576	116	41,2	12 Wochen
		118	49	25	25	8,6	4 Wochen
		194	604	354	178	67,9	21 Wochen
		10	37	25	266	83,3	4 Wochen
		25	45	19	165	52,0	7 Wochen
<b>Mistkompost</b> Amon et al. (1998[S198])	1	---	142	643	34	13,8	17.06. – 05.09.96
	2	---	692	303	47	36,4	13.03. – 05.06.97 (kühler, feuchter)
<b>Stapelmist</b> Amon et al. (1998[S199])	1	---	1354	163	52	60,9	17.06. – 05.09.96
	2	---	512	46	80	38,6	13.03. – 05.06.97 (kühler, feuchter)
<b>belüftete Tafelmiete, Halle Rohgas</b> Gronauer et al. (1997)		173	1840	670	120	75,6	Techn. Anlage, 54 Messungen, H: 1,8 m
<b>Mietenkompostierung</b> Hellmann, (1995) <b>Umsetzrhythmus:</b>		150 - 230	880-1400	---	150-180	65,0-85,2	min.-max. Werte H: 1,2-1,5 m
tägl. (40:60; Bio:GS)		383	266	---	195	66,0	7,5 Wochen
3-tägig (40:60; Bio:GS)		378	628	---	232	85,2	
7-tägig (40:60; Bio:GS)		373	863	---	158	67,2	
3-tägig (40:60; Bio:GS)		317	360	---	120	44,8	11,5 Wochen
3-wöchig (40:60; Bio:GS)		277	933	---	78	43,7	
3-tägig (100:0; Bio:GS)		256	237	---	150	51,5	12,5 Wochen
3-tägig (80:20; Bio:GS)		134	514	---	67	31,5	
3-tägig (60:40; Bio:GS)		168	146	---	78	27,2	
3-tägig (40:60; Bio:GS)		235	63	---	172	54,6	
3-tägig (20:80; Bio:GS)		212	129	---	22	9,5	
<b>10 m<sup>3</sup> Tunnelreaktor</b> Leinemann, (1988)		---	683	---	62	33,6	Rohgas
<b>MBA Durchschnitt, Rohgas</b>		120-185	110-1200	400-1600	50-200	17,8-87,2	Sehr unterschiedliche Rottezeiten

+ durch die lineare Interpolation der Messpause zwischen der 6. und 9. Woche sind die aufsummierten Emissionswerte mit einem entsprechenden Unsicherheitsfaktor behaftet.

M-Bio1 / 2 ... offene Mietenkompostierung Biotonne; M-Gs1 / 2 ... offene Mietenkompostierung Grünschnitt; M-Ks1 / 2 ... offene Mietenkompostierung Klärschlamm mit Strukturgut

### 7.6.2.6 Bedeutung der klimarelevanten Gasemissionen durch die Kompostierung vor dem Hintergrund des nationalen Treibhausgaspotenzials

In Tabelle 7-36 ist der relative Beitrag der untersuchten Kompostierungsverfahren am Gesamt-Emissionspotenzial der anthropogen verursachten Treibhausgase und von Ammoniak in Österreich und Deutschland auf Basis von eigenen Untersuchungen und von Literaturangaben abgeschätzt. Dabei ist für Österreich die Bandbreite für das Kompostierungssystem offene Mietenkompostierung anhand der geringsten (*Min*) und höchsten (*Max*) Emissionsfaktoren dargestellt. In Österreich ist zusätzlich zu bedenken, dass ein Gesamtpotenzial von ca. 250.000 t Klärschlammkompostierung (Gesamtmasse Input in die Kompostausgangsmischung mit 40 % (v/v) Klärschlamm bei 30 % TM und 60 % Strukturgut) berücksichtigt wurde. Dies führt zu etwas höheren Anteilen der Lachgasemissionen. In den deutschen Werten gehen auch Ergebnisse aus geschlossenen Rottesystemen ein. In Tabelle 7-37 und Tabelle 7-38 sind die verwendeten Grundlagendaten zusammengestellt und für Deutschland die CO<sub>2</sub>-Äqu. für die einzelnen Gase berechnet.

**Tabelle 7-36: Kalkulatorischer relativer Anteil der klimarelevanten Gasemissionen aus der Kompostierung am nationalen Gesamtpotenzial**

		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> -Äqu
<b>ANNAHMEN</b>		<b>in [%] der nationalen Gesamtemissionen</b>				
<b>EIGENE UNTERSUCHUNGEN FÜR ÖSTERREICH</b>						
Mieten	Gesamter <b>Bio- u. Grünabfall</b> , sowie realistischer <b>Klärschlammanteil</b> über offene Mietenkompostierung verarbeitet (1.050.680 t Input)	0,06 – 0,25	0,01 – 0,11	0,03 – 0,47	0,87 – 2,71	0,03 – 0,06
<b>EIGENE UNTERSUCHUNGEN FÜR DEUTSCHLAND</b>						
Bio- und Grünabfall	6.800.000 t Input <b>Bio- u. Grünabfall</b> in Kompostwerken	0,12 – 0,20	0,12 – 0,24	0,11 – 0,69	0,070 – 0,62	0,01 – 0,05
<b>LITERATURWERTE</b>						
Hellmann (1995) und Gronauer et al. (1997[p200])	<b>Deutschland</b> ; Annahme – gesamter <b>Bioabfall</b> wird erfasst		0,31 – 0,44	1,40	1,80 – 2,40	
Clemens et al. (1999 [DFA201])	<b>MBA Deutschland</b> (Prognose 2005 mit 18 Mio. t Restabfall a <sup>-1</sup> )	0,20 – 0,30	0,10 – 3,00		0,30 – 5,00	
Edelmann, W., Schleiss, K. (1999):	<b>Schweiz</b> 1 Mio. t <b>Bioabfälle</b> Unter optimierten Bedingungen bei 3 % Methan an gasförmig emittierten Kohlenstoffverbindungen		1,0			0,001 (ohne N <sub>2</sub> O)

**Tabelle 7-37: Emissionen klimarelevanter Gase, von Ammoniak sowie Umrechnung auf CO<sub>2</sub>-Äqu. in Deutschland und Österreich**

Gas	Einzelgas	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	Einzelgas	CO <sub>2</sub> -Äquivalent
	Deutschland [Tonnen]****		Österreich [Tonnen]***	
CO <sub>2</sub> (ohne LUCF)*	857.907.000	857.907.000	65.778.000	65.778.000
CH <sub>4</sub>	2.885.000	60.583.000	454.000	9.541.000
N <sub>2</sub> O	194.000	60.079.000	7.350	2.279.000
<b>Summe klimarelevante Gase</b>		<b>978.569.000</b>		<b>77.598.000</b>
NH <sub>3</sub>	<b>598.000</b>		<b>98.600 **</b>	

\* "Land-Use Change and Forestry" = nicht klimarelevant

\*\* Knoflacher et al. (1990) [p202]: Diese Abschätzung beinhaltet folgende Teilquellen:  
Tierhaltung: 67,3 kt; mineralischer N-Dünger: 10,4 kt; stationäre Verbrennung: 0,4 kt; Industrie: 4,7 kt; Verkehr: 1,0 kt; Haushalt/Abfälle/Abwasser: 7,1 kt; natürliche Quellen: 7,7 kt

\*\*\* Ritter (2000[p203]): Werte von 1999

\*\*\*\* Treibhausgas-Monitoring-Bericht 2001, Umweltbundesamt (D): Werte von 2000

**Tabelle 7-38: Grundlegenden Daten und CO<sub>2</sub>-Äqu. für die einzelnen Gase in Deutschland (2000)**

Gase	Emissionsfaktor in kg t <sup>-1</sup> FM	Jahresemission aus Kompostierung in D* in t a <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> -Äquivalent in t a <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> -Äquivalent in [%] der nationalen Gesamtmissionen
CO <sub>2</sub>	150 - 250	1.020.000 – 1.700.000	1.020.000 – 1.700.000	0,12 – 0,20
CH <sub>4</sub>	0,5 – 1,0	3.400 – 6.800	71.400 – 143.000	0,12 – 0,24
NH <sub>3</sub>	0,1 – 0,6 **	680 – 4.100	-	(0,11 – 0,69)***
N <sub>2</sub> O	0,02 – 0,18	136 – 1.200	42.200 – 372.000	0,070 – 0,62

\* 6,8 Mio t a<sup>-1</sup> Input FM (4,1 Mio t Bioabfall und 2,7 Mio t Grünabfall) nach Fricke & Turk (2000)

\*\* im Reingas (für den Anteil geschlossener Anlagen)

\*\*\* in % bezogen auf die nationale Gesamtemission von 598.000 t NH<sub>3</sub>

Betrachtet man nun die Berechnungen für den Anteil der Kompostierung am Treibhauseffekt mit einer Bandbreite in beiden Ländern von 0,03 bis 0,06 % des CO<sub>2</sub>-Äqu., so kann man - unabhängig vom Kompostierungsverfahren - von einem verschwindend kleinen Beitrag sprechen.

Das bedeutet jedoch nicht, dass Optimierungsmaßnahmen in sämtlichen Kompostierungsverfahren als Stand der Technik zu fordern sind.

### 7.6.3 Schlussfolgerungen und Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen und NH<sub>3</sub>

Während der biologischen Behandlung von Bio- und Grünabfällen beeinflussen folgende Rahmenbedingungen die Emissionen klimarelevanter und anderer Schadgase:

- Umsetzintervall, bzw. Belüftungssteuerung
- Strukturanteil und homogene Materialmischung
- Wassergehalt und homogene Feuchtigkeitsverteilung im Rottekörper
- Temperatur sowie
- C/N-Verhältnis.

Die Bildung der Treibhausgase CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O sowie CO<sub>2</sub> hängt ganz wesentlich vom C- und N-Gehalt im Inputmaterial sowie den Prozessbedingungen ab. Wie die Untersuchungsergebnisse deutlich zeigen, wird durch ein geschlossenes Rotteverfahren mit Abluftreinigung in Biofiltern grundsätzlich keine Reduktion der Emission der beiden wesentlichen klimarelevanten Gase CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O erreicht. Die Einhausung als Maßnahme zur Treibhausgasreduktion ist daher nicht zu rechtfertigen.

Leider findet ähnlich wie beim Biofilter in der Regenerativ Thermischen Oxidation (RTO) keine Minderung des Lachgases statt. Es wird vielmehr zusätzlich zum vorhandenen Lachgas erheblich mehr Lachgas durch die Oxidation des Ammoniaks gebildet.

Was die Emissionen von  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  aus der Kompostierung betrifft, ist daher das Verfahren „offene Dreiecksmietenkompostierung“ nicht schlechter einzustufen als das Verfahren mit „geschlossener Tafelmietenkompostierung mit Belüftung“ (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Gronauer et al., 1997).

Wichtiger im Rahmen der Emissionsminderung ist neben der Ausgangsmischung vielmehr die ordnungsgemäße Prozessführung (homogene Sauerstoffversorgung und Feuchte). Als Vergleichsmaßstab hat jedenfalls zu gelten, dass für jedes Verfahren der Prozess nach dem Stand der Technik optimiert zu gestalten ist.

Die Schwankungsbreiten der Emissionshöhen sind groß und können nur Anhaltswerte darstellen.

- **$\text{CO}_2$**  kann in einem Bereich von 120 bis 250  $\text{kg t}^{-1}$  erwartet werden. Da es natürlichen Ursprungs ist wird es auf das klimawirksame Erwärmungspotenzial nicht angerechnet.
- Die Emissionsfracht für  **$\text{CH}_4$**  kann zwischen 100 (günstig) 250 bis 800 (realistisch) und  $> 1000$  bis 2.000  $\text{g t}^{-1}$  (ungünstig) liegen. Die Abreinigung von Methan im Biofilter ist mit nur ca. 5 % bis 15 % sehr gering. Der Anteil der potenziellen Methanemission durch Kompostierung an der Österreichischen Gesamtemission ist mit 0,1 % sehr gering.
- Die Frachten von  **$\text{N}_2\text{O}$**  sind stark vom C/N-Verhältnis abhängig. Die Bildung erfolgt insbesondere in späten Rottephasen bei Temperaturen um 30 °C. Im Erwartungsbereich liegen 20 bis 180  $\text{g t}^{-1}$ , unter ungünstigen Bedingungen auch darüber. Wie erwähnt ergeben sich zusätzliche Frachten durch Umsetzungen von  $\text{NH}_3$  im Biofilter. Einmal gebildetes  $\text{N}_2\text{O}$  wird im Biofilter nicht mehr abgebaut. Der Anteil an der Gesamt-Lachgasemission kann mit  $< 1 - 3$  % angegeben werden.
- Die  **$\text{NH}_3$**  Frachten können ca. mit 500 bis 600  $\text{g t}^{-1}$  angegeben werden. Der Anteil der Kompostierung an der nationalen  $\text{NH}_3$ -Emission beträgt ca. 0,5 % bis 1 % (je nach getroffenen Annahmen für die Gesamtemissionsdaten)

### 7.6.3.1 Spezifische Maßnahmen zur Prozessoptimierung für einen emissionsarmen Betrieb

#### **Grundsätzliche Anforderungen an das Inputmaterial**

- **C/N-Verhältnis:** Bei einem niedrigen C/N-Verhältnis steigen die  $\text{NH}_3$ -Emissionen bei zugleich hohen Rottetemperaturen und hohen Belüftungsraten. Ein C/N-Verhältnis  $> 25$  minimiert die  $\text{NH}_3$ - und  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen, andererseits kann ab einem C/N-Verhältnis  $> 35$  der verfügbare Stickstoff bereits ins Minimum gelangen und somit der Rotteprozess deutlich verzögert werden.  
N-reiche Materialien (Klärschlamm, Gärrückstände, spezifische Gewerbeabfälle, Küchenabfälle, Hühnermist, Biotonne mit ca.  $> 30$  % Küchenabfällen) sind daher ausreichend mit kohlenstoffreichen Materialien homogen abzumischen.
- **Wassergehalt:** Zu Beginn bis maximal 65/70%, im Prozess sollten 50 bis 60 % aufrecht erhalten werden.
- **Strukturmaterial (Erhaltung des erforderlichen luftführenden Porenvolumens):** Der Anteil an strukturbildenden Materialien (Schreddergut, Siebüberlauf etc.) sollte ca. 40 bis 60 % (v/v) betragen.
- Zur zügigen Einleitung der Huminstoffbildung und dem **Einbau flüchtiger Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen:** Zumischung von ca. 5 – 10 % (v/v) Alt-Kompost.

**Tabelle 7-39: Spezielle Optimierungsmaßnahmen in der offenen Mietenrotte mit passiver Belüftung:**

Maßnahme	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub> *	N <sub>2</sub> O
<b>Strukturmaterialanteil erhöhen bzw. Umsetzhäufigkeit erhöhen</b>	<b>positiv</b> , bessere O <sub>2</sub> -Versorgung unterdrückt CH <sub>4</sub> -Bildung	leicht erhöhte Emission aufgrund verstärkter Belüftung möglich, Ursachen: - Anstieg des pH-Wertes - erhöhter Feuchteaustrag	<b>potenziell negativ</b> , bessere O <sub>2</sub> -Versorgung bei sinkenden Temperaturen fördert die N <sub>2</sub> O-Bildung als Zwischenprodukt der Nitrifikation und Denitrifikation
<b>Feuchteoptimierung durch kontrollierte Bewässerung bzw. Abdeckung zum Ableiten der Niederschläge</b>	<b>positiv</b> , Vorbeugung gegen Vernässung und Ausbildung anaerober Zonen	Vernässung führt zu <b>reduzierenden Bedingungen</b> (Denitrifikation) mit Anreicherung von NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Austrocknung führt zu vermehrter Emission von NH <sub>3</sub>	Vernässung kann auch in spätem Rottestadium zu O <sub>2</sub> -Mangel führen, und damit zur <b>Denitrifikation</b> von NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> und NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> unter Bildung von N <sub>2</sub> O

\* Frühzeitig emittiertes NH<sub>3</sub> steht nicht mehr einer späteren N<sub>2</sub>O-Bildung zur Verfügung

**Tabelle 7-40: Spezielle Optimierungsmaßnahmen für geschlossene Intensiv- und Hauptrottesysteme mit Zwangsbelüftung und Abluftreinigung (Box, Tunnel, Halle):**

Maßnahme	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub> *	N <sub>2</sub> O
<b>Umsetzhäufigkeit bzw. Belüftung erhöhen</b>	<b>positiv</b> , bessere O <sub>2</sub> -Versorgung unterdrückt CH <sub>4</sub> -Bildung	leicht erhöhte Emission aufgrund verstärkter Belüftung möglich, Ursachen: - erhöhte Strippung - Anstieg pH-Wert - erhöhter Feuchteaustrag	<b>negativ</b> , bessere O <sub>2</sub> -Versorgung bei sinkenden Temperaturen fördert die N <sub>2</sub> O-Bildung als Zwischenprodukt der Nitrifikation und Denitrifikation
<b>Temperatursteuerung 45 – 65 °C nach ausreichender Hygienisierung</b>	Maximum der Bildung im thermophilen Bereich aufgrund mangelnder Sauerstoffversorgung während der intensiven Stoffumsetzung Minimum der Bildung unter 45 / 50 °C	Maximum der Bildung im thermophilen Bereich	Maximum der Bildung bei etwa 30 °C Minimum der Bildung über 40 / 45 °C
<b>Feuchtesteuerung auf 50 – 60% durch kontrollierte Bewässerung</b>	<b>positiv</b> , Vorbeugung gegen Vernässung und Ausbildung anaerober Zonen	Vernässung führt zu <b>reduzierenden Bedingungen</b> (Denitrifikation) mit Anreicherung von NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Austrocknung führt zu vermehrter Strippung von NH <sub>3</sub>	Vernässung kann auch in spätem Rottestadium zu O <sub>2</sub> -Mangel führen, und damit zur <b>Denitrifikation</b> von NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> und NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> unter Bildung von N <sub>2</sub> O-
<b>Biofilter **</b>	<b>neutral</b> , geringer Abbau	<b>positiv</b> , teilweise bis fast vollständiger Abbau	<b>negativ</b> , erhebliche Bildung aus NH <sub>3</sub> -Abbau
<b>Biofilter mit vorgeschalteter saurer Wäsche</b>	<b>neutral</b> , geringer Abbau	<b>positiv</b> , Abscheidung in saurer Wäsche	<b>neutral</b> bis gering negativ, geringe Bildung aus NH <sub>3</sub> -Schlupf

\* Frühzeitig emittiertes NH<sub>3</sub> steht nicht mehr einer späteren N<sub>2</sub>O-Bildung zur Verfügung

\*\* Anforderungen an Biofilter (ÖWAV-Regelblatt 513: Betrieb von Biofiltern sowie in Abschnitt 7.2.6.2)

### **Spezifische Maßnahmen zur Reduktion der Lachgasbildung im Biofilter bei hohen NH<sub>3</sub>-Frachten im Rohgas**

Folgende emissionsarme Betriebsweise über die verschiedenen Prozessabschnitte wird am Beispiel einer geschlossenen Anlage mit Biofilter beschrieben:

- 1.) Möglichst frühzeitiges effektives Strippen von NH<sub>3</sub> zu Beginn der thermophilen Intensivrotte bei hohem Luftdurchsatz. Durch den damit verbundenen N-Verlust weitet sich das C/N-Verhältnis auf. Die Folge eines weiten C/N-Verhältnisses ist, dass die potenzielle N<sub>2</sub>O-Bildung in der Nachrotte minimiert wird.
- 2.) Langes Aufrechterhalten einer Prozesstemperatur von >40°C <55 – 60 °C, um die Nitrifikation zu unterdrücken.
- 3.) Im Falle einer hohen Ammoniakkonzentration in der Abluft Abscheidung des ausgestrippen NH<sub>3</sub> in der sauren Wäsche (siehe Vorgangsweise mit Orientierung an der Geruchstoffkonzentration im Kasten *Zusammenfassung für einen emissionsoptimierten Betrieb*).

Weritere Maßnahmen nach Abschluss der Hauptrotte:

- 4.) In der Nachrotte die Umsetzintervalle und damit Wärmeverluste reduzieren.
- 5.) Fertigkompost rasch Konfektionieren, Ausbringen und Einarbeiten in den Boden.

Die vorliegenden Versuche ergaben im konkreten widersprüchliche Resultate. In der Gesamtbetrachtung kann für einen emissionsarmen Betrieb jedoch folgendes zusammengefasst werden:

## Emissionen klimarelevanter Gase – Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für einen emissionsoptimierten Betrieb

- Es besteht eine grundsätzliche Tendenz, dass ein sehr enges C/N-Verhältnis also ein deutlicher N-Überschuss in der Ausgangsmischung zu einer Erhöhung der Lachgasbildung führt. Es ist daher darauf zu achten, einen ausreichend verwertbaren Kohlenstoffanteil in der Kompostausgangsmischung zur Verfügung zu haben (Zugabe von fein und auffasernd geschreddertem Baum- und Strauchschnitt).
- Andererseits zeigt sich, dass bei zu hohem Anteil an holzreichem Grünschnitt die N<sub>2</sub>O-Emissionen zunehmen können, da dann kein Einbau von mineralischem Stickstoff in Biomasse bzw. Organik möglich ist. Daher ist ein sorgfältig eingestelltes C/N-Verhältnis zwischen (20) 25 und 35 (40) : 1 eine wichtige Maßnahme zur Minimierung der Lachgasbildung.
- Ein mehrfaches aber nicht tägliches Umsetzen je Woche von Mieten mit entsprechendem Strukturanteil (zB 40-60% Grünschnitt zu Bioabfall) verringert die Bildungsmenge von CH<sub>4</sub>. Bei N<sub>2</sub>O zeichnet sich ein uneinheitliches Ergebnis mit einer Tendenz zu geringeren Emissionsraten bei abnehmender Bearbeitungsintensität (Umsetzen) ab.
- Da die Prozesse der CH<sub>4</sub>-Bildung und N<sub>2</sub>O-Bildung gegenläufig sind, ist der Betrieb zu Beginn der thermophilen Rotte (CH<sub>4</sub>-lastig) auf eine Reduktion der CH<sub>4</sub>-Bildung und in fortgeschrittenem Rottestadium (N<sub>2</sub>O-lastig) auf eine Minimierung der N<sub>2</sub>O-Bildung abzustellen. Dies bedeutet eine höhere Umsetzhäufigkeit während der thermophilen Hauptrotte (> 45 °C) und eine reduzierte mechanische Bearbeitung in der anschließenden Abkühlungsphase (Nachrotte; < 40 – 45 °C).
- Eine Optimierung wird demnach immer einen Kompromiss darstellen, wobei eine Kombination von optimierten Strukturverhältnissen, C/N-Verhältnis und ein an den Mietenquerschnitt angepassten Umsetzrhythmus in offenen wie geschlossenen Systemen anzustreben ist. Tendenziell dürfte für kleinere Mietenquerschnitte mit natürlicher Belüftung bis ca. 1,50 m Aufsetzhöhe wöchentliches Umsetzen in der Hauptrotte ausreichen.
- Größere Mieten bis ca. 2,50 m und höher sollten vor allem zur Reduktion der Methanemission zu Rottebeginn mindestens alle 3 – 4 Tage gewendet werden.
- Aus den ausgewerteten Untersuchungsergebnissen (siehe Grundlagenstudie) kann generell keine Begründung für eingehauste Systeme abgeleitet werden, wobei geschlossene Systeme im Fall von ungünstigen Standortverhältnissen jedoch den Vorteil der Geruchs-, Staub- und NMVOC-Abscheidung im Biofilter mit sich bringen.
- Neben der Wirkung von Ammoniak als Luftschadstoff können hohe Ammoniakkonzentrationen im Rohgas zu Beeinträchtigungen bzw. Hemmungen des Geruchsstoffabbaus im Biofilter bzw. zu erhöhten Ammoniakemissionen führen. Daher ist im Falle wiederholter Überschreitung der Geruchsstoffkonzentration von 500 GE/m<sup>3</sup> im Rohgas entsprechend Abschnitt 7.2.9 den Ursachen hierfür nachzugehen (siehe auch Biofilterpflege und -wartung in Abschnitt 7.2.6.2). Ergeben die Untersuchungen nach Ausschöpfung sonstiger prozesstechnischer Maßnahmen (Änderung der Materialmischung, des Belüftungs-, Feuchtigkeits- und Temperaturregimes), dass eine zu hohe Ammoniakkonzentration für die Beeinträchtigung der Biofilterfunktion verantwortlich ist, ist ein saurer Wäscher zur Abscheidung des Ammoniaks aus dem Rohgas vorzuschalten.
- Ungeachtet der Verpflichtung zur Minimierung von umweltrelevanten Emissionen kann der nationale Beitrag der Kompostierung zum Treibhauseffekt als vernachlässigbar eingestuft werden. Er beträgt nach Ergebnissen von Einzeluntersuchen in Österreich und Deutschland unabhängig vom Kompostierungsverfahren zwischen 0,03 und 0,06 % des klimawirksamen, nationalen Gesamtausstoßes an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

## 7.6.4 Qualität und Relevanz der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC)

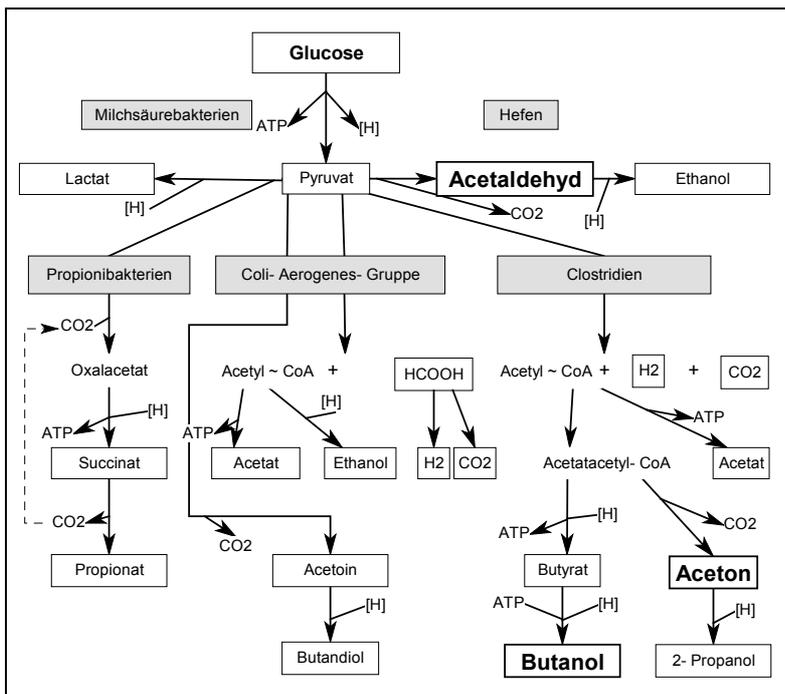
### 7.6.4.1 Einführung

Die Kompostierung von Bio- und Grünabfällen ist ein biologischer Prozess, der zwangsläufig mit der Bildung von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und Geruchsstoffen verbunden ist. Beim Abbau von organischem Material werden hochmolekulare Stoffe wie Kohlenhydrate und Eiweiße in niedermolekulare Bestandteile umgebaut, die eine erhöhte Flüchtigkeit aufweisen und dadurch leicht in die Atmosphäre freigesetzt werden können.

Die Freisetzung aus dem Rottematerial wird durch folgende Faktoren erhöht:

- Prozesstemperaturen
- Gasaustausch bei ggf. aktiv belüfteten Verfahren.

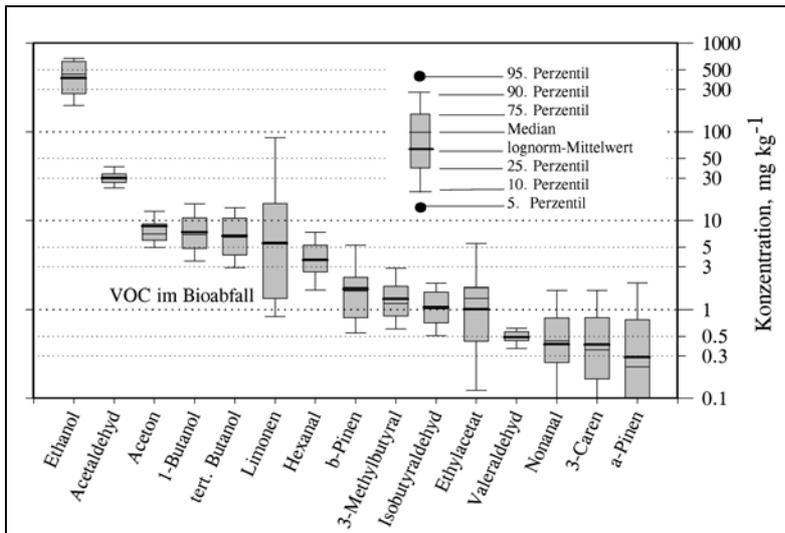
Auf dem Abbauweg können auch stark polare Substanzen gebildet werden, die vornehmlich in Wasser gelöst dem Prozess entweichen.



**Abbildung 7-27: Zusammenfassende Übersicht über Verlauf und Produkte der wichtigsten Gärungen (Schlegel, 1992); beispielhafte organische Luftschadstoffe (MVOC) = fett**

Das Rotteverfahren und seine betriebliche Praxis haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Abbauege und die Emissionen. Aus einer Reihe organischer Komponenten sowie charakteristischer Gerüche in der Abluft lässt sich eindeutig auf einen bestimmten Abfallinput schließen. Andererseits lässt sich an gewissen flüchtigen Metaboliten in der Abluft das Rottemilieu (Sauerstoffversorgung) erkennen. Die naheliegendste organische Verbindung ist das Methan, das auf Anaerobie hinweist. Aber auch das Vorhandensein und das Verhältnis anderer Stoffwechselprodukte wie Alkohole, Ketone oder organische Säuren in der Abluft geben Hinweise auf das Mietenmilieu bzw. den Zustand der Rotte. Beispiele für die Bildung von VOC (Acetaldehyd, Butanol, Aceton) aus mikrobiologischen Abbauvorgängen (MVOC) liefert Abbildung 7-27. Die biologischen Abbauege führen somit zu einer Genese von potenziellen Luftschadstoffen. In Nr. 5.2.5 der deut-

schon TA Luft werden für organische Stoffe allgemeine Anforderungen zur Emissionsbegrenzung beschrieben.



**Abbildung 7-28: MVOC im Bioabfall während der Kompostierung (aus: Weppen et al., 1998)**

der Verbindungen (u.a. Wasserlöslichkeit, Siedepunkt, Dampfdruck, Henry-Koeffizient<sup>26</sup>) sowie Parametern des Rottebetriebes (Temperatur, Wassergehalt, Luftdurchsatz) abhängt. Der biotische und abiotische Stoffabbau hängt darüber hinaus von weiteren Milieufaktoren (u.a. Substrat- und Nährstoffversorgung, pH-Wert und Redoxpotenzial) sowie den beteiligten Organismen ab.

Die bei der Behandlung von Abfällen auftretenden Geruchsstoffe bzw. VOC können nach ihrer Entstehung oder Herkunft wie folgt eingeteilt werden:

- VOC der Ausgangsprodukte, zB Lösemittel, Reinigungsmittel, Chemikalien,
- biogene VOC (MVOC), d.h. biogene flüchtige Metabolite der Rotte, zB Alkohole, Aldehyde, Ketone, Terpene,
- abiogene VOC, d.h. chemische Reaktionsprodukte der Rotte (Pyrolyse-, Maillard-, und Autooxidationsprodukte).

Beispiele für VOC der Ausgangsprodukte sind organische Flüssigkeiten aber auch Kunststoffe, aus denen Monomere oder Additive als Spurenstoffe ausgasen, wie zB Phenol, 1,2,4-Trimethylbenzol, n-Decan, n-Undecan. Sie gehören von ihrer Bestimmung her nicht in den Kompost, können aber aufgrund von Fehlwürfen in Form von Störstoffen gelegentlich vorkommen

Beispiele für die MVOC sind die in Abbildung 7-27 dargestellten Alkohole, Ketone oder Aldehyde, wie sie während des Stoffabbaus gebildet werden. Typische MVOC im Kompostierungsprozess sind in Abbildung 7-28 dargestellt.

Ein Beispiel für die abiogene Bildung von Geruchsstoffen besonders bei hohen Rottetemperaturen im Bereich von 70 – 90 °C ist die Maillard-Reaktion, die auch für die Entstehung zahlreicher Lebensmittelaromen des Röstens, Räucherns oder Backens verantwortlich ist (Mayer, 1990; Schildknecht & Jager, 1979). Diese auch als nicht-enzymatische Bräunung bezeichnete Reaktion zwischen Zuckern und Aminoverbindungen führt zu zahlreichen flüchtigen Verbindungen mit zum Teil sehr niedrigen Geruchsschwellenwerten. Eine wichtige Gruppe dieser Verbindungen sind stickstoffhaltige Heterocyclen, wie Pyridine und Pyrazine.

**Insgesamt ist gesichert davon auszugehen, dass der wesentliche Teil der VOC Abluftemissionen aus der Kompostierung über mikrobiologische Abbauege im Rotteprozess gebildet und aktiv ausgestrikt wird bzw. ausgast.**

Weppen et al. (1998) haben MVOC im Bioabfall während der Kompostierung bestimmt (Abbildung 7-28). Dabei erreichten die Konzentrationen der beiden Hauptkomponenten Acetaldehyd  $30 \text{ mg kg}^{-1}$  und Ethanol etwa  $400 \text{ g kg}^{-1}$  feuchten Bioabfalls. Weitere Komponenten waren im wesentlichen Alkohole, Terpene, Aldehyde, Karbonsäuren. Bei Prozesstemperaturen der Kompostierung von 50 bis 70 °C und einer aktiven Belüftung ist es naheliegend, dass ein Teil der VOC aus dem Abfallkörper in die Abluft ausgetrieben wird.

Der Stoffübergang unterliegt einer Vielzahl von Gesetzmäßigkeiten, so dass das Ausmaß der Verlagerung im wesentlichen von den chemisch/physikalischen Eigenschaften

<sup>26</sup> Henry-Koeffizient : Die Lage der Verteilung eines Stoffes zwischen der Gas- und der Flüssigphase wird durch den Henry-Koeffizienten beschrieben. Dieser ist sowohl stoff- als auch stark temperaturabhängig. Mit Hilfe der Henry-Koeffizienten kann eine erste Abschätzung über die Wirksamkeit einer Strippanlage vorgenommen werden.

#### 7.6.4.2 Qualitative Ergebnisse aus der Literatur und Bewertung

Am Dänischen National Institute of Occupational Health untersuchte Wilkens (1994) die Luft innerhalb von Müllsammelfahrzeugen, die mit Restabfall (7 Proben) bzw. Bioabfall (4 Proben) beladen waren und identifizierte 90 verschiedene VOC (Tabelle 7-41, Spalten 3 und 4).

Rafson (1998) nennt organische Verbindungen, die aus einer Kompostierungsanlage in den USA emittierten (Tabelle 7-41, Spalte 2). In der Untersuchung fehlten die C1- bis C4-Aldehyde.

Untersuchungen des Rohgases des Kompostwerkes Bassum (Tabelle 7-41, Spalte 5) führten zu den Hauptkomponenten:  $\alpha$ -Pinen,  $\beta$ -Pinen, Limonen sowie Acetaldehyd (Cuhls, 2001).

Smet et al. (1999) berichteten über VOC-Emissionen bei der Kompostierung (12 Wochen zwangsbelüftet) von Bio- und Grünabfall (70% Gartenabfälle, 20% Bioabfälle, 10% Papier). Sie identifizierten als Leitkomponenten am VOC: Dimethylsulfid, 3-Methylbutanal, Aceton, 2-Butanon, Ethanol, 2-Propanol, 2-Butanol, 2-Methylpropanol, Methylacetat, Ethylacetat,  $\alpha$ -Pinen, Limonen,  $\alpha$ -Thujon, Methansäure, Ethansäure und Propansäure (Tabelle 7-41, Spalte 6).

Eine Auswertung von Williams & Miller (1994[SP204]) zu Geruchsstoffen aus unterschiedlichen Untersuchungsergebnissen zur Kompostierung zeigen Spalte 7 (niedrige Konzentration) und Spalte 8 (hohe Konzentration) in Tabelle 7-41.

Van Durme et al. (1992[SP205]) stellten die signifikanten Geruchsstoffe aus 6 verschiedenen Kompostierungsanlagen in den USA gegenüber: Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Acetophenon, Dimethylsulfid, Dimethyldisulfid, Dimethyltrisulfid, Limonen,  $\alpha$ -Pinen,  $\beta$ -Pinen. Aceton und 2-Butanon gehörten hier ebenfalls zu den Leitkomponenten in der Abluft (Tabelle 7-41, Spalte 9). Qualitative und quantitative Analysen (Hauptkomponente: 2-Butanon) zu Emissionen organischer Verbindungen aus der Kompostierungsanlage Joyceville (Ontario, Canada) sind bei Krzymien et al. (1999) zu finden.

**Tabelle 7-41: Zusammenstellung verschiedener Literaturquellen zur Identifizierung und Quantifizierung von flüchtigen Stoffen bei der Kompostierung von Grün- und Bioabfällen (Leitkomponenten: fett)**

<b>ORGANISCHE STOFFE:</b>	<i>Rafson (1998) [relat. Einheit]</i>	<i>Wilkins (1994) Bioabfall</i>	<i>Wilkins (1994) Restmüll</i>	<i>Cuhls (2001) [µg/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Smet (1999) [g/ton]</i>	<i>Williams &amp; Müller (1994) min. [µg/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Williams &amp; Müller (1994) max. [µg/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Van Durme et al. (1992)[SP206] [µg/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Bartels (2002) [µg/Nm<sup>3</sup>] Ø Rohgas Rottecontainer</i>	<i>Bartels (2002) [µg/Nm<sup>3</sup>] Ø Rohgas Rottehalle</i>
<b>Spalte</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>SCHWEFELHALTIGE VERBINDUNGEN:</b>										
Schwefelwasserstoff						0,7	14	735		
Schwefelkohlenstoff	1				0,4	24,3	23.000	224		
<b>Dimethylsulfid</b>	<b>22</b>			<b>49</b>	<b>8,2</b>	<b>2,5</b>	<b>50,8</b>	<b>3.408</b>		
<b>Dimethyldisulfid</b>	<b>106</b>	<b>xxx</b>	<b>xx</b>		<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>346</b>	<b>46.289</b>	<b>49</b>	<b>74</b>
Dimethyltrisulfid	3			<BG		6,2	6,2	3621		
Methanthiol						0,04	82			
Ethanthiol						0,032	92			
<b>ALDEHYDE:</b>										
Formaldehyd				700						
<b>Acetaldehyd (Ethanal)</b>				<b>1000</b>		<b>0,2</b>	<b>4.140</b>	<b>60</b>		
2-Methylbutanal	5	x	-						193	534
<b>3-Methylbutanal</b>	<b>8</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>280</b>	<b>4,0</b>				<b>368</b>	<b>619</b>
Benzaldehyd	3	x	x	<BG					286	60
Hexanal		x	-						92	93
<b>KETONE:</b>										
<b>Aceton</b>	<b>114</b>	<b>xxx</b>	<b>xxx</b>	<b>&lt;BG</b>	<b>125</b>	<b>47.500</b>	<b>1,6 *10<sup>6</sup></b>	<b>2.574</b>		<b>1.858</b>
2-Hexanon				<BG					63	875
2-Heptanon		+	-	43	1,4			46	316	471
Cyclohexanon				285				13		
Acetophenon	5			37				945	120	39
<b>2-Butanon</b>	<b>24</b>	<b>xxx</b>	<b>-</b>	<b>120</b>	<b>22</b>	<b>737</b>	<b>147.000</b>	<b>974</b>	<b>6629</b>	<b>5.132</b>
<b>2-Pentanon</b>		<b>xxx</b>	<b>x</b>	<b>48</b>		<b>28.000</b>	<b>45.000</b>		<b>322</b>	<b>3.694</b>
3-Pentanon				95					532	
2-Nonanon									207	33
3-Methyl-2-butanon									74	60
3-Methyl-2-pentanon									72	
4-Methyl-2-pentanon		x	x						70	
3-Hydroxy-2-butanon		xxx	xx						1414	26
<b>ALKOHOLE:</b>										
Methanol	2							153		
<b>Ethanol</b>	<b>3</b>	<b>xxx</b>	<b>xxx</b>	<b>&lt;BG</b>	<b>133</b>				<b>6572</b>	<b>8.010</b>
<b>2-Propanol</b>		<b>xxx</b>	<b>xxx</b>	<b>&lt;BG</b>	<b>134</b>					

<b>ORGANISCHE STOFFE:</b>	<b>Rafson (1998) [relat. Einheit]</b>	<b>Wilkins (1994) Bioab- fall</b>	<b>Wilkins (1994) Rest- müll</b>	<b>Cuhls (2001) [µg/m³]</b>	<b>Smet (1999) [g/ton]</b>	<b>Williams &amp; Müller (1994) min. [µg/m³]</b>	<b>Williams &amp; Müller (1994) max. [µg/m³]</b>	<b>Van Durme et al. (1992[SP206]) [µg/m³]</b>	<b>Bartels (2002) [µg/Nm³] Ø Rohgas Rottecontainer</b>	<b>Bartels (2002) [µg/Nm³] Ø Rohgas Rottehalle</b>
<b>Spalte</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
1-Propanol		x	x	<BG				64		
1-Butanol				<BG					438	1.067
<b>2-Butanol</b>		<b>xxx</b>	<b>xx</b>	<b>&lt;BG</b>	<b>3,7</b>					
<b>2-Methylpropanol</b>		<b>xxx</b>	<b>xxx</b>	<b>&lt;BG</b>	<b>5,8</b>				<b>613</b>	<b>604</b>
1-Pentanol									137	280
2-Pentanol		x	x						271	220
2-Methyl-1-butanol		xx	-	125					572	322
3-Methyl-1-butanol		xxx	xx	155					1454	704
1-Hexanol										864
1-Heptanol									32	65
2-Heptanol									89	14
1-Octanol									193	36
<b>AROMATISCHE VERBINDUNGEN:</b>										
Benzol	5			<BG				104	23	27
Ethylbenzol	5	-	x	<BG					42	11
m,p-Xylol	12	-	xx	<BG				29	95	12
o-Xylol		-	x	<BG					37	14
Styrol	2			330				26	149	18
Phenol	1			30		178	2.240	13		
Toluol		x	xx	33				488	43	28
3-Ethyltoluol									29	23
4-Ethyltoluol									8	3
n-Propylbenzol				<BG					13	16
Isopropylbenzol (Cumol)				165					8	
1-Isopropyl-4- methylbenzol (p-Cymol)									409	257
1-Methoxy-4- propenylbenzol									97	9
1,2,3-Trimethylbenzol		-	x	<BG					2	4
1,3,5-Trimethylbenzol		-	xx	<BG					15	9
1,2,4-Trimethylbenzol		-	x	75					194	223
<b>ESTER:</b>										
<b>Methylacetat</b>		<b>xxx</b>	<b>xxx</b>		<b>9,6</b>			<b>144</b>		
<b>Ethylacetat</b>		<b>xxx</b>	<b>xxx</b>	<b>270</b>	<b>35</b>					
Methylpropionat					2,1					
2-Methylbutter- säureethylester									69	135

<b>ORGANISCHE STOFFE:</b>	<b>Rafson (1998) [relat. Einheit]</b>	<b>Wilkins (1994) Bioab- fall</b>	<b>Wilkins (1994) Rest- müll</b>	<b>Cuhls (2001) [µg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Smet (1999) [g/ton]</b>	<b>Williams &amp; Müller (1994) min. [µg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Williams &amp; Müller (1994) max. [µg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Van Durme et al. (1992[SP206]) [µg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Bartels (2002) [µg/Nm<sup>3</sup>] Ø Rohgas Rottecontainer</b>	<b>Bartels (2002) [µg/Nm<sup>3</sup>] Ø Rohgas Rottehalle</b>
<b>Spalte</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
3-Methylbutter- säureethylester									98	138
Propylpropionat					1,0					
Buttersäuremethyl-ester									176	334
Buttersäureethyl-ester									1185	1.349
Buttersäure-n- propylester									167	712
Essigsäure-i-butylester									102	31
Essigsäure-i-pentylester									138	51
Essigsäuremethyl-ester									151	146
Essigsäure-n-butyl-ester									86	79
Essigsäure-n-hexyl-ester									19	47
Essigsäure-n- propylester									349	724
Essigsäure-sec- butylester									218	139
Propionsäureethyl-ester									1067	254
Propionsäure-n- butylester									21	15
Propionsäure-n- propylester									292	88
Hexansäureethyl-ester									581	5.169
Hexansäuremethyl-ester									91	1.396
Hexansäure-n-butyl- ester									31	495
Hexansäure-n- propylester										3.549
Heptansäure-ethylester									100	1.507
Heptansäure-n- propylester										747
Octansäureethyl-ester									212	794
Octansäuremethyl-ester									40	274
Octansäure-n- propylester									13	326
Valeriansäure- methylester									39	118
Valeriansäure-ethylester									182	464

<b>ORGANISCHE STOFFE:</b>	<b>Rafson (1998) [relat. Einheit]</b>	<b>Wilkins (1994) Bioab- fall</b>	<b>Wilkins (1994) Rest- müll</b>	<b>Cuhls (2001) [µg/m³]</b>	<b>Smet (1999) [g/ton]</b>	<b>Williams &amp; Müller (1994) min. [µg/m³]</b>	<b>Williams &amp; Müller (1994) max. [µg/m³]</b>	<b>Van Durme et al. (1992)[SP206] [µg/m³]</b>	<b>Bartels (2002) [µg/Nm³] Ø Rohgas Rottecontainer</b>	<b>Bartels (2002) [µg/Nm³] Ø Rohgas Rottehalle</b>
<b>Spalte</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>FURANE:</b>										
2-Ethyl-5-methylfuran									13	14
2-Ethylfuran					1,6				80	33
2-Methylfuran					0,9					
2,5-Dimethylfuran									10	8
Methylfuran	2									
2-Pentylfuran	2									
2-n-Pentylfuran									183	195
<b>TERPENE:</b>										
3-Caren									1182	263
<b>Mycren</b>		<b>xxx</b>	<b>xx</b>						<b>1.668</b>	
Camphen	10	x	x						598	180
Campher				95					880	69
<b>α-Pinen</b>		<b>xxx</b>	<b>xx</b>	<b>2900</b>	<b>8,0</b>			<b>12.660</b>	<b>3.556</b>	<b>1.181</b>
<b>β-Pinen</b>	<b>5</b>	<b>xxx</b>	<b>xxx</b>	<b>1920</b>				<b>12.408</b>	<b>2.088</b>	<b>664</b>
α-Phellandren		xxx	-						109	
β-Phellandren									1.289	175
<b>Limonen</b>	<b>29</b>	<b>xxx</b>	<b>xx</b>	<b>6935</b>	<b>56</b>			<b>6.209</b>	<b>26.853</b>	<b>11.955</b>
<b>α-Thujon</b>		<b>xxx</b>	<b>x</b>		<b>6,8</b>				<b>2.966</b>	<b>231</b>
β-Thujon		xxx	x						682	167
α-Terpinen									115	24
γ-Terpinen		xxx	xx						466	195
4-Terpineol									533	76
<b>CHLORIERTE VERBINDUNGEN:</b>										
Dichlormethan	1	x	x	<BG						
1,2-Dichlorethan				<BG						
Trichlorethen	2			<BG						
Dichlorbenzol	2							9		
1,2-Dichlorbenzol				<BG						
1,3-Dichlorbenzol				<BG						
1,4-Dichlorbenzol				<BG					9	66
1,3,5-Trichlorbenzol				<BG						
1,2,3-Trichlorbenzol				<BG						
1,2,4-Trichlorbenzol				<BG						
Tetrachlorethen				<BG						

<b>ORGANISCHE STOFFE:</b>	<b>Rafson (1998) [relat. Einheit]</b>	<b>Wilkins (1994) Bioab- fall</b>	<b>Wilkins (1994) Rest- müll</b>	<b>Cuhls (2001) [µg/m³]</b>	<b>Smet (1999) [g/ton]</b>	<b>Williams &amp; Müller (1994) min. [µg/m³]</b>	<b>Williams &amp; Müller (1994) max. [µg/m³]</b>	<b>Van Durme et al. (1992[SP206]) [µg/m³]</b>	<b>Bartels (2002) [µg/Nm³] Ø Rohgas Rottecontainer</b>	<b>Bartels (2002) [µg/Nm³] Ø Rohgas Rottehalle</b>
<b>Spalte</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
Chlorbenzol				<BG				9	346	
Methylchlorid								16		
Tetrachlormethan				<BG						
1,1,1-Trichlorethan		-	x	<BG						
1,1,2-Trichlorethan								27		
<b>ALKANE:</b>										
Cyclohexan				<BG				327	20	
n-Pentan		x	xx					884		
n-Heptan		-	x	75				39	20	
n-Octan		-	xx	<BG				15	29	27
n-Nonan		-	xx	<BG				19	32	18
n-Decan		-	xxx	<BG					40	22
n-Undecan		-	x	30					88	41
n-Dodecan		-	x	21					60	39
n-Tridecan				21					12	19
n-Tetradecan									15	14
n-Hexadecan									67	9
n-Heptadecan									39	6
n-Octadecan									29	
Cyclopentan								442		
2-Methylhexan		-	xxx							
3-Methylhexan		-	xx							
Methylcyclohexan		-	xx							
2-Methylheptan		-	x							
1,3-Dimethylcyclohexan		-	x							
2,2,5-Trimethylhexan		-	x							
2,4-Dimethylheptan		-	x							
2,6-Dimethylheptan		-	x							
Ethylcyclohexan		-	x						31	
1,1,3-Trimethylcyclohexan		-	x							
2-Methyloctan		-	x							
3-Methyloctan		-	xx							
4-Methyloctan		-	x							
2,5-Dimethyloctan		-	x							
2,6-Dimethyloctan		-	x							

<b>ORGANISCHE STOFFE:</b>	<b>Rafson (1998) [relat. Einheit]</b>	<b>Wilkins (1994) Bioabfall</b>	<b>Wilkins (1994) Restmüll</b>	<b>Cuhls (2001) [µg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Smet (1999) [g/ton]</b>	<b>Williams &amp; Müller (1994) min. [µg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Williams &amp; Müller (1994) max. [µg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Van Durme et al. (1992)[SP206] [µg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Bartels (2002) [µg/Nm<sup>3</sup>] Ø Rohgas Rottecontainer</b>	<b>Bartels (2002) [µg/Nm<sup>3</sup>] Ø Rohgas Rottehalle</b>
<b>Spalte</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
n-Propylcyclohexan		-	xx						9	
2- Methylnonan		-	x							
3- Methylnonan		x	x							
4- Methylnonan		-	x							
5- Methylnonan		-	x							
2-Methyldecan		-	x							
4-Methyldecan		-	x							
<b>AMMONIAK U. A. STICKSTOFF ENTHALTENDE KOMPONENTEN:</b>										
<b>Ammoniak</b>					<b>152</b>	<b>26,6</b>	<b>39.600</b>	<b>858.000</b>		
Methylamin						25,5	12.000			
Dimethylamin						84,6	84,6			
Trimethylamin						0,8	0,8			
Pyridin								47		
Pyrazin									10	
3-Methylindol (Skatol)						4,0*10 <sup>-5</sup>	268			
<b>KARBONSÄUREN:</b>										
<b>Methansäure</b>						<b>45,0</b>	<b>37.800</b>			
<b>Ethansäure</b>						<b>2.500</b>	<b>250.000</b>	<b>25</b>		
<b>Propansäure</b>		<b>x</b>	<b>-</b>			<b>84,0</b>	<b>60.000</b>			
Butansäure		x	-			1,0	9.000			
Pentansäure						2,6	2,6			
3-Methylbutansäure						52,8	52,8			

-: neg.      xx: viel      xx: mittel      x: wenig      <BG ... unterhalb der Bestimmungsgrenze

Bartels & Kruse (2002) beschäftigten sich aktuell und umfassend mit der Messung und toxikologischen Bewertung flüchtiger organischer Substanzen (VOC) in der Abluft von zwei Kompostierungsanlagen (Tabelle 7-41, Spalten 10 und 11). Zur toxikologischen Bewertung der Messergebnisse wurden Grenz- und Richtwerte aus dem Bereich des Arbeitsschutzes (MAK/TRK und TLV) und des regulatorischen und vorsorglichen Immissionsschutzes (TA Luft, Deutschland) sowie Ergebnisse zahlreicher toxikologischer Studien herangezogen. Die Inhalation von VOC in Konzentrationen >70 mg m<sup>-3</sup>, zB am Arbeitsplatz, kann zu Befindlichkeitsstörungen, Reizungen im Bereich der Augen, der Nase oder im Atemtrakt, Änderungen von Lungenfunktionsparametern, gastrointestinalen, zentralnervösen oder neurologischen Störungen wie Kopfschmerzen, Müdigkeit oder Konzentrationsschwächen führen. Die VOC-Konzentrationen im Rohgas waren so hoch, dass bei Aufenthalt in rohgasbelasteten Bereichen (Geschlossene Anlage/Hallen mit Druckbelüftung??) eine Atemschutzrüstung notwendig ist. Ausschließlich im Rohgas traten Substanzen (Limonen, 2-Butanon, Ethanol sowie  $\alpha$ -Pinen,  $\alpha$ -Thujon, Hexansäureethylester und 3-Methyl-1-butanol) in Konzentrationen auf, die im Bereich der o.g. durchschnittlichen Effektschwelle von etwa 70

mg m<sup>-3</sup> lagen. Die ausführliche toxikologische Bewertung aller identifizierten Substanzen ist der Originalquelle zu entnehmen (Bartels & Kruse, 2002).

Krebserzeugende bzw. –verdächtige Substanzen (außer den Hauptbestandteilen des Terpentins [α- und β-Pinen, 3-Caren] und Naphthalin) konnten lediglich im Bereich üblicher Hintergrundkonzentrationen nachgewiesen werden (Bartels & Kruse, 2002).

Zu einem ähnlichen Ergebnis bezüglich der anthropogenen Xenobiotika kommen Peterson et al. (2000), die sechs LHKW<sup>27</sup> im Lee von zwei geschlossenen Kompostierungsanlagen quantifiziert und festgestellt haben, dass sowohl die Konzentrationen im Lee als auch im Luv im Bereich der Hintergrundkonzentrationen lagen. Signifikante Immissionskonzentrationen im Lee der Anlagen lagen bei den Komponenten 2-Butanon, 4-Methyl-2-pentanon, m,p-Xylole, Kohlenstoffdisulfid und Ammoniak vor.

Im Dieselabgas eines Radladers konnten Bartels & Kruse (2002) ausschließlich Alkane, Alkene und Aromaten identifizieren. Neben dem dominierenden Benzol überwogen die n-Alkane Decan bis Hexadecan. Es konnte somit gezeigt werden, dass die an den Kompostierungsbetrieben nachgewiesenen Aromaten mit hoher Wahrscheinlichkeit größtenteils aus den Abgasen der dort eingesetzten Radlader und der Anlieferfahrzeuge stammten.

Nach Untersuchungen von Cuhls (2001) an mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen von Restabfällen (MBA) ist innerhalb der Nr. 5.2.5 der deutschen TA Luft (Organische Stoffe) aus der Liste der Stoffe der Klasse 1 (Emissionsbegrenzung: 0,1 kg/h oder 20 mg/Nm<sup>3</sup>) im wesentlichen nur das Acetaldehyd von Bedeutung. Im Einzelfall wurden max. 15 mg/Nm<sup>3</sup> für die Summe an Stoffen der Klasse 1 im Rohgas erreicht, wobei Acetaldehyd mit 12 mg/Nm<sup>3</sup> daran beteiligt war. Aufgrund des sehr guten Rückhalts von Acetaldehyd in Biofiltern (>80%) konnten im Reingas immer nur max. Gehalte zwischen 1 und 2 mg/Nm<sup>3</sup> für die Summe an Stoffen der Klasse 1 festgestellt werden. Diese Ergebnisse werden von Untersuchungen an Österreichischen MBA gestützt (Angerer et al., 1998 und 1999): Im Abgas der Rottetrommel der MBA Siggerwiesen wurden Acetaldehydkonzentrationen in Höhe von 15,6 bzw. 21,8 mg/Nm<sup>3</sup> (99 bzw. 140 g/h) und im Rohgas der Pilotanlage Kufstein max. 26 mg/Nm<sup>3</sup> festgestellt. Aufgrund ebenfalls sehr guter Biofilterleistung sanken die Gehalte im Reingas auf < 1mg/Nm<sup>3</sup>.

Das Vorkommen von Stoffen der Klasse 2 organischer Stoffe nach Nr. 5.2.5 der deutschen TA Luft (Emissionsbegrenzung: 0,5 kg/h oder 100 mg/Nm<sup>3</sup>) ist im Abgas biologischer Abfallbehandlungsanlagen unbedeutend.

Das Auftreten chronischer Gesundheitsbeeinträchtigungen bei langfristig in Kompostierungsanlagen im Niedrigdosis-Bereich mit VOC exponierten Arbeitnehmern kann nicht ausgeschlossen werden. Eine belastbare? Gesamtbewertung muss neben der VOC-Exposition auch die Belastung durch Sporen, Toxine und Staub sowie Gerüche berücksichtigen (Bartels & Kruse, 2002) (siehe Abschnitt 7.5).

Die Geruchssituation wurde anhand von Geruchsschwellenüberschreitungen durch einzelne VOC abgeschätzt. Die wichtigsten zur Geruchsbildung beitragenden VOC waren die Monoterpene Limonen und α-Pinen, die Karbonsäureester Buttersäureethyl- und –methylester, Hexansäureethylester, die Thioverbindung Dimethyldisulfid und das natürlich vorkommende 1-Isopropyl-4-methyl-benzol (p-Cymol). Weitere charakteristische Geruchsstoffe waren Campher, Octansäureethylester, Essigsäure-n-butylester sowie 3-Octanon. Der Anteil von Limonen an der näherungsweise durch Addition der jeweiligen Geruchszahlen (= Faktor der Geruchsschwellenüberschreitung) bestimmten Geruchsstoffkonzentration lag zwischen 45% und 93% (Bartels & Kruse, 2002).

#### 7.6.4.3 Resultierende Leitkomponenten

Aus den vorliegenden Untersuchungen (Tabelle 7-41) kristallisieren sich die folgenden Verbindungen als organische und anorganische Leitkomponenten in der Abluft aus Kompostierungsanlagen heraus. Diese Leitkomponenten sind charakteristisch und spiegeln in der Summe die wesentliche Emissionsfracht (> 90%) wider (vgl. Tabelle 6-37).

- Organische Stoffe gemäß Nr. 5.2.5 TA Luft (2002):
  - *Schwefelverbindungen*: Schwefelkohlenstoff, Dimethylsulfid, Dimethyldisulfid
  - *Aldehyde*: Acetaldehyd, 3-Methylbutanal

---

<sup>27</sup> LHKW ....leicht flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

- *Ketone*: Aceton, 2-Butanon, 2-Pentanon
- *Alkohole*: Ethanol, 2-Propanol, 2-Butanol, 2-Methylpropanol
- *Karbonsäuren*: Methansäure, Ethansäure, Propansäure, Valeriansäure
- *Ester*: Methylacetat, Ethylacetat
- *Terpene*: Myrcen,  $\alpha$ -Pinen,  $\beta$ -Pinen, Limonen,  $\alpha$ -Thujon
- Methan
- Gasförmige anorganische Stoffe gemäß Nr. 5.2.4 TA Luft (2002)
  - Ammoniak

Damit ist das wesentliche Stoffspektrum in der Abluft von Kompostierungsanlagen vergleichbar mit dem der MBA. Unterschiede ergeben sich aufgrund der Herkunft der Einsatzstoffe in der MBA durch das sehr deutliche Vorhandensein von rein anthropogenen Verbindungen und Xenobiotika in der MBA-Abluft, so zB: LCKW, FCKW, aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX), Lösemittel und andere Gefahrstoffe.

## 7.6.5 Quantifizierung und Minderung organischer Stoffe / VOC-Emissionen

### 7.6.5.1 Allgemeines:

Die Feststellung der Emission organischer Stoffe in der Abluft kann sowohl über die Summe der gesamten flüchtigen Einzelstoffe (VOC oder TVOC) als auch über den Summenparameter  $C_{ges.}$  (TOC) erfolgen. Aufgrund der differenzierten Analytik sind die Parameter grundsätzlich zu unterscheiden, wie im Folgenden erläutert wird.

Bei dem Parameter **VOC** wird im Idealfall die möglichst vollständige Masse an Einzelverbindungen bestimmt, jedoch ohne Methan (VDI 4300, Blatt 6). Um dieses ausdrücklich hervorzuheben, wird auch von NMVOC (Non Methane VOC) gesprochen. Gerade bei komplexen Vielstoffgemischen, wie der Kompostierungsabluft, stellt die vollständige Erfassung aller wesentlichen Einzelkomponenten eine große methodische Herausforderung und einen großen Arbeitsaufwand dar. Um die unterschiedlichen wesentlichen Leitkomponenten zu bestimmen, sind bei dem derzeitigen Stand der Analytik mindestens zwei Probenahmen und Bestimmungsmethoden notwendig. Die Identifizierung und Quantifizierung der VOC wird im Labor mittels klassischer Gaschromatographie (GC-MS, GC-FID) und Flüssigkeitschromatographie (HPLC) für die Aldehyde durchgeführt. Dabei handelt es sich aufgrund der Dauer der Probenahme in der Regel um eine Stichprobe bzw. um einen Halbstundenmittelwert.

Demgegenüber hat der Parameter  $C_{ges.}$  keinen stofflichen Hintergrund, da der gesamte organische Stoffmix (VOC und Methan!) in einer Wasserstoffflamme eines Flammenionisationsdetektors (FID) verbrannt und als Summensignal registriert wird (EN 13526). Die Kalibrierung erfolgt mit Propan. Das Ansprechverhalten (Response) der unterschiedlichen organischen Substanzen variiert in einem Bereich von etwa einem Faktor 2, d.h. dass es unterschiedliche Stoffe gibt, die sowohl besser als auch schlechter als die Bezugssubstanz Propan angezeigt werden. Einige wenige Verbindungen (zB Formaldehyd) werden fast gar nicht registriert. Das Messergebnis wird als Gesamtkohlenstoff (C) angegeben. Unter bestimmten Umständen besteht die Möglichkeit, FID mit Vorschaltgeräten (Adsorber, Katalysator) auszurüsten, um eine Bestimmung des  $C_{ges.}$  ohne Methan vornehmen zu können (VDI 3481 Blatt 4 [Entwurf], 2004). Die FID Messgeräte arbeiten vor Ort und kontinuierlich, so dass Halbstunden- oder Tagesmittelwerte problemlos berechnet werden können.

### 7.6.5.2 VOC

Weppen et al. (1998) untersuchten prozesstechnische Maßnahmen zur Minimierung der Emissionen bei der Kompostierung von Bioabfall aus der Getrenntsammlung. Die Untersuchungen in der Betriebspraxis fanden auf der Kompostierungsanlage Lensahn statt. Es kam die zwangsbelüftete Boxenkompostierung (Volumen: 50 m<sup>3</sup>) nach dem System der Fa. Herhof für die Hygienisierung und die erste Stufe der Intensivrotte zum Einsatz. Die Abluftkonditionierung erfolgte über einen Wärmetauscher und es bestand die Möglichkeit, den gesamten Prozess im ungekühlten Umluftbetrieb zu fahren. Nach Ablauf von etwa einer Woche Boxenrotte wurde das Material einem zweiten Boxendurchgang unterzogen. Danach wurde es als

Frischkompost vermarktet bzw. in statischen Mieten nachgerottet. Das Emissionsgeschehen erfasste somit die Intensivrottephase von 2 Wochen. Die Regelgrößen beinhalteten Temperatur- (40 – 60 °C) und max. CO<sub>2</sub>- (4,5 % (v/v)) Sollwertvorgaben. **Mit der Abluft der Intensivrotte (Rohgas) emittierten durchschnittlich 320 g VOC t<sup>-1</sup> (Max. 590 g und Min. 150 g).** Als Hauptkomponenten wurden Limonen, β-Pinen, α-Pinen, 2-Butanon, Aceton, Acetaldehyd, 3-Caren und 2-Pentanon identifiziert. Im Abluftkondensat lagen die Frachten für organische Stoffe bei 60 g C t<sup>-1</sup>, hauptsächlich bestehend aus Ethanol, Acetaldehyd und Aceton. Durch Mineralisierung wurden mindestens 250 kg CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> Bioabfall freigesetzt. Die Quellstärken für Methan bewegten sich zwischen 110 und 3100 mg Methan h<sup>-1</sup> t<sup>-1</sup> Bioabfall (feucht). Auf eine Berechnung der Gesamtfrachten seitens der Autoren wurde aufgrund der geringen Datendichte verzichtet. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Methanfrachten in einem Bereich von 8 bis 15 g t<sup>-1</sup> Bioabfall gelegen haben dürften. Eine Untersuchung der Wirkungsleistung der Abluftreinigung fand nicht statt.

Smet et al. (1999) berichteten über VOC-Emissionen bei der Kompostierung (12 Wochen zwangsbelüftet) von Bio- und Grünabfall (70% Gartenabfälle, 20% Bioabfälle, 10% Papier). **Die TVOC-Fracht im Rohgas betrug 590 g t<sup>-1</sup>.** Durch Mineralisierung wurden 291 kg CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> Bioabfall freigesetzt. Bartels & Kruse (2002) untersuchten im Jahr 2000 die VOC-Emissionen in der Abluft der Kompostierungsanlagen Neumünster und Flensburg (Deutschland). Die Anlagendaten sind in Tabelle 7-42 dargestellt. Hierzu wurden an 38 Messtagen insgesamt 96 Proben genommen. Die Auswertung erfolgte über GC-FID und GC-MS Analytik. Es konnten 156 verschiedene VOC identifiziert werden. Die an verschiedenen Probenahme-Punkten der Anlagen nachgewiesenen VOC-Konzentrationen wurden schwerpunktmäßig im Hinblick auf ihre humantoxikologische Relevanz (Arbeits- und Umweltmedizin) untersucht.

**Tabelle 7-42: Anlagendaten der Kompostierungsanlagen Neumünster und Flensburg (D) (Bartels & Kruse, 2002)**

Kompostierungsanlage	Neumünster (D)	Flensburg (D)
Anliefermenge	ca. 25.000 t/a	ca. 14.500 bis 18.500 t/a
Abfallarten	ca. 80% Bio- / 20% Grünabfall	ca. 95% Bio- / 5% Grünabfall
Intensivrotte	Geschlossene, belüftete Container, alternierende Druckbelüftung Rottedauer 10-14 Tage	Geschlossene Rottehalle für gesamte Rottedauer. Hallenkapazität: 24 Dreiecksmieten, Rottedauer 12 bis 16 Wochen, passive Belüftung Umsetzen der Mieten nach jeweils 2-3 Wochen
Nachrotte	Halboffene, überdachte Dreiecksmieten, Druckbelüftung 8-10 Wochen Umsetzen der Mieten nach jeweils 2-3 Wochen	keine
Abluftmenge	durchschnittlich 12.000 m <sup>3</sup> /h	80.000 m <sup>3</sup> /h (34.000 m <sup>3</sup> /h aus der Rottehalle, 46.000 aus der Anlieferhalle)
Abluftreinigung	Offene, überdachte Kompost-Biofilter Durchströmung: upflow Flächenbelastung: 100 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h Volumenbelastung: 71 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> h manuelle Befeuchtung über Berieselungssystem ca. alle 2 Tage	Geschlossene Tropfkörperwäscher mit integriertem Berieselungssystem für Nährlösungs-Zufuhr Füllmaterial: Polyurethanschaumwürfel Durchströmung: downflow Kamin (Höhe 20m)

Rohgas-Proben enthielten die größte Anzahl VOC (durchschnittlich etwa 300) in den jeweils höchsten Konzentrationen. Entsprechend hohe Werte (Mittel >69 mg/Nm<sup>3</sup>) wurden für die Gesamt-VOC-Konzentrationen (TVOC, ohne Methan) ermittelt. **Die geschätzten, durchschnittlichen TVOC Emissionsmassenströme bzw. -frachten lagen damit in Neumünster (2 Wochen Containerrotte) bei 1036 g h<sup>-1</sup> bzw. 420 g t<sup>-1</sup> angelieferter Abfall und in Flensburg (12-16 Wochen Rotte in geschlossener Halle) bei 2357 g h<sup>-1</sup> bzw. 1120 g t<sup>-1</sup> angelieferter Abfall.** Diese Rohgasfrachten entsprechen etwa 0,07% bzw. 0,19% des etwa 600 kg t<sup>-1</sup> (60%) betragenden Gewichtsverlustes des Bioabfalls während der Kompostierung. Von Smet et al. (1999) wurde ein Wert von etwa 0,06% angegeben.

In Reingas-Proben wurden durchschnittlich zwischen 20% und 30% weniger Substanzen als im Rohgas identifiziert. Die gemessenen Konzentrationen waren im Allgemeinen deutlich geringer als im Rohgas. Die mittleren Gesamt-VOC-Konzentrationen (TVOC) lagen bei etwa 5,4 mg/Nm<sup>3</sup> in Flensburg bzw. 9,4 mg/Nm<sup>3</sup> in Neumünster, woraus TVOC Emissionsmassenströme zwischen 429 g/h bzw. 113 g/h abge-

geschätzt wurden. **Bezogen auf die Jahreskapazitäten der Anlagen ließen sich daraus für das Reingas mittlere TVOC Emissionsfrachten von 50 g t<sup>-1</sup> für Neumünster bzw. 200 g t<sup>-1</sup> angelieferter Abfall für Flensburg ableiten.**

Bezüglich der Ergebnisse der Einzelkonzentrationen wird an dieser Stelle auf die Originalquelle verwiesen. Die Anteile der Hauptsubstanzklassen an der VOC-Summenkonzentration wird in Tabelle 7-43 veranschaulicht. Die Summe aller identifizierten Verbindungen ließ sich im Rohgas zu 97 bis 98% und im Reingas zu etwa 90% auf vier Substanzklassen reduzieren. Der gegenüber dem Rohgas 7% geringere Gesamtanteil erklärt sich durch den jeweils 1 %-igen Anteilzuwachs der Alkane, Furane und Halogenkohlenwasserstoffen bzw. dem etwa 3 %-igem Zuwachs der Aromaten im Reingas. Die Terpen(oid)e stellten im Reingas die überwiegende Stoffklasse dar. Limonen war an beiden Anlagen die dominierende Einzelsubstanz (max.: 126 mg/Nm<sup>3</sup> im Rohgas).

**Tabelle 7-43: Prozentuale Anteile verschiedener Substanzklassen an den Summenkonzentrationen aller im Roh- bzw. Reingas identifizierten VOC (Bartels & Kruse, 2002)**

Substanzklasse	Neumünster Rohgas	Flensburg Rohgas	Neumünster Reingas	Flensburg Reingas
Terpene	60 %	24 %	87 %	53 %
Karbonsäureester	7 %	32 %	0 %	1 %
Alkohole	15 %	20 %	0 %	3 %
Carbonylverbindungen *	15 %	21 %	4 %	32 %
Summe	97 %	98 %	91 %	89 %

\* Carbonylverbindungen = Ketone und Aldehyde

Anhand der in Tabelle 7-44 dargestellten Zahlen ist erkennbar, dass die Summenkonzentrationen aller mit der angewandten Methode erfassten VOC (TVOC) durch die eingesetzten Abluftreinigungssysteme etwa um den Faktor 10 (Wirkungsgrad 90%) reduziert werden.

**Tabelle 7-44: Abschätzung der Effektivität (Wirkungsgrad) der Abluftreinigungssysteme bzgl. TVOC (Bartels & Kruse, 2002)**

Kompostierungsanlage	Abluftreinigungssystem	TVOC, Rohgas, Mittel mg/Nm <sup>3</sup>	TVOC, Reingas, Mittel mg/Nm <sup>3</sup>	Wirkungsgrad Abluftreinigung %
Neumünster	Kompost-Biofilter	86	9,4	89
Flensburg	Tropfkörperwäscher	69	5,4	92

Eine differenzierte Darstellung des Wirkungsgrades der Abluftreinigung gegenüber verschiedener Substanzklassen ist in Tabelle 7-45 dargestellt. Biologisch vorwiegend leicht abbaubare Substanzen (zB Alkohole, Aldehyde, Karbonsäureester) wurden in beiden Systemen zu > 99% abgeschieden.

**Tabelle 7-45: Effektivität der Abluftreinigungssysteme gegenüber verschiedene Substanzklassen (Bartels & Kruse, 2002)**

Substanzklasse	Effektivität des Kompost-Biofilters [%]	Effektivität des Tropfkörperwäschers [%]
Alkohole	100	99
Aldehyde	100	100
Alkene	100	59
Karbonsäureester	100	100
Ketone	98	95
Terpen(oid)e	85	88
Alkane	81	84
S-Verbindungen	81	76
Furane	70	63
Aromaten	67	36

Die durchschnittliche TVOC-Konzentration von 9,6 mg/Nm<sup>3</sup> in der Anlieferhalle in Neumünster war derjenigen im Reingas sehr ähnlich. Vorherrschende Substanzen waren Limonen und Ethanol sowie  $\alpha$ - und  $\beta$ -Pinen, Myrcen,  $\beta$ -Phellandren und 2-Butanon. Die höchsten TVOC-Konzentrationen wurden oberhalb der Auswurföffnung der Siebtrommel nachgewiesen (bis 48 mg/Nm<sup>3</sup>), während der mittlere TVOC-Wert im Zentrum der Anlieferhalle 1,6 mg/Nm<sup>3</sup> betrug.

In den USA ist auf Ersuchen der Planungsabteilung der SCAQMD (South Coast Air Quality Management District) im Rahmen der Bearbeitung der Vorschrift PR 1133 (Emission Reductions from Composting and Related Operations) ein Untersuchungsprogramm zu Emissionsfaktoren bei der Kompostierung von Grünabfällen durchgeführt worden. Dabei wurde ein Verfahren mit folgenden üblichen Komponenten getestet: tipping pile, static pile and windrows. Stredwick (2001) erzielte folgende Ergebnisse bei einem Anlagendurchsatz von 318 t d<sup>-1</sup> (Tabelle 7-46).

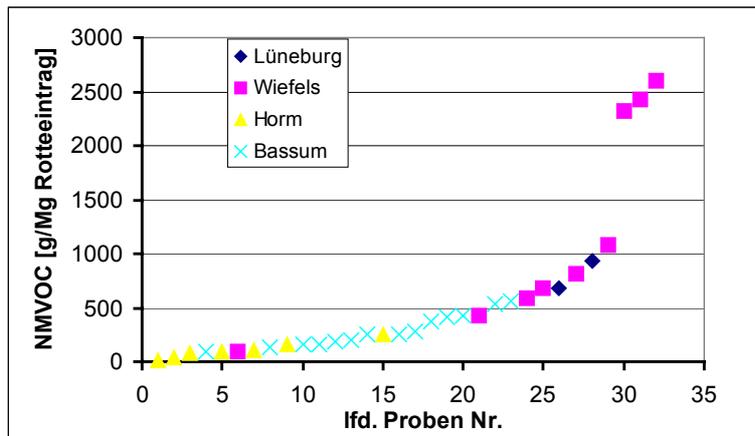
**Tabelle 7-46: Grüngutkompostierung im Sommer - Gesamtemissionen der Anlage (Stredwick, 2001)**

Gas	Abkipphaufen kg h <sup>-1</sup>	Statischer Haufen und "ADC Piles" kg h <sup>-1</sup>	Mieten kg h <sup>-1</sup>	Gesamtanlage kg h <sup>-1</sup>	Emissionsfaktor g t <sup>-1</sup>
Ammoniak	4,6	4,1	0,1	9,7	540
Methan	4,0	1,4	0,14	5,5	340
VOC	18,5	12,9	2,0	33,4	2.100

Alter des Abkipphaufens im Anlieferungsbereich – 2 Tage nach Anlieferung

Alter des Statischen Haufens – 7 Tage im nicht umgesetzten Haufen (insgesamt 9 – 14 Tage in der Anlage)

Mietenalter – 7 Tage und 30 Tage als Miete (insgesamt 40 – 45 Tage und 65 – 70 Tage in der Anlage)



**Abbildung 7-29: NMVOC im Rohgas verschiedener MBA in Deutschland (Cuhls, 2001)**

Im Vergleich zu den vorgestellten Ergebnissen aus der Kompostierung wurden von Cuhls (2001) umfangreiche Messungen der NMVOC-Frachten (Summe der Einzelstoffe) an Anlagen zur **mechanisch-biologischen Behandlung von Restmüll** durchgeführt (Abbildung 7-29). Die untersuchten Anlagen waren Intensivrottesysteme mit Rottezeiten zwischen 1 Woche (Horn), 2 Wochen (Friesland-Wiefels), 8 Wochen (Bassum mit Teilstromvergärung) und 16 Wochen (Lüneburg) mit Ablufferfassung. Aus den 32 fortlaufenden Messungen wird deutlich, dass tendenziell mit Zunahme der Behandlungsdauer die **NMVOC-Frachten bis auf etwa 1.000 g t<sup>-1</sup>**

anstiegen. Eine Ausnahme machte die MBA Wiefels, die sogar Werte von bis zu 2.600 g t<sup>-1</sup> aufwies. Hier lag die Ursache an ungünstigen Betriebsbedingungen, die zu einer massiven Strippung von biogenen VOC führten. Damit emittierte die zweiwöchige Intensivrotte bei vergleichbarer Technik zeitweise erheblich mehr VOC als die Anlage in Lüneburg mit 16 Wochen Rottedauer.

#### 7.6.5.3 C<sub>ges.</sub> (TOC) und Methan:

Für den Parameter C<sub>ges.</sub> (TOC) wurden für die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen (MBA) Emissionsgrenzwerte festgesetzt. Gemäß der Richtlinie vom 1. März 2002 sind in den zur Ableitung in die Atmosphäre bestimmten Abgasströmen folgenden Emissionsgrenzwerte für organische Stoffe (C<sub>ges.</sub>) einzuhalten:

- Halbstundenmittelwert      40 mg Nm<sup>-3</sup>
- Tagesmittelwert              20 mg Nm<sup>-3</sup>
- Massenverhältnis            100 g t<sup>-1</sup> Abfall

In Deutschland schreibt die 30. BImSchV ebenfalls Emissionsgrenzwerte für MBA vor. Für C<sub>ges.</sub> gelten die o.g. Grenzwerte der österreichischen Richtlinie für die Halbstunden- und Tagesmittelwerte. Das Massenverhältnis ist jedoch als Monatsmittelwert auf 55 g t<sup>-1</sup><sub>Abfall</sub> festgesetzt. Ebenfalls begrenzt ist das Massenverhältnis für Lachgas (N<sub>2</sub>O) mit 100 g t<sup>-1</sup><sub>Abfall</sub>.

In der TA Luft von 2002 wird unter Nr. 5.2.5 für organische Stoffe inklusive Methan im Abgas ein Massenstrom von 500 g/h oder eine Massenkonzentration von 50 mg/Nm<sup>3</sup> als Emissionswert genannt. Für Kompostierungsanlagen gibt es unter Nr. 5.4.8.5 besondere Regelungen für bestimmte Anlagenarten, die sich jedoch in Abhängigkeit von der Durchsatzleistung im wesentlichen auf Staub, Geruch und Keime beschränken (siehe Anhang).

FID-Untersuchungen an einem weiteren Kompostwerk (8 Wochen geschlossene Trapezmiete mit automatischer Umsetzung) mit einem ausgelegten Durchsatz von 50.000 t/a haben eine **C<sub>ges.</sub>-Fracht im Rohgas von 2.500 g C t<sup>-1</sup> ergeben. Diese Fracht bestand aus etwa 1.000 g C t<sup>-1</sup> NMVOC und 2.100 g Methan t<sup>-1</sup>**. Nach der Behandlung im Biofilter verringerte sich die Fracht auf 150 g C t<sup>-1</sup> NMVOC und 2.000 g Methan t<sup>-1</sup>. Das entspricht Reinigungsgraden von 85% für NMVOC und von 5% für Methan.

Jäger & Mayer (1996) haben eine Erhebung und Bilanzierung organischer Einzelkomponenten im Roh- und Reingas einer Bioabfall-Kompostierungsanlage (12-Wochen Intensivrotte, eingehaust) mit folgenden Auslegungswerten durchgeführt:

- Durchsatzleistung 15.000 t/a,
- Abluftvolumenstrom von 39.000 m<sup>3</sup>/h (Nacht, 18 – 6 Uhr) bzw. 60.000 m<sup>3</sup>/h (Tag, 6 –18 Uhr).

Die  $C_{ges.}$ -Konzentrationen (FID-Methode) betragen im Reingas zwischen 2 und 5 mg C/m<sup>3</sup>. Die Rohgas-konzentrationen (FID-Methode) lagen zwischen 22 und 41 mg C/m<sup>3</sup>. Das Emissionsmaximum lag während des mechanischen Umsetzens der Mieten. **Eine Abschätzung der  $C_{ges.}$ -Fracht belief sich auf einen Bereich von 290 bis 810 g C t<sup>-1</sup> inklusive Methan.** Unter den organischen Einzelkomponenten konnten während zweier Messkampagnen folgende Verbindungen bzw. Parameter im Roh- und Reingas detektiert werden (Tabelle 7-47).

**Tabelle 7-47: Emissionen organischer Stoffe und  $C_{ges.}$  (FID) im Roh- und Reingas (Biofilter) einer Bioabfall-Kompostierungsanlage (Jäger & Mayer, 1996)**

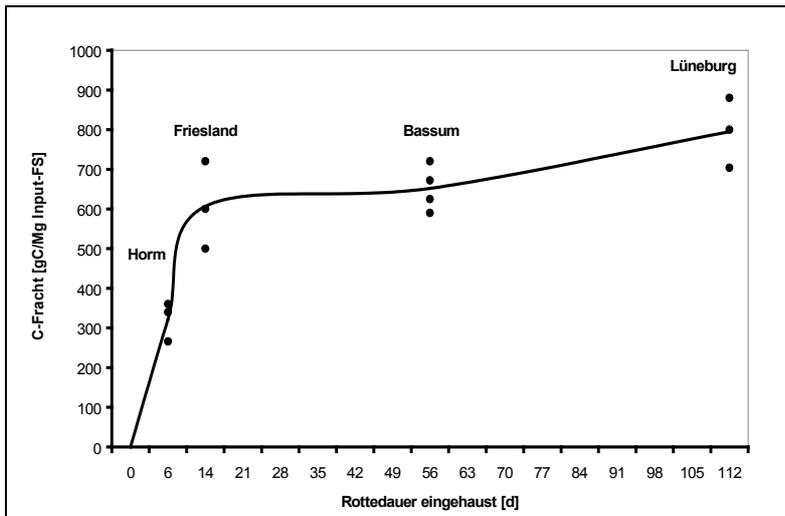
Komponenten oder Parameter	mg/Nm <sup>3</sup> Rohgas		mg/Nm <sup>3</sup> Reingas		η Wäscher + Biofilter (%)	
	1. Messung	2. Messung	1. Messung	2. Messung	1. Messung	2. Messung
C <sub>1</sub> bis C <sub>3</sub> -Aldehyde	0,21	1,1	< 0,01	< 0,01	> 98	> 99
Phenol	0,16	0,35	0,11	0,21	31	40
Ethanol	1,9	3,9	< 0,2	< 0,2	> 95	> 97
Limonen	0,70	2,7	< 0,2	< 0,2	> 86	> 96
α-Pinen	0,40	< 0,2	< 0,2	< 0,2	> 75	-
Methan	n.b.	1,1	n.b.	0,8	-	27
<b><math>C_{ges.}</math> (FID)</b>	<b>28</b>	<b>10,1</b>	<b>2,2</b>	<b>1,5</b>	<b>92</b>	<b>85</b>

Ergebnisse von Gronauer et al. (1997) stützten sich auf eine umfangreiche Untersuchung zu gasförmigen Emissionen bei der Kompostierung von Bioabfällen. Es wurden die Emissionen aus einer geschlossenen Anlage mit belüfteter Tafelmietenkompostierung aus ruhenden Mieten und während des Umsetzens erfasst (Tabelle 7-48). Demnach emittierten aus der geschlossenen Tafelmietenkompostierung  **$C_{ges.}$  in Höhe von 2.430 g C t<sup>-1</sup> inklusive Methan.** Ein wesentlicher Teil am  $C_{ges.}$  war das Methan mit 1.840 g t<sup>-1</sup>. **Die NMVOC betragen rechnerisch somit 1.050 g C t<sup>-1</sup>.** Die Abscheidung des Methan im Biofilter war mit nur 15% sehr gering. Das wirkte sich auch auf die Reinigungsleistung für  $C_{ges.}$  aus, die mit 16% ebenfalls sehr niedrig ausfiel. Ggf. führte NH<sub>3</sub> im Biofilter zu Hemmungen des TOC-Abbaus. Weitere Komponenten enthält die Tabelle 7-48.

**Tabelle 7-48: Emissionsfrachten bei einer geschlossenen Anlage mit belüfteter Tafelmietenkompostierung, Roh- und Reingas, Reinigungsleistung Abluftbehandlung (Gronauer et al., 1997)**

	TOC	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>
<b>Rohgasfracht</b>	<b>kg t<sup>-1</sup> Input-FM</b>					
Ruhend	1,65	324	104	0,08	1,26	0,29
Umsetzend	0,79	255	69	0,04	0,58	0,38
<b>Gesamt</b>	<b>2,43</b>	<b>579</b>	<b>173</b>	<b>0,12</b>	<b>1,84</b>	<b>0,67</b>
<b>Reinigungsleistung (Wäscher + Biofilter)</b>	<b>16 %</b>	<b>1 %</b>	<b>15 %</b>	<b>- 22 %</b>	<b>15 %</b>	<b>94 %</b>
<b>Reingasfracht</b>	<b>kg t<sup>-1</sup> Input-FM</b>					
<b>Gesamtemission</b>	<b>2,04</b>	<b>578</b>	<b>147</b>	<b>0,14</b>	<b>1,56</b>	<b>0,04</b>

Im Vergleich zu den vorgestellten Ergebnissen aus der Kompostierung wurden von Cuhls (2001) umfangreiche Messungen der NMVOC-Frachten (FID-Messung ohne Methan) an Anlagen zur mechanisch-biologischen Behandlung von Restmüll durchgeführt (Abbildung 7-30). Die untersuchten Anlagen waren Intensivrottesysteme mit Rottezeiten zwischen 1 Woche (Horm), 2 Wochen (Friesland-Wiefels), 8 Wochen (Bassum mit Teilstromvergärung) und 16 Wochen (Lüneburg) mit Abluftefassung.



**Abbildung 7-30: Emissionsfrachten NMVOC im Rohgas aus vier MBA mit unterschiedlicher eingehauster Rottedauer zwischen 5 Tagen und 16 Wochen, angegeben in g C t<sup>-1</sup> FM Rotteinput**

Die Zusammenstellung aller NMVOC-Bilanzierungen zeigt deutlich die weitgehende Freisetzung der NMVOC-Fracht nach 14 Tagen Behandlungsdauer in Höhe von 600 g C t<sup>-1</sup> Rotteinput. Mit längerer Behandlungsdauer stieg die Fracht bis auf etwa 700 bis max. 800 g C t<sup>-1</sup> an, wobei die RABA Bassum aufgrund der Teilstromvergärung tendenziell einen leichten Emissionsvorteil aufwies, da ein Teil der NMVOC in das Biogas ausgetragen wurde. Die gegenüber der Summe der Einzelkomponenten bis 1.000 g t<sup>-1</sup> (siehe Abschnitt VOC) geringfügig geringere Fracht ergibt sich aus der Bezugsgröße Kohlenstoff (C).

### 7.6.6 Exkurs – Natürliche, biogene VOC-Emissionen

Pflanzen produzieren eine Vielzahl von VOC, die in bedeutenden Mengen an die Atmosphäre abgegeben werden. Sie emittieren diese Stoffe kurzzeitig als Reaktion auf äußere Verletzungen oder über längere Zeit als Produkte des normalen Stoffwechsels. Etliche der biogenen VOC sind sehr reaktiv und tragen zur Produktion von bodennahem Ozon und Aerosolen bei. Die Quantifizierung dieser natürlichen Hintergrundemissionen ist deshalb eine wichtige Grundlage für Emissionskataster sowie die Planung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung. Die Wissenschaft ist sich heute einig, dass auf der globalen Skala die VOC-Emissionen aus biogenen Quellen diejenigen anthropogenen Ursprungs bei weitem übertreffen. Tabelle 7-49 zeigt die Herkunft und die geschätzten globalen Emissionen der wichtigsten biogenen VOC.

**Tabelle 7-49: Globale Emissionen biogener VOC (FAL, 2002)**

Verbindungen	Primäre biogene Quellen	Geschätzte globale Emission (in Mio. Tonnen C/ Jahr)
Isopren	Pflanzen, v.a. Laubbäume	175 – 503
Terpene	Pflanzen, v.a. Nadelhölzer	127 – 480
Teilweise oxidierte VOC, reaktiv (zB Acetaldehyd, 2-Methyl-3-buten-2-ol, C <sub>6</sub> -Verbindungen)	Pflanzen	~ 260
Teilweise oxidierte VOC, weniger reaktiv (zB Alkohole, Säuren)	Pflanzen, Böden	~ 260
Ethen	Pflanzen, Böden	8 – 25

Basierend auf Literaturdaten wurden die biogenen VOC-Emissionen (ohne Methan) der Schweiz auf eine jährliche Gesamtmenge von 50.000 Tonnen geschätzt (Tabelle 7-50). Aufgrund der Vegetationszusammensetzung machten Monoterpene den Hauptteil der biogenen VOC-Emissionen aus. Die Summe teilweise oxidierte Verbindungen betrug 15.000 Tonnen. Wälder waren die bedeutendsten Quellen; die landwirtschaftlichen Kulturen trugen 5.000 Tonnen bei. Die Emissionen aus der Landwirtschaft wurden von kurzzeitigen Spitzen während Ernte- und Trocknungsvorgängen dominiert. Von Landwirtschaftskulturen wurden vor allem Methanol, Acetaldehyd, Aceton sowie C<sub>5</sub>/C<sub>6</sub>-Alkohole und -Aldehyde emittiert (FAL, 2002).

**Tabelle 7-50: Biogene VOC-Emissionen in der Schweiz (Flächenbezug: Waldfläche: 11.733 km<sup>2</sup>, Grasfläche: 750.000 ha, Ackerfläche: 290.000 ha) (FAL, 2002)**

Verbindung	Wichtigste Quellen	Jährliche Emission (Tonnen)
Isopren	Laubwälder (v.a. Eichen, Weiden)	3.000
Monoterpene	Nadelwälder (v.a. Fichten, Föhren), sowie einige Laubbäume (Birken, Buchen)	35.000
Methanol	Wälder, Landwirtschaft	~ 10.000
Acetaldehyd	Wälder, Landwirtschaft	~ 3.000
C5/C6-Aldehyde; C5/C6-Alkohole	Landwirtschaft, Vegetation jeder Art	~ 2.000
<b>Total</b>		<b>50.000</b>

Auf die spezifische Fläche aus Wald-, Gras- und Ackerflächen der Schweiz bezogen resultiert gemäß der Schätzung der FAL (2002) eine biogene VOC-Emission von ca. 23 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

Die Abschätzung der biogenen Emissionen ist allerdings mit großen Unsicherheiten behaftet. Eine andere Studie kam im Ergebnis für die Schweiz auf Isopren- und Terpenemissionen von 87.000 Tonnen pro Jahr. Dies entspräche über 40% der für 1997 berechneten anthropogenen Emissionen (195.000 Tonnen) in der Schweiz. Eine weitere Emissionsinventur quantifizierte die biogenen VOC-Emissionen in einer Größenordnung von nur 1/5 der 87.000 Tonnen (FAL, 2002).

In Deutschland ist von biogenen VOC-Emissionen aus Nadel- und Laubbaumwälder zwischen 20 und 100 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> auszugehen, bestehend aus Alkanen, Alkenen, Alkoholen, Aldehyden, Ketonen, organischen Säuren, Isopren, Terpenen u.a. (HLfU, 1996). Die VOC-Emissionen wurden auf 47.075 t a<sup>-1</sup> geschätzt. Nach Wedel (1997) betragen 1989 die Jahressummen biogener NMVOC 315.000 t a<sup>-1</sup> (8 %) und anthropogener NMVOC 3.895 kt a<sup>-1</sup> (92 %) in Deutschland.

Genau genommen sind in menschlicher Atemluft beim Ausatmen ebenfalls VOC enthalten, die biogenen Ursprungs sind (Tabelle 7-51). Hauptkomponenten, wie Ethanol und Aceton, treten auch bei der Kompostierung als Leitkomponenten auf. Die Daten wurden einer umfangreichen Literaturlauswertung von Fenske & Paulsen (1999) entnommen.

**Tabelle 7-51: Konzentrationen und Massenströme von natürlichen VOC in der menschlichen Atemluft (Alveolarluft) (nach Fenske & Paulsen, 1999)**

Verbindung in der Atemluft	Durchschnittskonzentration	Massenstrom bei normaler Atemrate von 0,8 m <sup>3</sup> /h
Acetaldehyd	35 µg/m <sup>3</sup>	28 µg/h-Mensch
Aceton	2.330 µg/m <sup>3</sup>	1.900 µg/h-Mensch
2-Butanon	47 µg/m <sup>3</sup>	38 µg/h-Mensch
Dimethylsulfid	30 µg/m <sup>3</sup>	24 µg/h-Mensch
Ethanol	1.400 µg/m <sup>3</sup>	1.100 µg/h-Mensch
Ethylacetat	62 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/h-Mensch
Isopropanol	370 µg/m <sup>3</sup>	300 µg/h-Mensch
Methanol	430 µg/m <sup>3</sup>	340 µg/h-Mensch
n-Propanol	320 µg/m <sup>3</sup>	260 µg/h-Mensch
<b>VOC (Summe Einzelstoffe)</b>	<b>5.024 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>4.020 µg/h-Mensch (96,5 mg/d)</b>

### 7.6.6.1 Schlussfolgerungen zu den VOC-Emissionen aus den vorliegenden Untersuchungen

Die Höhe der  $C_{\text{ges}}$  Emissionen (FID-Messung<sup>28</sup>) wird im wesentlichen durch die Einzelkomponente Methan geprägt. Für einen Vergleich mit dem Parameter NMVOC ist daher vom FID-Ergebnis der  $\text{CH}_4\text{-C}$  abzuziehen.

Die Rotteführung (Temperatur, Wassergehalt, Belüftung, Sauerstoffversorgung) kann die Emissionshöhe mit Spitzenwerten über über  $2.000 \text{ g t}^{-1}$  erheblich beeinflussen.

- Aus den vorliegenden Daten ergeben sich C-Frachten ohne Methan zwischen 290 und ca.  $1.000 \text{ g C t}^{-1}$  im Rohgas.
- Emissionsfrachten für VOC aus geschlossener Kompostierung mit Biofilter betragen 50 bis  $100 \text{ g C t}^{-1}$  Rotteinput (VOC-Abscheidung ca. 80 - 90%), darunter befinden keine toxikologisch relevanten Stoffe.
- Die Freisetzung vorhandener VOC erfolgt innerhalb der ersten Behandlungstage während der Selbsterwärmung. Dies gilt auch für die Neubildung und Freisetzung von natürlichen Metaboliten (mikrobielle VOC).
- Der überwiegende Anteil der VOC-Emission wird erst während der Kompostierung neu gebildet. Die Leitkomponenten der VOC sind zB Ethanol, Acetaldehyd, 2-Butanon, Aceton, Terpene und andere kurzkettige Kohlenwasserstoffe. Es sind weitgehend die identischen Substanzen, die auch aus Pflanzen emittieren. So ist zB von biogenen VOC-Emissionen aus Nadel- und Laubbaumwälder zwischen  $20$  und  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  auszugehen.
- Hohe Belüftungsraten und hohe Temperaturen fördern tendenziell die VOC-Emissionen.
- Unterschiede zwischen natürlich und aktiv belüfteten Systemen sind im Rahmen der Auswertung nicht zu erkennen, wobei wie gesagt die Stripping flüchtiger Verbindungen mit der Höhe der Belüftung zunimmt. Hieraus kann kein Vorteil für zwangsbelüfteten Systeme abgeleitet werden.
- Die Abluftreinigung mit Biofiltern vermindert den  $C_{\text{ges}}$  ohne Methan (NMVOC) um max. 80% bis 90%. Dabei sollte die Volumenbelastung des Biofilters  $100 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$  nicht überschreiten.
- Beeinträchtigungen der Biofilterleistung können durch hohe  $\text{NH}_3$ -Beladungen des Rohgases herrühren (siehe Anforderungen hierzu im vorangehenden Abschnitt 7.6.2).
- Die hauptsächlichen Frachten resultieren für beide Verfahren (Biogene Abfälle und MBA) aus einem vergleichbaren Stoffspektrum, nämlich: Ethanol, 2-Propanol, Ethylacetat, Ethansäure, 2-Butanon, Aceton, Limonen, Pinen, Dimethyldisulfid.
- Im Gegensatz zur MBA werden bei der Bioabfallkompostierung keine chlorierten oder fluorierten Kohlenwasserstoffe (LHKW, FCKW) oder andere anthropogene Gefahrstoffe emittiert.
- Im Vergleich zur MBA werden nur äußerst geringe Mengen (lediglich in der Höhe der allgemeinen Hintergrundkonzentration) an n-Alkanen und aromatischen Kohlenwasserstoffen (BTEX) freigesetzt. Benzol, Alkylaromaten und Alkane werden, wenn, dann im wesentlichen über Kfz-Abgase (Radlader, Anlieferfahrzeuge) ausgestoßen.
- Schlussfolgerungen für den Arbeitnehmerschutz:
  - Arbeitszeiten in rohgasbelasteten Bereichen sind auf das absolute Mindestmaß zu beschränken.
  - Bei erforderlichen Wartungsarbeiten ist zuvor durch das Öffnen der Tore zu lüften (zu beachten sind hierbei mögliche Geruchsemissionen).
  - Effektive Absaugung bei geschlossenen Anlagenteilen mit Druckbelüftung
  - Tragen der Atemschutzausrüstung
- Der potenzielle Beitrag der Kompostierung (ca.  $490 - 670 \text{ t a}^{-1}$ ) zu den nationalen anthropogenen NMVOC-Emission in Österreich ( $232.000 \text{ t a}^{-1}$ ) ist mit weniger  $0,3\%$ <sup>29</sup> als sehr gering einzustufen.
- Die wesentlichen technischen und betrieblichen Maßnahmen der Reduktion von geruchsbildenden VOC für offene und geschlossene Kompostierungsverfahren sind dem Abschnitt 7.2 zu entnehmen.

<sup>28</sup> FID ... Flammenionisationsdetektor

<sup>29</sup> Daten für 2001

## 7.7 Lärmemissionen

### 7.7.1 Allgemeine Voraussetzungen

Grundsätzlich werden im Bereich von Kompostierungsanlagen mobile (zB Radlader, Häcksler, Siebmaschinen, Umsetzgeräte) und/oder stationäre maschinelle Einrichtungen (zB Lüftungsgebläse, Förderbänder, Mischer) betrieben, von welchen Lärmemissionen ausgehen können. Eine weitere Lärmquelle ist der dem Betrieb zugeordnete Verkehr (An- und Abtransport, innerbetriebliche Transporte).

Aus diesem Grund ist bei der Errichtung von Anlagen und im Rahmen des Betriebsablaufes der Schutz vor Lärm sowohl für Arbeitnehmer als auch für Anrainer zu berücksichtigen.

Zur Beurteilung von Lärmemissionen und -immissionen wird auf die ÖAL-Richtlinien<sup>30</sup> und auf die allgemeinen Anforderungen laut Gewerbeordnung und auf die ArbeitnehmerInnenschutzvorschriften verwiesen.

#### **Anforderungen an den arbeitnehmerbezogenen Lärmschutz:**

- Am Arbeitsplatz darf keine Lärmbelastung mit einem lärmäquivalenten A-bewerteten Pegel über 85 dB länger als 8 Stunden pro Tag bzw. 40 Stunden pro Woche auftreten.
- Bei darüber hinausgehenden Lärmbelastungen sind Schutzmaßnahmen zu setzen sowie passende, persönliche Schutzausrüstungen (zB Kapselgehörschutz) vom Arbeitgeber zur Verfügung zu stellen. Diese sind vom Arbeitnehmer widmungsgemäß zu tragen und vom Vorgesetzten zu kontrollieren; dieser darf ein Nichttragen nicht dulden.

#### **Anforderungen an den anrainerbezogenen Lärmschutz:**

- Bei der Beurteilung sind neben den eigentlichen betriebsanlagenbedingten Schallimmissionen die vorherrschenden Umgebungsgeräusche (Grundgeräuschpegel, energieäquivalenter Dauerschallpegel und Schallspitzenpegel), die örtliche Widmung und die tatsächliche Nutzung in Abhängigkeit von der Tageszeit zu berücksichtigen.
- Planungsrichtwerte für zulässige Lärmimmissionen (Immissionsgrenzwerte) sind der ÖNORM S 5021-1 zu entnehmen.
- Grundsätzlich ist eine Kernarbeitszeit Montag bis Freitag von 6-22 Uhr und Samstags von 8 bis 17 Uhr einzuhalten. Je nach den örtlichen Gegebenheiten und der Nähe von Anwohnern (Wohngebiet) können die Betriebszeiten auch eingeschränkt werden.

---

<sup>30</sup> ÖAL-Richtlinien des Österreichischen Arbeitsring für Lärmbekämpfung; <http://www.oal.at/>

## 8 Sicherung der angestrebten Endproduktqualität

Die Basisanforderung an die Kompostqualität ist in Österreich in der Kompostverordnung (BGBl. II Nr. 292/2002) geregelt. Diese zielt im wesentlichen auf die Produktwahrheit in den verschiedenen Anwendungsbereichen und die ausreichende Kenntnis der Komposteigenschaften für eine nutzbringende und umweltschonende Verwendung der Komposte. Ein weiterer Aspekt ist der Schutz des Anwenders oder des Konsumenten kompostgedüngter landwirtschaftlicher und gärtnerischer Produkte vor negativen Auswirkungen auf deren Gesundheit.

Es muss zwischen den wertgebenden Eigenschaften und den Vorsorgeaspekten der Kompostqualität unterschieden werden.

Die wesentlichen wertgebenden Eigenschaften sind:

- Gehalt an humifizierter organischer Substanz;
- ausgewogene Nährstoffgehalte (N, P, K, Ca, Mg und Spurennährstoffe);
- organische Sorption der Nährstoffe, so dass diese nicht unmittelbar auswaschbar sind; allmähliche Freisetzung von Nährstoffen (N, S, P) während der und über mehrere Vegetationsperioden;
- basisch wirksame Stoffe, Stabilisierung des pH-Wertes und Verbesserung des Puffervermögens von Böden;
- Erhöhung der Bindungsstellen und damit der Sorption von Schadstoffen (insbesondere Schwermetalle);
- Immobilisierung und Entgiftung von potenziell toxischen Substanzen;
- Verbesserung des Abbaus von Xenobiotika;
- Bildung, Erhaltung und Verbesserung der Aggregatstabilität und der Bodenstruktur;
- Vermehrung des Luftporenvolumens und somit Verbesserung des Bodenlufthaushaltes;
- Verbesserung der Wasserleitfähigkeit und des Wasserhaltevermögens;
- Verbesserung der Filterfunktion von Böden;
- Erhöhung der bodenbiologischen Aktivität (→ Lebensraumfunktion, Biodiversität);
- mittel- und langfristig wachstumsfördernde und ertragsteigernde Effekte auf Pflanzen bei suboptimalen Bedingungen;
- phytosanitäre Wirkungen vor allem im Substratbereich aber auch im Ackerbau, u.a. durch eine ausgewogenere Nährstoffversorgung als bei rein mineralischer Stickstoffdüngung.

Die wesentlichen Anforderungen hinsichtlich der Schadstoffvorsorge:

- hygienische Unbedenklichkeit für Mensch, Tier und Kulturpflanze,
- weitgehende Freiheit von Verunreinigungen (Fremd- und Störstoffe),
- niedrige Gehalte an potenziellen Schadstoffen, die nicht mehr als die Hintergrundbelastung der organischen Ausgangsstoffe widerspiegeln sollten.

Eine weitere Anforderung für eine nachhaltig erfolgreiche Kompostverwertung ist die Gewährleistung einer gleichbleibenden Produktqualität durch ein entsprechendes Qualitätsmanagement auf den Betrieben.

## 8.1 Übersicht zu verbindlichen Grenz- und Richtwerten

### 8.1.1 Schwermetalle

Die Grenzwerte für Schwermetalle gemäß KompostVo (BGBl. II Nr. 292/2001) der Tabelle 8-1 sind einzuhalten, wenn der Kompost für die jeweilige Anwendung vorgesehen ist oder diese Anwendung in der Deklaration nicht ausdrücklich ausgeschlossen ist. Anforderungen für einen Anwendungsbereich gelten für alle zugehörigen Anwendungsfälle.

**Tabelle 8-1: Grenzwerte für Schwermetalle gemäß KompostVo**

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	----- mg kg <sup>-1</sup> TM -----						
Qu.Klasse A+	0.7	70	70	0,4	25	45	200
Qu.Klasse A	1.0	70	150	0.7	60	120	500
Qu.Klasse B	3	250	500 <sup>a)</sup>	3	100	200	1.800 <sup>b)</sup>

a) Richtwert für Cu: 400 mg kg<sup>-1</sup> TM (bei Überschreiten des Richtwertes ist der Cu-Gehalt in der Kennzeichnung anzugeben)

b) Richtwert für Zn: 1.200 mg kg<sup>-1</sup> TM (bei Überschreiten des Richtwertes ist der Zn-Gehalt in der Kennzeichnung anzugeben)

Tabelle 8-2 zeigt auf Basis einer bundesweiten Untersuchung (Amlinger & Peyr, 2001[A207]) den relativen Anteil der Komposte, die einerseits als Gesamtprobe (also für alle 7 Metalle) als auch aufgeschlüsselt für die einzelnen Metalle, die Grenzwerte der Klasse A+ nach KompostVo, die jenen des Anhang II A der EU-VO 2092/91 EWG über den ökologischen Landbau entsprechen, einhalten. Die Darstellung erfolgte nach den Kategorien Bundesländer, Stadt, Land und Wien. Zusätzlich wurden 27 Biobetriebe mit landwirtschaftlichen Kompostierungsanlagen ausgewertet. Werte unter 50 % sind mit Rahmen gekennzeichnet.

**Tabelle 8-2: Prozentueller Anteil an Kompostproben und einzelnen Analysenwerten, die die Anforderungen für Bioabfallkomposte gemäß Anhang II A EU-VO 2092/91 EWG erfüllen (Amlinger & Peyr, 2001[A208])**

Anzahl Datensätze (ausreifebereit)	Gesamtproben	Cd Cr Cu Hg Ni Pb Zn							
		<= Eu-Vo 2092/91							
----- [%] -----									
Kärnten	19	30,0%	100,0%	100,0%	88,9%	90,9%	42,1%	66,7%	88,9%
NÖ/Bgld	103	36,0%	88,1%	100,0%	82,5%	97,0%	68,6%	69,3%	66,0%
Oberösterreich	99	59,6%	96,0%	100,0%	94,9%	99,0%	88,7%	86,6%	75,8%
Salzburg	12	8,3%	16,7%	100,0%	33,3%	100,0%	25,0%	25,0%	66,7%
Steiermark	96	22,2%	98,8%	94,8%	96,0%	92,9%	35,4%	90,7%	84,0%
Tirol	133	48,3%	86,7%	100,0%	80,6%	92,1%	94,7%	62,2%	73,8%
Vorarlberg	8	62,5%	100,0%	100,0%	87,5%	100,0%	100,0%	75,0%	75,0%
Wien	112	25,7%	97,3%	100,0%	84,8%	94,6%	81,3%	47,3%	50,9%
Österreich	582	38,9%	91,3%	99,1%	86,3%	95,0%	73,5%	69,1%	70,5%
Land	426	44,5%	90,2%	98,9%	87,4%	95,2%	73,5%	75,1%	75,1%
Städte	35	20,7%	87,9%	100,0%	77,1%	93,9%	47,1%	65,7%	76,5%
Wien	112	25,7%	97,3%	100,0%	84,8%	94,6%	81,3%	47,3%	50,9%
Biobauern mit landwirtschaftlicher Kompostierungsanlage	27	39,1%	92,0%	92,6%	100,0%	92,3%	72,0%	64,0%	85,2%

Es lassen sich zwei Gruppen unterscheiden: In der Betrachtung der einzelnen Metalle werden die Grenzwerte der Klasse A+/EU-Bio-Verordnung für Cd, Cr, und Hg österreichweit von über 90 % (91,3 – 99,1 % der Analysewerte) erfüllt. Dem gegenüber liegt für Cu, Ni, Pb und Zn dieser Anteil zwischen 69,2 und 86,3 %. Deutlich lassen sich auch einzelne Bundesländer für die Elemente Ni (25 – 100 %), Pb (25 – 90,7 %) und Zn (50,9 – 88,9 %) differenzieren. Dieses Ergebnis erscheint nach einzelnen Metallen bewertet auf den ersten Blick u.U. durchaus ausreichend, ausschlaggebend ist jedoch, wie viele Kompostproben sämtliche Einzelgrenzwerte unterschreiten und somit die Anforderung als Gesamtprobe erfüllen. Dieser Pro-

zentsatz beträgt für 582 Kompostproben nur mehr 38,9 %. Es ist festzustellen, dass in der Gesamtprobenbetrachtung städtische Herkünfte deutlich ungünstiger abschneiden (20,7 und 25,7 %) als ländliche (44,5 %). Im Vergleich der Bundesländer (Gesamtproben) reicht die Bandbreite der Erfüllungsquoten von 8,3 % bis 62,5 %, wobei noch einmal auf die sehr unterschiedlich breite Datenbasis aus den einzelnen

Bundesländern verwiesen werden muss. Die Kompostqualitäten aus Biobetrieben, die biogene Abfälle aus Haushalten kompostieren und auf eigenen Flächen verwenden, repräsentieren hier im wesentlichen das Ergebnis für Österreich. Die Gesamtergebnisse sind demnach gut übertragbar.

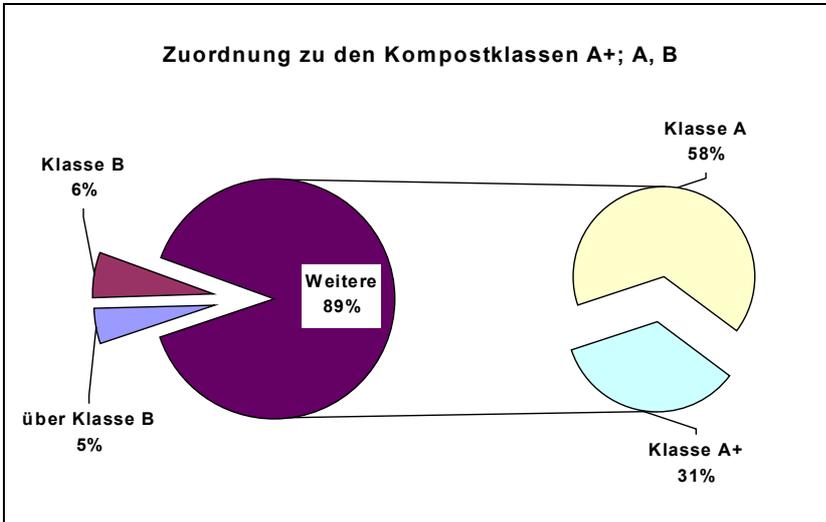


Abbildung 8-1: Aufteilung von 65 Komposten von landwirtschaftlichen Kompostierungsanlagen aus NÖ auf die Kompostklassen der KompostVo (Bala et al., 2000[A209]).

Tabelle 8-3: Relativer Anteil einzelner Schwermetalle als Ursache der Grenzwertüberschreitung (Amlinger & Peyr, 2001[A211])

	Anzahl vollständige Datensätze (ausreisereinigt)	Kompostproben n Eu-Vo 2002/01	Relativer Anteil der Schwermetalle an der Grenzwertüberschreitung						
			Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
<b>BAK</b>	n	n	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Kärnten BAK	10	7	0,0%	0,0%	28,6%	0,0%	71,4%	42,9%	28,6%
NÖ/Bgld BAK	89	57	15,8%	0,0%	21,1%	3,5%	47,4%	43,9%	52,6%
Oberösterreich BAK	94	38	10,5%	0,0%	13,2%	2,6%	28,9%	34,2%	57,9%
Salzburg BAK	12	11	90,9%	0,0%	72,7%	0,0%	81,8%	81,8%	36,4%
Steiermark BAK	63	49	0,0%	6,1%	4,1%	8,2%	95,9%	8,2%	16,3%
Tirol BAK	116	60	21,7%	0,0%	30,0%	13,3%	10,0%	66,7%	45,0%
Vorarlberg BAK	8	3	0,0%	0,0%	33,3%	0,0%	0,0%	66,7%	66,7%
Wien BAK	109	81	2,5%	0,0%	21,0%	6,2%	23,5%	70,4%	66,7%
<b>Osterreich BAK</b>	<b>501</b>	<b>306</b>	<b>12,4%</b>	<b>1,0%</b>	<b>21,2%</b>	<b>6,5%</b>	<b>40,5%</b>	<b>50,0%</b>	<b>48,7%</b>
Osterreich GSK	63	31	19,4%	0,0%	6,5%	0,0%	45,2%	51,6%	32,3%
alle Komposte	564	337	13,1%	0,9%	19,9%	5,9%	40,9%	50,1%	47,2%
Land BAK	363	202	15,8%	1,5%	20,3%	6,9%	43,1%	42,6%	43,1%
Städte BAK	29	23	17,4%	0,0%	30,4%	4,3%	78,3%	43,5%	34,8%
Wien BAK	109	81	2,5%	0,0%	21,0%	6,2%	23,5%	70,4%	66,7%
Biobauern BAK	23	14	14,3%	0,0%	0,0%	7,1%	50,0%	64,3%	14,3%

lung, wobei 35 % der Analysen den Grenzwert der Klasse A+ von 45 mg kg<sup>-1</sup> TM um mehr als 50 % überschreiten.

Dieses Ergebnis wird durch eine Untersuchung an 65 Biokomposten von Landwirtschaftlichen Kompostierungsanlagen in Niederösterreich bestätigt. (siehe Abbildung 8-1; Bala et al., 2000[A210]). Hieraus ist abzuleiten, dass es auch bei Anwendung bester Logistik und Technologie für den einzelnen Komposthersteller aufgrund natürlicher Qualitätsschwankungen nicht möglich ist, kontinuierlich Komposte für den ökologischen Landbau herzustellen.

Die Überschreitungen der Qualitätsanforderungen der Klasse A+ (insgesamt bei 306 von 501 vollständigen Datensätzen aus der österreichweiten Erhebung) werden in aufsteigender Reihenfolge durch die Metalle Kupfer (21,2 %) < Nickel (40,5 %) < Zink (48,7 %) < Blei (50,0 %) verursacht (Tabelle 8-3).

Regionale Unterschiede lassen sich näherungsweise auch hier anhand der Auswertung für die Bundesländer identifizieren (siehe eingerahmte Felder in Tabelle 8-3, die jene Ergebnisse kennzeichnen, bei welchen bei mehr als 50 % der Proben die Überschreitung durch das jeweilige Metall [mit]verursacht wird). Die Metalle Cd, Hg, Cu, Ni und Zn überschreiten jeweils in 75 % der Proben den Grenzwert um weniger als 50 % (30 – 48 %). Pb zeigt eine deutlich breitere Verteilung,

## 8.1.2 Weitere Anforderungen der KompostVo mit Grenzwerten

Die Kompostverordnung gibt berechtigterweise nur für jene Parameter Grenzwerte vor, die hinsichtlich des Schutzes der Anwender und der Umwelt eine Rolle spielen (Vorsorgeaspekt). Einen Grenzfall stellen organische Substanz, elektrische Leitfähigkeit bzw. Größtkorn dar, die zwar für die Anwendungsbereiche wichtige Qualitätskriterien darstellen und daher für die Deklaration des Produktes bedeutsam sind, jedoch nicht unbedingt im Sinne der Vorsorge begrenzt werden müssten. Im Falle der organischen Substanz ist ein Mindestwert zur Abgrenzung von „Erden“ (bodenähnliche Substrate) sinnvoll. Im Gegensatz zu Österreich gilt in Deutschland ein Mindestgehalt von 15 % OM i.d. TM.

Wie die Erfahrung aus der Produktion von Bioabfallkomposten unter Zusatz von maximal 15 % Erde und Altkompost in der Kompostausgangsmischung zeigt, entspricht dieser Wert den praktischen Anforderung besser, auch im direkten Übergang zur Definition von Erdsubstraten.

Eine Reduktion von 20 auf 15 % OM i.d. TM im Zuge einer Novellierung der KompostVo wäre daher notwendig, ohne der Gefahr einer unzulässigen „Verdünnung“ zu viel Spielraum zu geben!

Tabelle 8-4 fasst die sonstigen Qualitätsanforderungen an Kompost nach KompostVo zusammen.

**Tabelle 8-4: Anforderungen in Abhängigkeit von der Anwendungsmöglichkeit**

Parameter	Anwendungsbereich / -fall	Grenzwert (Einheit)
<b>Organische Substanz</b>	Landwirtschaft, Landschaftsbau und Landschaftspflege, Rekultivierungsschicht auf Deponien, Biofilterbau	≥ 20 % TM
<b>elektrische Leitfähigkeit</b>	Hobbygartenbau, Sackware	3 mS/cm
<b>Größtkorn</b>	Landwirtschaft, Landschaftsbau und Landschaftspflege, Rekultivierungsschicht auf Deponien	40 mm
<b>Σ Ballaststoffe &gt; 2 mm</b>	Landwirtschaft	0,5 % TM
<b>Σ Ballaststoffe &gt; 2 mm</b>	Landschaftsbau und Landschaftspflege, Rekultivierungsschicht auf Deponien	1 % TM
<b>Kunststoffe &gt; 2 mm</b>	Landwirtschaft	0,2 % TM
<b>Kunststoffe &gt; 2 mm</b>	Landschaftsbau und Landschaftspflege, Rekultivierungsschicht auf Deponien	0,4 % TM
<b>Kunststoffe &gt; 20 mm</b>	Landwirtschaft	0,02% TM
<b>Kunststoffe &gt; 20 mm</b>	Landschaftsbau und Landschaftspflege, Rekultivierungsschicht auf Deponien	0,04% TM
<b>Metalle</b>	Landwirtschaft	0,2 % TM
<b>Glas</b>	Ackerbau, Grünland (einschließlich Schipisten), Feldgemüsebau, Weinbau, Obstbau, Gartenbau, Hobbygartenbau, Pflanzungen	0,2 % TM
<b>Wachstumstest mit Kresse</b>	Sackware, Hobbygartenbau, Pflanzungen, Mischkomponente zur Erdenherstellung	15 % m/m oder 25 % Volumenprozent (v/v) Kompost: Pflanzenfrischmasse (PFM): ≥ 100 % vom Vergleichssubstrat, Keimrate: ≥ 95 %, Keimverzögerung: 0 Tage; 30 % m/m oder 50 % v/v Kompost: PFM: ≥ 90 % vom Vergleichssubstrat, Keimrate: ≥ 90 %, Keimverzögerung: 0 Tage
<b>Keimfähiger Samen + austriebsfähige Pflanzenteile</b>	Sackware, Gartenbau, Hobbygartenbau	≤ 3 Pflanzenkeime/Liter

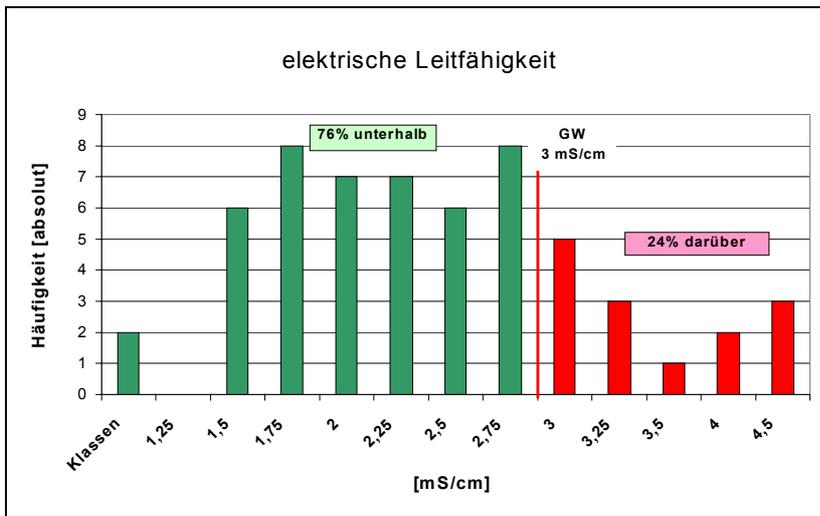


Abbildung 8-2: Häufigkeitsverteilung der el. Leitfähigkeit in 65 Kompostproben von 13 landwirtschaftlichen Kompostierungsanlagen (Bala et al., 2000[A212]).

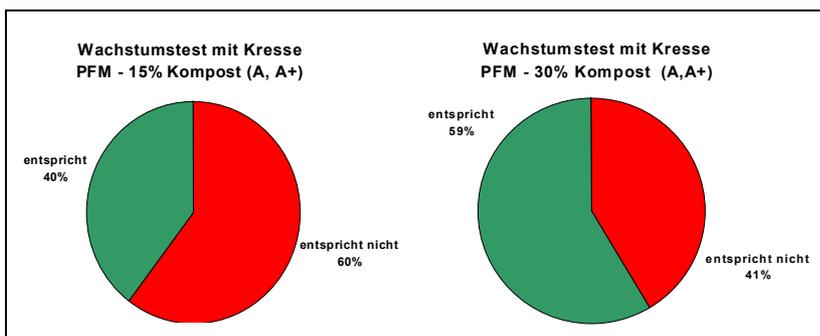


Abbildung 8-3: Ergebnis des Kressetests mit 15 bzw. 30 % (m/m) Kompostanteil in 65 Kompostproben von 13 landwirtschaftlichen Kompostierungsanlagen (Bala et al., 2000[A213]).

Einen kritischen Grenzwert stellt insbesondere bei der Herstellung von Komposten aus biogenen Abfällen aus Haushalten (Biotonne) die **elektrische Leitfähigkeit** als Indikator für den Salzgehalt dar. Die Begrenzung mit  $3 \text{ mS cm}^{-1}$  für Sackware und den Anwendungsbereich Hobbygartenbau wurden zB bei 13 mehrfach beprobten Kompostanlagen von  $\frac{1}{4}$  der Proben überschritten.

Das deutet darauf hin, dass verstärktes Augenmerk auf die Auswahl der Mischungspartner gelegt werden muss.

Noch problematischer ist das Ergebnis des Pflanzenverträglichkeitstests mit Kresse, wo nur 40 % der Kompostproben die geforderten 100 % der Pflanzenfrischmasse relativ zum Vergleichssubstrat auch bei der niedrigsten Mischungsstufe von 15 % (m/m) Kompost erreichten! Da dieser Mindeststandard gemäß KompostVo für die Anwendungsbereiche Sackware, Hobbygartenbau, Pflanzungen, Mischkomponente zur Erdenherstellung zutrifft, zeigt dies die Bedeutung einer sorgfältigen Rotteführung bis hin zu einem vollausgereiften Humusprodukt auf.

Die Praxiserfahrungen mit dem in der KompostVo vorgeschriebenen Kressetest, mit der Möglichkeit, die Testmischungen sowohl nach Volumens- als auch nach Gewichtsverhältnissen herzustellen, und die Aufsättigung der Mischung mit Wasser vor der Aussaat erweisen sich als problematisch. Die Volumsbezogene Abmischung folgte der praxisgemäßennicht vollständig!

## 8.2 Weitere Anforderungen an die Qualitätsbildung von verwendungsfertigen Kompostprodukten

Hinsichtlich der wertgebenden Qualitätskriterien sind neben der möglichst humifizierten (in Huminstoffen stabilisierten) organischen Substanz die Haupt- und Spurennährstoffe und die Pufferwirkung über die basisch wirksamen Stoffe zu nennen. Zu letzteren gehören neben dem Gehalt an Kalzium und Magnesium (als CaO und MgO) auch die mehrbasischen Braun- und Grauhuminsäuren.

Gerade hinsichtlich der Charakterisierung der organischen Substanz, der Humusfraktionen und der Abschätzung von deren kurz-, mittel- und langfristigem Verhalten im Boden ist eine wesentliche Frage eine vertiefende Grundlagenforschung. Für die Praxis wären nach wie vor die Dynamik der Stickstoffmobilisierung und die Eignung von Komposten als Substratkomponente für die spezifischen Anwendungsbereiche von Bedeutung. Eine konsequente vergleichende Aufarbeitung des systematischen Einflusses verschiedener Kompostierungsverfahren (zB intensiv gegenüber extensiv bearbeitete Rotteverfahren, Verfahren mit und ohne Zwangsbelüftung, Kompostierungsdauer, bakterien- gegenüber pilzdominierte Rotte, Wurmkompostierung, anaerobe Vorbehandlung, Temperaturprofil, Einfluss von Rottephasen mit tendenziellem Sauerstoffmangel etc.) auf diese grundlegenden Qualitätsparameter fehlt bisher. Die Schwierigkeit liegt hier vor allem an dem Schlüsselfaktor der Ausgangsmischung die einen wesentlichen Einfluss auf das Endprodukt ausübt. Für einen Verfahrenvergleich müsste dieser Faktor durch die Herstellung vollkommen homogener Ausgangsmischungen ausgeschaltet werden. Zu Bedenken ist jedoch, dass die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Vielzahl anderer Ausgangsmaterialien und deren Kombinationen nur bedingt möglich wäre.

Ausgehend von dem Grundlegenden Ziel in der Landwirtschaft, den Eiweiß- und Humusstoffwechsel des Bodens im Sinne einer möglichst autarken Nährstoffbereitstellung für das Pflanzenwachstum zu optimieren, besteht hier noch weitreichender Forschungsbedarf nicht zuletzt auch für die (Weiter)Entwicklung innovativer Untersuchungsparameter, die diese dynamischen Prozesse charakterisieren.

Die Autoren dieser Studie sind der Überzeugung, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt zwar eine Fülle an Praxiserfahrungen diskutiert werden, jedoch noch keine wissenschaftlich abgesicherte und eindeutig abgrenzbare Empfehlung zum Stand der Technik für Kompostierungsverfahren gegeben werden kann, die diese spezifischen dynamischen anwendungsorientierten Qualitätseigenschaften systematisch begründen würde.

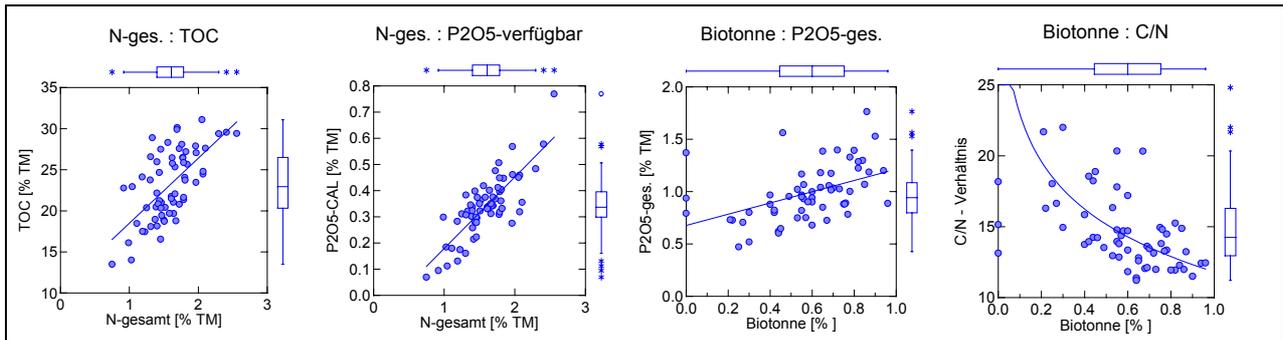
Nährstoffreiche Ausgangsmaterialien (Biotonne, Gewerbe, Klärschlamm) führen in der Regel auch zu nährstoffreicheren Komposten. Klärschlammkomposte weisen zwar hohe Stickstoff- und Phosphor-, jedoch vergleichsweise niedrige Kaliumgehalte auf. Tabelle 8-5 gibt einen Überblick zu den Gehaltsbereichen an wertgebenden Inhaltsstoffen in Bio- und Grünschnittkomposten.

**Tabelle 8-5: Gehaltsbereiche an wertgebenden Inhaltsstoffen in Bio- und Grünschnittkomposten**

	<b>N<sub>ges</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>O.S.</b>	<b>C/N</b>	<b>pH</b>	<b>H<sub>2</sub>O</b>
	<b>%TM</b>	<b>%TM</b>	<b>%TM</b>	<b>%TM</b>	<b>%TM</b>	<b>%TM</b>			<b>%FM</b>
<b>Bioabfallkompost</b>									
Amlinger 1993	1,2	0,5	1,06	9,5	2,5	32,9	16,5	8,0	37
Fricke et al.1991	1,15	0,62	1,01	3,95	0,8	33,3	16,9	7,56	37,68
Poletschny 1993	1,15	1,31	1,36	1,76	0,73	33	16	---	---
Amlinger 1997	1,6	0,44	1,07	7,37	1,01	34,1	12,1	7,6	43,1
Arge NÖ 96/97 <sup>1)</sup>	1,59	0,97	1,44	9,27	2,34	39,9	14,9	7,3	33,97
Deutschland 2003 <sup>2)</sup>	1,52	0,83	1,26		0,84	37,3			
<b>Bereich</b>	<b>1,2-2,0</b>	<b>0,8-1,4</b>	<b>1,2-2,4</b>	<b>1,5-12</b>	<b>0,5-3</b>	<b>18-40</b>	<b>10-18</b>	<b>7-8</b>	<b>30-45</b>
<b>Grünschnittkompost</b>									
Fricke et al.1991	0,79	0,41	0,77	3,0	0,63	32,5	20	7,58	34,84
Poletschny 1993	0,8	0,4	0,98	2,1	0,6	33	20	---	---
Jauch 1993	1,0	0,5	0,8	8,7	2,0	30	18	7,6	42
Amlinger 1997	1,48	0,33	0,84	6,38	1,19	36	14,5	7,6	46,7
<b>Bereich</b>	<b>0,8-1,2</b>	<b>0,4-0,8</b>	<b>0,8-1,4</b>	<b>1,5-10</b>	<b>0,5-3</b>	<b>25-40</b>	<b>12-20</b>	<b>7-8</b>	<b>30-45</b>

1) Bala et al. (2000); 2) Reinhold (2003[PS214])

Die folgende Abbildung 8-4 zeigt Zusammenhänge zwischen einzelnen wertgebenden Komposteigenschaften bzw. zwischen Nährstoffgehalt und dem Anteil an biogenen Abfällen aus der Biotonne auf. Es besteht eine deutliche Korrelation zwischen dem N-Gehalt und den Gehalten an Organischer Substanz und Phosphor. Der Anteil an Biotonne in der Ausgangsmischung wirkt sich positiv auf den P-Gehalt aus und führt zu einem engeren C/N-Verhältnis und damit zu einer besseren Nährstoffwirkung von biotonnenreichen Komposten.



**Abbildung 8-4: Beziehungen zwischen Qualitätsmerkmalen (Nährstoffgehalten) und dem Anteil an biogenen Abfällen aus der Biotonne (berechnet aus den Kompostuntersuchungen aus Bala et al., 2000)**

Diese grundsätzlichen Zusammenhänge und Tendenzen müssen in der Qualitätsproduktion berücksichtigt werden, wenn Komposte mit möglichst gleichbleibender Qualität für differenzierte Anwendungsbereiche hergestellt werden sollen.

## 9 Verfahren und Betriebsformen der Kompostierung

Bei der Beschreibung der Kompostierungssysteme und –verfahren müssen drei Ebenen unterschieden werden:

- (A) Die einzelnen Prozessabschnitte und Anlagenteile mit ihren grundsätzlichen Funktionen und den verfahrenseitigen, betrieblichen, sicherheitstechnischen und umweltrelevanten Anforderungen
- (B) Kompostierungsverfahren im engeren Sinne – im wesentlichen Haupt- und Nachrottesysteme
- (C) Technische, maschinelle und bauliche Anlagen und Aggregate zur Erfüllung der einzelnen Funktionen in den jeweiligen Prozessabschnitten (zB Zerkleinerungsmaschinen, Mischaggregate, Umsetzgeräte, Siebmaschinen, Windsichter, Magnetabscheider, etc.)

Nach einer kurzen allgemeinen Darstellung der Systematik der Kompostierungsverfahren werden die einzelnen Prozessabschnitte und Anlagenteile sowie die wesentlichen Varianten der eingesetzten Maschinen und technischen Systeme systematisch beschrieben.

Es wird ausdrücklich betont, dass in Entsprechung des Auftrages ausschließlich Kompostierungssysteme, die in Österreich zum Einsatz kommen, beschrieben werden. Den Autoren ist durchaus bewusst, dass europa- bzw. weltweit weitere technische Verfahren angeboten werden.

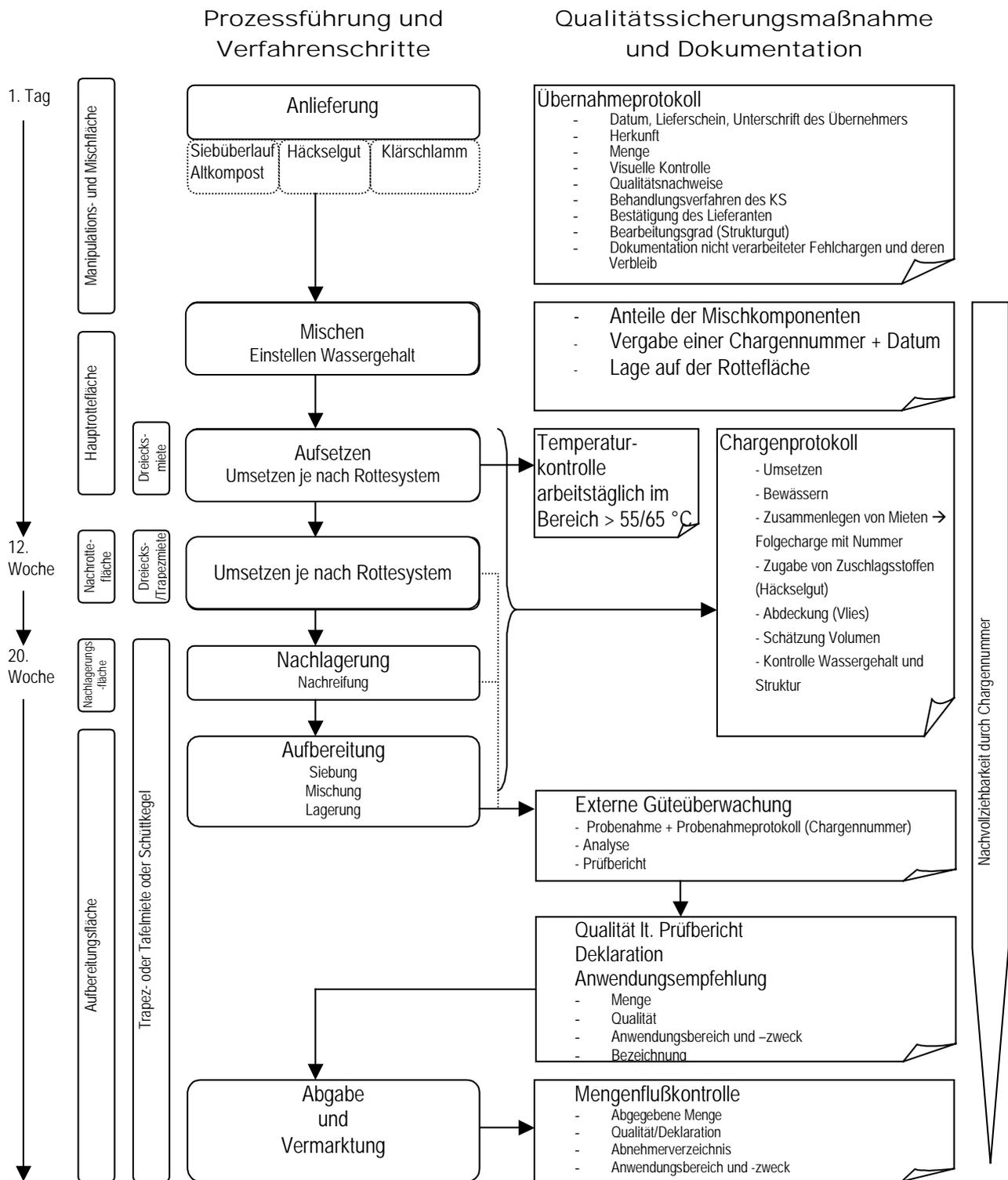
Auch werden die Systeme nach ihren Haupttypen anhand von repräsentativen Beispielen beschrieben und nicht sämtliche am Markt befindliche Verfahrens- bzw. Firmenvarianten, sofern diese keine für das Verfahren wesentliche Besonderheiten aufweisen.

Die Prozessabschnitte sind nach funktionalen Anlagenbereichen gegliedert:

- 9.1 Materialübernahme – Anlieferungsbereich
- 9.2 Materialaufbereitung
- 9.3 Hauptrotte
- 9.4 Nachrotte
- 9.5 Feinaufbereitung
- 9.6 Nachlagerung

Abbildung 9-1 zeigt ein Ablaufschema einer qualitätsorientierten Kompostierungsanlage (offene Mietenkompostierung) am Beispiel einer Klärschlammkompostierung.

Neben einer klaren zeitlichen und räumlichen Zuordnung der einzelnen Prozessabschnitte hat die nachvollziehbare und übersichtliche Dokumentation eine wichtige Funktion. Wesentliche Richtschnur ist hierbei die KompostVo, die entscheidende Vorgaben zu den zu führenden Aufzeichnungen macht.



**Abbildung 9-1: Schema der Prozessführung und begleitende Qualitätssicherungsmaßnahmen sowie Dokumentation am Beispiel einer Klärschlammkompostierungsanlage mit offener Mietenkompostierung**

## **9.1 Materialübernahme – Anlieferungsbereich**

Die Materialübernahme in Verbindung mit der Eingangskontrolle und der kurzfristigen Zwischenlagerung der übernommenen Materialien ist die erste Tätigkeit im Verantwortungsbereich des Kompostherstellers.

Besonderes Augenmerk ist neben einer zügigen Verarbeitung auf die qualitative Eingangskontrolle im Sinne der KompostVo zu legen, um die Voraussetzungen für die Herstellung gleichbleibend hoher Qualität und die Nachvollziehbarkeit von Herkunft und Qualität der verarbeiteten Materialien zu gewährleisten.

### **9.1.1 Beschreibung der Hauptfunktionen**

Im Anlieferungsbereich erfolgt

- die Übernahme der zur Kompostierung angelieferten Abfälle,
- evtl. deren Zwischenlagerung bis zur weiteren Verarbeitung,
- die Identifikation der Abfallarten im Sinne der KompostVo, BGBl. II Nr. 292/2001 sowie die Eingangskontrolle gemäß ÖNORM S 2201,
- die Identifikation und evtl. Aussonderung bzw. Rückweisung von Fehlchargen und Störstoffen, insbesondere, wenn keine eigenen Einrichtungen zur Störstoffabscheidung im weiteren Verfahrensablauf vorgesehen sind,
- die Übernahme von Hilfs- und Zuschlagsstoffen,
- die Mengenregistrierung (Masse in Tonnen); bei Kleinmengen (< 5 m<sup>3</sup> pro Lieferung) von privaten Haushalten und ähnlichen Einrichtungen auch Schätzung der Masse aus dem angelieferten Volumen (Anlage 6, Z. 1(c) KompostVo)

### **9.1.2 Technisch-bauliche Grundsysteme, Verfahrenstypen**

Die Übernahme bzw. evtl. Zwischenlagerung erfolgt

- auf einem gesondert ausgewiesenen Bereich der befestigten – im Fall von verholzten Materialien auch unbefestigten – Fläche mit oder ohne Überdachung,
- in einem Flachbunker mit seitlicher baulicher Begrenzung mittels bewehrter Betonwände,
- in Tiefbunkern mit folgenden Ausführungsvarianten – nur empfohlen bei kontinuierlicher Entnahme zur weiteren Aufbereitung (Vorabsiebung, Störstoffabtrennung, Homogenisierung, Abmischung zur KompostausgangschARGE etc.)
  - offen mit oder ohne Überdachung
  - wenn gekapselt, mit Luftabsaugung und Abluftreinigung (Biofilter).

### **9.1.3 Technisch-bauliche Ausstattung des Übernahmebereiches und von Zwischenlagerflächen**

- Wenn die Anlage nicht ständig besetzt ist, sind beim Eingang zumindest ein versperrbares Tor oder ein Schranken und ein Schild mit den Öffnungszeiten sowie ein Hinweis auf die Unzulässigkeit von Anlieferungen außerhalb dieser Zeit anzubringen.
- Eigene Wiegeeinrichtung bei Anlagen > 6.000 t Input/Jahr. Von dieser Verpflichtung ausgenommen sind Anlagen, die ausschließlich organische Abfälle aus dem Garten- und Grünflächenbereich gemäß Anlage 1 Kompostverordnung (BGBl. I Nr. 292/2001) mit den Nummern 102, 103, 104, 105, sowie Rinden und Holz anderer Herkunft und Friedhofsabfälle (Nr. 116) übernehmen.

- Flüssigkeitsdichte Basisabdichtung mit Abwassererfassung:
  - Bei Übernahme von biogenen Abfällen aus Haushalten (Biotonne), Küchenabfällen aus der Gastronomie und der Lebensmittelverarbeitung, frischem Grasschnitt, sonstigen nicht verholzten Materialien mit hohem Wassergehalt, Klärschlamm oder pastös, schlammartigen Materialien aller Art
  - Ableitung der Abwässer (Press, Niederschlags- und Reinigungswässer) in Auffangbecken bzw. Einleitung in das öffentliche Kanalnetz (beachte Abwasseremissionsverordnung – Indirekteinleiter, BGBL 9/1999/II)
  - Nicht erforderlich bei verholzten Strukturmaterialien in rohem oder gehäckseltem Zustand
- Überdachung bzw. Umhausung des Anlieferungsbereiches ist bei einem Jahresdurchsatz von mehr als 3.000 t in Gebieten mit einem Jahresniederschlag von mehr als 1.300 mm und, wenn zugleich zumindest eines der folgenden Kriterien zutrifft, erforderlich:
  - Übernahme über einen Zeitraum von 9 Monaten und mehr
  - Anteil an feuchten N-reichen Materialien (zB küchenabfallreiche Biotonne, feuchte Abfälle aus der Lebensmittelindustrie, Klärschlamm) von über 25 % (v/v) im Jahresmittel  
Ausgenommen ist ein gesonderter Übernahmebereich für verholzte Garten- und Parkabfälle sowie Häckselgut.
- Im Falle einer Umhausung/Kapselung: Ausstattung mit Luftabsaugung und Abluftbehandlung
- Möglichkeit zur vollständigen Entleerung/Reinigung.
- Ausreichende Übernahmekapazität (allenfalls erforderliche Pufferkapazität bei Betriebsstörungen u. dgl. ist zu beachten).
- Getrennte Übernahmebereiche für trockene, verholzte Garten- und Parkabfälle, Stroh etc. einerseits und für Biotonnen-Materialien oder sonstige nicht verholzte biogene Abfälle andererseits. Dies ist erforderlich, da eine getrennte Aufbereitung und gezielte Mischung dieser Materialtypen erfolgt.
- Getrennter Übernahme/Ablagerungsbereich für kommunalen und gewerblichen Klärschlamm.
- Gegebenenfalls bei Zwischenlagerung Schutz gegen Materialverfrachtung durch Wind, Vögel, Nagetiere (zB Abdeckung mit organischen Deckschichten oder Kompostvlies).
- Einrichtungen zur Zwischenlagerung von Fehlchargen und Störstoffen bis zur ordnungsgemäßen Entsorgung (gesondert ausgezeichnete Container, Behälter).
- Sofern keine arbeitstägliche Aufbereitung (Abmischung, auch Vorbehandlung im Sinne von Abschnitt 5.2), mindestens jedoch innerhalb von 24 Stunden, erfolgt, Umhausung eines allfälligen Zwischenlagers bei Anlagen, die mehr als 3.000 t biogene Abfälle aus Haushalten (ausgenommen jenes für verholztes Strukturmaterial), Küchenabfälle aus der Gastronomie und der Lebensmittelverarbeitung, frischen Grasschnitt, sonstige nicht verholzte Materialien mit hohem Wassergehalt übernehmen. Ausstattung mit Luftabsaugung und Abluftbehandlung.
- Die Lagerflächen sind in technisch dichter Form auszuführen. Sogenannte Tiefbunker sind als Zwischenlager nicht geeignet. Auf ausreichendes Gefälle für eine Ableitung und Sammlung von Sickerwasser bzw. zum Zweck der Reinigung ist zu achten.
- Ab einer Lagerungsdauer von mehr als 4 Wochen und in Gebieten mit einem Jahresniederschlag von mehr als 1.300 mm sind die Zwischenlagerflächen für Klärschlamm jedenfalls zu überdachen.
- Die einzelnen Lagerflächen/Zwischenlagerflächen für die verschiedenen Materialarten sind zu beschildern und eindeutig zu kennzeichnen

#### 9.1.4 Anforderungen an die Betriebsführung und Dokumentation

- **Anwesenheit einer zur Übernahme autorisierten Person**
  - Die Anwesenheit einer für die Übernahme befugten Person ist grundsätzlich während der Anlieferungszeiten zur sofortigen Durchführung der Eingangskontrolle gemäß ÖNORM 2201 bzw. KompostVo erforderlich!

- Als übernommen gilt eine Anlieferung nach erfolgter Eingangskontrolle und Übernahme durch die autorisierte Person. Eine Ablagerung außerhalb der offiziellen Anlieferungszeiten ist ohne vorherige Zustimmung des Betreibers verboten und daher auch nicht als übernommen zu werten. (*konsenslose Ablagerung*)
- Eine Ausnahme der direkten Anwesenheitspflicht besteht während der kommunalen Anlieferung von biogenen Abfällen aus Haushalten (Biotonne) bzw. von kommunalem Abfällen aus dem Garten und Grünflächenbereich unter folgenden Bedingungen:
  - ⇒ Das Material muss an einem gesondert gekennzeichneten Ort abgeladen und gelagert werden und
  - ⇒ innerhalb von 24 h nach der Anlieferung nachkontrolliert werden,
  - ⇒ die Anlieferungszeiten sind vertraglich festzulegen, und
  - ⇒ über elektronische (Chipkarte) oder eine andere Form der Dokumentation sind vom Übergeber Herkunft, Masse und genaue Materialbezeichnung gemäß KompostVo anzugeben.
- Auf eine **sortenreine Lagerung** ist dann zu achten, wenn dies für die erforderliche Differenzierung der Produktqualität und die entsprechende Deklaration der Komposte erforderlich ist (zB für biologischen Landbau, Klärschlämme unterschiedlicher Herkunft und Qualität zur Erzeugung von *Qualitätsklärschlamm-Kompost* oder *Kompost*; Details zu den erforderlichen Aufzeichnungen siehe Fachinformation zur KompostVo, des BMLFUW).
- Zugleich mit der Aufzeichnung über die übernommenen Materialien gemäß KompostVo erfolgt die Dokumentation des Verbleibes derselben nach den Kriterien:
  - Zuordnung zu einer Charge (eindeutige Chargennummer, Masse, Abfallbezeichnung) oder
  - Zuordnung zu einem Zwischenlager (eindeutige Bezeichnung des Zwischenlagers),
  - Fehlcharge (falls unzulässige Ausgangsmaterialien bzw. ein zu hoher Verunreinigungsgrad festgestellt wurde, oder die ggf. erforderlichen Qualitätsnachweise gemäß ÖNORM S 2201 und KompostVo fehlen); weitere Erfordernisse und Vorgaben zur Dokumentation siehe Fachinformation des BMLFUW zur KompostVo.
- Rasche, arbeitstägliche Aufbereitung, bzw. kontrollierte Zwischenlagerung (zumindest innerhalb von 24 Stunden) der angelieferten strukturarmen bzw. wasser- oder stickstoffreichen Materialien (zB Biotonne, Gemüseabfälle, frischer Grasschnitt). Die Aufarbeitung ist im *Betriebstagebuch* festzuhalten.
 

Zur Erst-Aufarbeitung zählen (Details siehe Abschnitt 5 und 9.2):

  - Abmischen feuchter Materialien mit trockenem Strukturmaterial
  - Evtl. Abdecken mit Kompostvlies bei kleinen Volumina (Höhe < ca. 1,5 m) und zu erwartenden (Stark)Regenereignissen
  - Einstellen eines für die Hauptrotte günstigen C/N Verhältnisses und Wassergehaltes
  - eventuelle Beigabe von geruchs- und wasserbindenden Hilfsmitteln, Zuschlagstoffen und Mischungspartnern
  - Vorbehandlung im Sinne von Abschnitt 5.2
  - Im Falle von kommunalem Klärschlamm ist eine Zwischenlagerung möglich. Dies dient ausschließlich einem optimierten Materialmanagement (Überbrücken eines Zeitraumes bis die notwendigen Mengen und Mischungspartner im Sinne der Prozesssteuerung des Hauptrotteverfahrens bereitgestellt werden können). Dies ist durch Aufzeichnungen zu belegen. Die Aufbereitung zur Hauptrotte hat zum frühest möglichen Zeitpunkt zu erfolgen.
- Periodische Reinigung
- Die angelieferten biogenen Abfälle aus Haushalten sollen auf befestigten, flüssigkeitsdichten Flächen entladen werden. Dabei können Störstoffe aussortiert werden. In Kunststoffsäcken angeliefertes Material sollte möglichst händisch entleert und die Kunststoffsäcke entfernt werden. Entleeren durch automatische Sackaufreißer ist möglich.
- Das Aufkommen von verholzten Grünabfällen unterliegt starken saisonalen Schwankungen. Es sind daher ausreichend dimensionierte Zwischenlagerflächen vorzusehen.

#### 9.1.4.1 Auszug aus der Fachinformation zur KompostVo – Aufzeichnungen von Zwischenlagern und Verbleib übernommener Kompostausgangsmaterialien

In der Praxis gehen die Ausgangsmaterialien nach positiver Eingangskontrolle **2 Wege**:

- ⇒ **Direktes Einmischen und Aufsetzen in einer Kompostcharge**
- ⇒ **Vorsammeln in einem Zwischenlager**

Siehe auch → Aufzeichnung über die Zusammensetzung einer Kompostcharge

Da nachvollziehbar sein muss, aus welchen Ausgangsmaterialien eine Kompostcharge hergestellt wurde, ist im Übernahmejournal eine Spalte **Verbleib** vorzusehen, in der entweder die Chargen-Nr. einer Kompost-Ausgangsmaterialien oder die Bezeichnung des Zwischenlagers eingetragen wird.

In der Praxis existieren häufig **verschiedene Zwischenlager für jeweils ähnliche Materialgruppen**, von denen immer wieder Material für das Aufsetzen von Kompostmieten entnommen wird.

Für die Nachvollziehbarkeit der Materialflüsse wird diesen Zwischenlagern jeweils eine eigene Bezeichnung zugeordnet.

Auch wenn noch keine Kompostcharge mit eigener Chargen-Nr. zur Kompostierung aufgesetzt wird, **dürfen die ordnungsgemäß übernommenen Ausgangsmaterialien vermischt werden** (zB Häckselgut mit Laub, Getreideabfällen und Stroh) **[siehe § 9 Abs. (3)]**.

Für die weitere Bezeichnung der zum Aufsetzen verwendeten Materialien aus diesen Zwischenlagern können **folgende Typen an Zwischenlagern** unterschieden werden:

- **Zwischenlager für Materialien, die nur einer Code-Nr. entsprechen**

Handelt es sich um Materialien, die alle eindeutig einer Code-Nr. entsprechen, kann bei Entnahme von Material aus diesem Zwischenlager die spezifische Bezeichnung und Code-Nr. verwendet werden

⇒ **Zwischenlager (1) „Holz“**: Häckselgut, Baum- und Strauchschnitt. Bei Entnahme aus diesem Lager zum Aufsetzen einer Kompostausgangsmaterialien wird die **Code-Nr. 105 / Holz verwendet**.

- **Zwischenlager für Materialien der Anlage 1 Teil 1 („biogene Abfälle“), die mehreren Code-Nr. entsprechen**

⇒ **Zwischenlager (2) zB „Bio“**: vermischte lagerfähige „biogene Abfälle“ (zB Holz und Strauchschnitt gehäckselt, Heu, Rinde, Trester, Laub, Kleinanlieferungen aus Privatgärten etc)

Material, dass zum Aufsetzen einer Kompostausgangsmaterialien aus diesem Zwischenlager entnommen wird, wird als **Code-Nr. 101 / Bioabfall aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen** bezeichnet.

- **Zwischenlager für kommunalen Klärschlamm**

Da die Kenntnis der Inputmaterialien bei Verwendung von Materialien der **Anlage 1 Teil 2** eine zentrale Voraussetzung für die korrekte Anwendung und Kennzeichnung darstellt, müssen die einzelnen Mischungspartner der Kompostausgangsmaterialien eindeutig nachvollziehbar sein. Dies ist jedoch nur möglich, wenn nachvollziehbar ist, welche Materialien zum Zeitpunkt der Materialentnahme im Zwischenlager (evtl. gemischt) vorhanden waren.

Im Zwischenlager zB für kommunalen Klärschlamm darf daher kein anderes Material zugemischt werden. Herkunft, Menge und Qualität (v.a. hinsichtlich der Schwermetallgehalte) der zwischengelagerten Klärschlamm sind aufzuzeichnen. Eine kontinuierliche Zugabe und Entnahme zum Aufsetzen von Kompostausgangsmaterialien ist jederzeit möglich.

Wenn qualitativ hochwertige Klärschlamm aufgrund ihres Schwermetallgehaltes entsprechend Anlage 2 Tabelle 2c der KompostVo zu **Qualitätsklärschlammkompost** verarbeitet werden sollen, muss bei Bedarf ein gesondert ausgezeichnetes Zwischenlager eingerichtet werden.

⇒ **Zwischenlager (3) zB „KS-I“**: Unvermischter hochwertiger Klärschlamm zur Herstellung von Qualitätsklärschlammkompost

⇒ **Zwischenlager (4) zB „KS-II“**: Unvermischter Klärschlamm der aufgrund seiner Schwermetallgehalte zur Herstellung von Kompost (nicht Qualitätsklärschlammkompost!!!) geeignet ist!

■ **Vergabe einer eindeutigen Chargen-Nummer bei Abmischung von Klärschlamm mit anderen Materialien**

Ab dem Moment, ab welchem Klärschlämme unmittelbar nach Übernahme bzw. im Zwischenlager mit anderen Materialien (zB Rinde, alter Kompost, Häckselgut, Stroh etc.) abgemischt werden, muss eine eindeutige Chargen-Nr. vergeben werden, und die Inputmaterialien müssen entsprechend der Verpflichtung zur Aufzeichnung der Zusammensetzung der Kompostausgangschargen (siehe Tabelle 9-2) aufgezeichnet werden. Das heißt in diesem Fall handelt es sich nicht mehr um ein Zwischenlager sondern bereits um eine Behandlung im Sinne der KompostVo.

**Weitere typische Beispiele für Zwischenlager**

⇒ **ZL-Stroh** [unvermisches Stroh; Code-Nr. 106 \*]

⇒ **ZL-Siebreist** [sauberer Siebrückstand der in neue Kompostchargen eingemischt wird; Code-Nr. 105 / Holz \*]

⇒ **ZL-Erde** [zB Aushub von nicht verunreinigter Erde; Code-Nr. 304 / Erde \*]

⇒ **ZL-RBA** [Rückstände aus der **B**iologischen **A**bfallbehandlung = Zwischenlager für Abfälle, die bei der Kompostierung abgetrennt wurden sowie verunreinigte Siebreiste. Diese werden bis zur ordnungsgemäßen Entsorgung zwischengelagert]

\* die angegebene **Bezeichnung bzw. Code-Nr.** ist bei der Entnahme aus dem Zwischenlager **für die Dokumentation der Zusammensetzung einer KompostausgangschARGE** zu verwenden.

-----

**Aufzeichnung über die Zusammensetzung einer Kompostcharge**

Ein **Kompostcharge entsteht in dem Moment, in dem Ausgangsmaterialien zur Kompostierung** (→exotherme biologische Umwandlung mit gezielter Steuerung des Feuchtigkeits-, Temperatur- und Sauerstoffhaushaltes) **ordnungsgemäß aufgesetzt werden.**

Jeder Kompostcharge ist **eine eigene, unverwechselbare Chargen-Nummer** zuzuteilen

Für das Aufsetzen einer **KompostausgangschARGE** gibt es **3 mögliche Herkünfte** der Materialien:

- ⇒ Einmischen und Aufsetzen **unmittelbar nach der Übernahme** in die Kompostanlage (meist frisches Material zB Biotonne)
- ⇒ Entnahme **aus einem Zwischenlager** (lagerfähiges, trockenes Material oder Zuschlagstoffe; zB Häckselgut, Stroh oder Erde)
- ⇒ Zumischen einer **bestehenden Kompostcharge**, für die bereits eine Chargen-Nr. vergeben wurde.

In Tabelle 9-2 wird ein Beispiel für die Aufzeichnung gemäß **Anlage 6 Pkt. 3.b)** gegeben.

Bei der Entnahme von zB **gemischtem biogenen Abfällen** [im Beispiel aus *Zwischenlager (2) „Bio“*] kann für die Aufzeichnung der Zusammensetzung der Kompostcharge die **Code-Nr. 101** „Biogene Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen“ verwendet werden.

Tabelle 9-1 gibt einen Überblick über gängige Umrechnungsfaktoren (t/m<sup>3</sup>) von Volums- auf Gewichtangaben für Ausgangsmaterialien und Kompost.

Tabelle 9-1: Faustzahlen für die Schüttdichte von Ausgangsmaterialien und von Kompost

<b>Material</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Schüttdichte</b>
<b>Biotonne</b>	<i>städtisch; vorw. Küchenabfälle; nass</i>	0,85 t/m <sup>3</sup>
	<i>städtisch; Gebiete mit Garten</i>	0,65 t/m <sup>3</sup>
	<i>ländliche Gebiete; hoher Gartenanteil</i>	0,45 t/m <sup>3</sup>
<b>Strauch- und Baumschnitt</b>	<i>lose</i>	0,2 t/m <sup>3</sup>
<b>Häckselgut</b>	<i>gehäckselt; trocken</i>	0,3 – 0,4 t/m <sup>3</sup>
<b>Grasschnitt</b>	<i>frisch; lose</i>	0,5 t/m <sup>3</sup>
	<i>trocken; lose</i>	0,2 t/m <sup>3</sup>
<b>Mist</b>	<i>strohreich</i>	0,4 t/m <sup>3</sup>
	<i>stroharm</i>	0,75 t/m <sup>3</sup>
<b>Kompost</b>	<i>frisch; 1,5 – 4 Monate</i>	0,6 t/m <sup>3</sup>
	<i>mittel; ab 3 Monate</i>	0,7 t/m <sup>3</sup>
	<i>stark vererdet</i>	0,85 – 1,1 t/m <sup>3</sup>
<b>Bodenmaterial</b>		1,3 – 1,5 t/m <sup>3</sup>
<b>Klärschlamm (20-30 % TM)</b>	<i>20-30 % TM</i>	1,0 – 1,2 t/m <sup>3</sup>
<b>Asche</b>		1,0 t/m <sup>3</sup>

**Tabelle 9-2: Beispiel zur Aufzeichnung der Zusammensetzung einer Kompostausgangscharge und zur weiteren Chargendokumentation bis zur verwendungsreifen Kompostcharge**

**Beachte:** Dies ist ein Beispiel, das die Nachvollziehbarkeit der Materialströme gewährleistet. Jede andere Art der Dokumentation, die dieser Anforderung genügt, ist ebenso zulässig!

Chargen-Nr.: M-1/2002		Lage: Hauptrotteplatz					
Aufsetzen							
Datum/ Zeitraum	Code Nr./ Material	Masse [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ] <sup>(2)</sup>	Entnahme von <sup>(1)</sup> :	Lieferschein Nr. <sup>(2)</sup>	Anmerkung	
4.1.2002	101	23	33		L-Bio-01/2002		
11.1.2002	101	44	63		L-Bio-02/2002		
18.1.2002	101	32	46		L-Bio-03/2002		
18.1.2002	106	2	15	ZL(3) Stroh			
25.1.2002	101	52	75		L-Bio-04/2002		
4.1-25.1.2002	101	40	120	ZL(2) Bio		Gemischtes Häckselgut	
4.1.- 25.1.2002	105	15	30	ZL(4) Siebrest		Sauberer Siebrest = Holz	
30.1.2002	CHARGE NR.: M- 12/2001	150	230				
4.1.-30.1.2002	304	20	15	ZL(5) Erde		Aushub	
<b>Summe Kompostausgangscharge</b>		<b>378</b>	<b>627</b>				
Zusammenlegen							
Datum/	Zusammenlegen von	Menge <u>vor</u> Zusammenlegung		Menge <u>nach</u> Zusammenlegung		Neue Chargen Nr.	Anmerkung
		Masse [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ] <sup>(2)</sup>	Masse [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ] <sup>(2)</sup>		
15.3.2002	Ch.1: M-1/2002	235	320	480	680	M-1a/2002	Hauptrotteplatz
	Ch.2: M-2/2002	245	360				
	Ch.3:						
4.7.2002	Ch.1: M-1a/2002	280	400	420	600	M-1b/2002	Nachrotteplatz; Tafelmiete
	Ch.2: M-3/2002	140	200				
	Ch.3:						
Sieben							
Datum/ Zeitraum	Abgesiebte Charge	Ch. Nach Siebung		Siebrest		Verbleib Kompostcharge	Verbleib Siebrest
		Masse [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ] <sup>(2)</sup>	Masse [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ] <sup>(2)</sup>		
15.3.2002	Ch.NR.: M- 1B/2002	300	380	50	90	Halle, Box 1	ZL:(4) Siebrest.....☒
<b>Anmerkungen:</b> Siebung bei 20 mm mit Windsichtung und Magnetabscheider							

<sup>(1)</sup> BEI ENTNAHME VON ZWISCHENLAGERN [(zB ZL.(2) BIO; ZL.(4) STROH; ZL.(4) SIEBREST UND ZL.(5) ERDE]

<sup>(2)</sup> DIESE ANGABE IST NICHT VERPFLICHTET, DIEN T JEDOCH DER ABSCHÄTZUNG DER GEWICHTSANGABEN ÜBER DIE UMRECHNUNG MIT ERFAHRUNGSWERTEN

### 9.1.5 Mögliche Emissionen und emissionsrelevante Maßnahmen

- Geruch (insbesondere bei Bioabfällen aus Haushalten und Gastronomie)
- Keime
- sonstige gasförmige Emissionen
- flüssige Emissionen
  - Presswasser,
  - Abwasser aus der Anlagenreinigung
  - Verunreinigtes Niederschlagswasser
- Staub

#### 9.1.5.1 Geruchsemissionen bei der Materialübernahme

*Siehe Abschnitt 7.2*

#### 9.1.5.2 Keimemissionen bei der Materialübernahme

*Weitere Literaturlauswertungen siehe auch Abschnitt 7.5.*

Bei den angelieferten Abfällen ist mit krankheitserregenden Keimen, Pilzsporen u. dgl. zu rechnen. Daher ist aus hygienischen sowie ästhetischen Gründen der manuelle Umgang besonders mit Bioabfall aus Haushalten auf das unbedingt nötige Mindestausmaß (Aussortieren von Störstoffen) zu beschränken. Dabei ist eine entsprechende Schutzkleidung (zB Handschuhe, Mundschutz) zur Verfügung zu stellen. Fahrzeugkabinen sind mit entsprechenden Staubfiltern und erforderlichenfalls mit Klimaanlage auszustatten.

Im **Anlieferungsbereich** wird der bereits ankompostierte Bioabfall und Grünschnitt zwischengelagert. Im Bioabfall, wie auch in allen anderen organischen Abfallfraktionen, sind immer biologische Agenzien enthalten. Im Bioabfall aus Haushalten können auch die dort vorkommenden Infektionserreger auftreten. Neben den Küchen- und Gartenabfällen sind als zusätzliche Erregerquellen Abfälle aus der Heim- und Kleintierhaltung (Mist, Einstreu) in Betracht zu ziehen. In den seltensten Fällen handelt es sich um obligat pathogene Mikroorganismen, vielmehr um Keime, die an den Umsetzungsvorgängen beteiligt sind oder die sich als Begleitflora im Substrat vermehrt haben (Reinthalter et al., 2000[A215]).

Hinsichtlich der Standzeiten der Biotonnen bestehen nach verschiedenen Untersuchungen zwischen 1- und 2-wöchigen Abfuhrintervallen keine Unterschiede in der Gesamtkeimbelastung. Dies betrifft sowohl das Öffnen der Biotonne bzw. den Entleervorgang in das Müllfahrzeug als auch das Abkippen in der Kompostierungsanlage (Bidlingmaier et al., 1996[A216]; Martens & Böhm, 1997[A217]).

Beim Abkippen, Sortieren und Manipulieren der frischen biogenen Abfälle werden Aerosolwerte von 102 – 105 KBE/m<sup>3</sup> Luft angegeben (Grüner, 1995[A218]). Medianwerte aus 3 Messverfahren gemittelt über 6 Bioabfallkompostanlagen und ein Jahr ergaben für den Anlieferungsbereich Belastungswerte von 10<sup>4,3</sup> bis 10<sup>5,2</sup> KBE/m<sup>3</sup> (Martens & Böhm, 1997[A219]). Untersuchungen an Biotonnen nach 14-tägiger Standzeit ergaben eine mittlere Gesamtkeimzahl von 3\*10<sup>4</sup> KBE/m<sup>3</sup>, was der gleichen Größenordnung von Restmülltonnen und Müllsäcken des Dualen Systems entsprach. (Konrad et al., 1997[A220])

#### 9.1.5.3 Geruchsemissionen bei der Materialübernahme

*Siehe Abschnitt 7.6*

#### 9.1.5.4 Flüssige Emissionen bei der Materialübernahme

*Siehe Abschnitt 7.3.*



**Abbildung 9-2: Beispiel für einen Überdachten Annahmebereich mit getrennten Sektoren für Grüngut und Biotonne, bzw. nicht verholzte Gewerbeabfälle**

## 9.2 **Materialaufbereitung**

### 9.2.1 **Wesentliche Funktionen**

Die Aufbereitung der Ausgangsmaterialien dient in erster Linie der biologisch-physikalischen Substratoptimierung mit dem Ziel

- eines möglichst verlustarmen Rotteverlaufs in erster Linie in der Hauptrottephase (→ Verhältnis der mikrobiologisch sukzessiv aufschließbaren Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen)
- der Gewährleistung des erforderlichen Gasaustausches und Wärmeabtransportes über den gesamten Rottekörper über die Einstellung der Strukturstabilität (→ freies Luftporenvolumen),
- möglichst geringer Schadstoffgehalte sowie der angestrebten Produktqualität hinsichtlich Nährstoffniveau und Bildung stabiler Humusstoffe (Tonmineral-Humuskomplex).

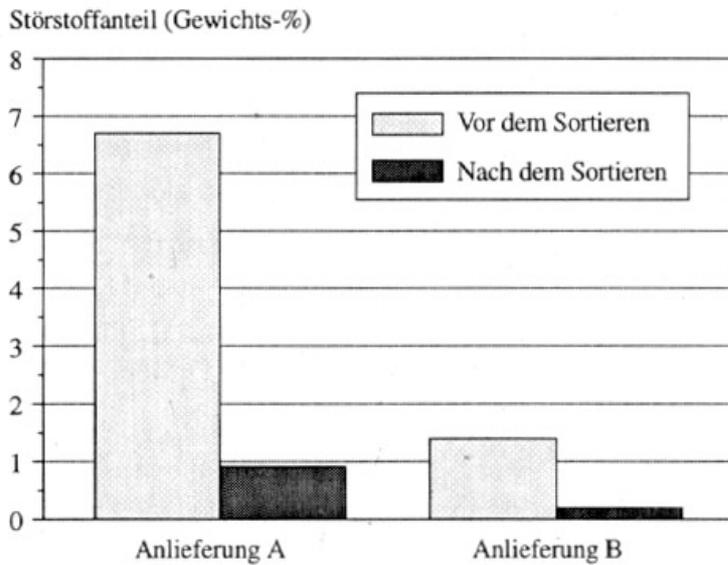
Die wesentlichen Maßnahmen der Aufbereitung sind daher:

- Aussortierung von Störstoffen
- fasernd-reißende bzw. quetschende Zerkleinerung, von großstückigen, verholzten Ausgangsstoffen,
- Mischung und Homogenisierung sowie Konditionierung:
  - Einstellung der Feuchtigkeit,
  - Einstellung des C/N-Verhältnisses,
  - Einstellung eines für den Gasaustausch erforderlichen Luftporenvolumens (Struktur),
  - Beigabe von Hilfs- und Zuschlagstoffe zur Optimierung von Rotteprozess und Endproduktqualität

### 9.2.2 **Aussortierung/Abtrennung von Störstoffen im Zuge der Materialaufbereitung**

#### 9.2.2.1 Funktion der Störstoffabtrennung

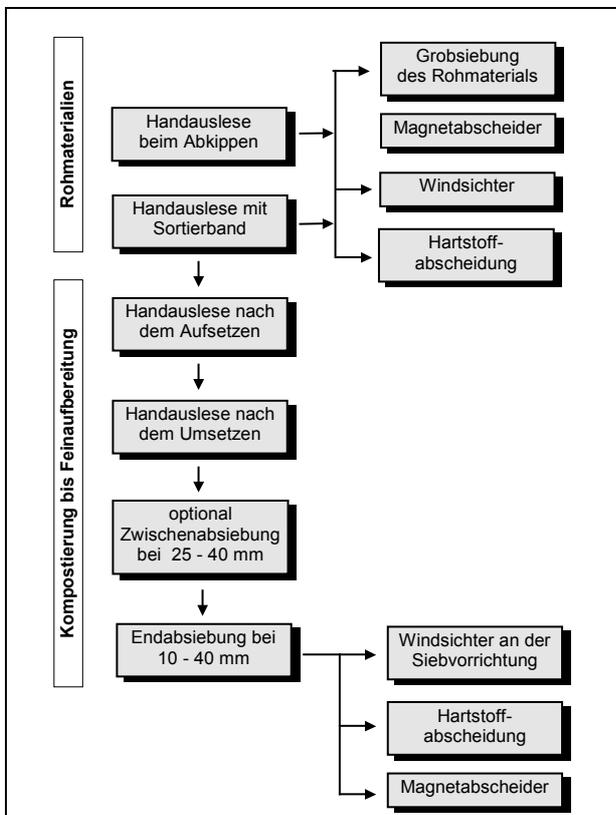
Die Aussortierung von Fremd-, Stör- oder Ballaststoffen kommt nur bei getrennt gesammelten biogenen Abfällen aus Haushalten (Biotonne) in Betracht, um einerseits ein optisch einwandfreies Kompostprodukt, andererseits die höchstmögliche Schadstofffreiheit zu gewährleisten. Ferner soll durch eine Sichtkontrolle im Annahmehbereich und ein Entfernen größerer Fremdstoffstücke eine Störung des Betriebsablaufes und ein Beschädigen von Anlagenteilen verhindert werden.



**Abbildung 9-3: Erfolg der manuellen Fremdstoffauslese in Abhängigkeit des Störstoffgehaltes im Ausgangsmaterial (Gronauer et al., 1997<sup>[FA221]</sup>)**

Dabei sind spröde Materialien (zB Glas, Hartkunststoffe), Metalle und Problemstoffe weitgehend vor einer allfälligen Zerkleinerung zu entfernen, während Folien im Zuge der Zwischen- oder Endabsiebung sowie aus dem Siebüberlauf mittels Windsichter abgetrennt werden. Abbildung 9-3 zeigt ein Beispiel für die Effektivität der Fremdstoffabtrennung in Abhängigkeit des Verunreinigungsgrades. Die manuellen Ausleseverfahren, sowohl am Verleseband als auch auf dem Boden durch Abklauben sind bei sehr sauberen Anlieferungen nur bedingt sinnvoll.

### 9.2.2.2 Verfahren der Störstoffabtrennung im Zuge der Materialaufbereitung



Die unterschiedlichen Eigenschaften nach spezifischem Gewicht und Form stellen entsprechend differenzierte Anforderungen an technische Ausleseverfahren.

Folgende Methoden kommen zur Störstoffabtrennung von Ausgangsmaterialien zum Einsatz:

- Auslese unmittelbar während oder nach dem Abkippen direkt von Hand oder zB mittels Mistgabel o.ä.,
- Vorabsiebung der Grobfraction mittels Trommelsieb bei einer Maschenweite zwischen 50 und 80 mm,
- Magnetabscheidung der Eisenmetalle,
- Hartstoffabscheider, Nichteisenmetalle,
- Windsichter zur Abtrennung der Leichtfraction (zB Folien).

Abbildung 9-4 und Tabelle 9-3 geben einen Überblick über die üblichsten Systeme der Stör- und Fremdstoffabtrennung im Verlauf des gesamten Bearbeitungsprozesses.

**Abbildung 9-4: Systeme der Fremdstoffabscheidung**

Tabelle 9-3: Technische Systeme in der Störstoffabtrennung (Thomé-Kozmiensky, 1992)[Florian222]

Typ	Beschreibung	Bemerkung
<b>Siebung → Trennung nach charakteristischer Korngröße</b>		
<b>Trommelsiebe</b>	gelochte Trommeln, deren Durchsatz und Siebcharakteristik über Lochgröße, Drehzahl, Einbauten und Neigungswinkel eingestellt werden	in der Abfallverarbeitung sehr verbreitet
<b>Vibrationssiebe</b>	geneigte Siebkästen; Siebvariation nach: Lochform, Lochgröße, Frequenz, Schwingungsausschlag	meist vorzerkleinertes Material verwendet
<b>Spannwellensieb</b>	gegenläufiges Schwingen von ineinander versetzten Siebkästen mit Kurbelantrieb; Variation der Trennleistung durch Maschenweite und Neigungswinkel	für vorzerkleinertes Material bei der Kompostierung bewährt
<b>Windsichtung (für feuchte Biotonne nur bedingt geeignet)</b>		
<b>Zick-Zack-Windsichter</b>	senkrechter zick-zack-förmiger Sichterkanal von Luft von unten nach oben durchströmt; Trennungsgrad hauptsächlich über Luftstrom regelbar; für hohe Trenngenauigkeit mehrere Sichterstufen	Einsatz für Hausmüll und zur Nachsortierung von Kompost
<b>Rotationswindsichter</b>	bestehend aus: rotierende geneigte Trommel, Absetzkammer, Druckluftsystem	Einsatz für Hausmüll und zur Nachsortierung von Kompost
<b>Klauben: Nutzung optischer Unterschiede (Form, Farbe)</b>		
<b>Automatisches Klauben und optische Sortierung</b>	Ausnutzung stoffspezifischer physikalischer Eigenschaften (Glanz, Dielektrizitätskonstante, elektrischer Widerstand, Strahlungsemission, -reflexion, -absorption); Messung der phys. Größe und Steuerung einer Auswurfvorrichtung	Trennung von Glas und Keramik; Trennung von Glas nach Farben; anfällig gegen Störgrößen
<b>Magnetscheidung: Nutzung von ferromagnetischen Eigenschaften</b>		
<b>Trommelmagnetscheider</b>	magnetische Trommel als Bandumlenkrollen zum Umlenken oder Ausheben von ferromagnetischen Teilen aus dem Strom	in der Hausmüll- und Kompostaufbereitung sehr verbreitet
<b>Bandscheider</b>	Überbandmagnete; Magnet mit Endlosband transportieren magn. Teile quer oder längs aus dem Förderstrom	in der Hausmüll- und Kompostaufbereitung sehr verbreitet
<b>Sortierung nach elastischen Eigenschaften: Ausnutzung von Härteunterschieden der Materialien</b>		
<b>Kaskaden-Hartstoff-Abscheider</b>	Aufgabevorrichtung befördert Sortierstrom auf Prallrotoren, die elastische Materialien mitziehen und Hartstoffe abscheiden	Aufbereitung von Rohkompost zur Abtrennung harter, anorganischer Bestandteile

### Abklauben von Hand

Grundsätzlich ist aus hygienischen und ästhetischen Gründen der manuelle Umgang besonders mit Bioabfall aus Haushalten auf das unbedingt nötige Mindestausmaß (Aussortieren von Störstoffen) zu beschränken.

#### ■ Funktion

Die Herausnahme von Stör- und Fremdstoffen unmittelbar nach dem Abkippen dient einem ersten Entfernen großstückiger Teile, die an der Oberfläche des Schüttkegels sichtbar sind. Geschlossene Plastiksäcke, sollen aufgerissen werden, um die darin enthaltenen Abfälle einer visuellen Kontrolle zu unterziehen.

#### ■ Durchführung, technisch-bauliche Ausstattung

Das Abtrennen der Fremdstoffe von Hand kann nur bei Materialübernahme auf offener Fläche oder im Flachbunker erfolgen. Die Aussortierung erfolgt direkt von Hand oder mittels Mistgabel, Haken oder Rechen. Im wesentlichen werden größere Plastikfolien (Säcke), Flaschen, Dosen, größere Eisenstücke etc. entfernt. In unmittelbarer Nähe des Abladeplatzes muss sich ein Restmüllbehälter und ein gesondertes Gebinde zur Aufnahme von Problemstoffen (zB Batterien, Gebinde mit Altöl) befinden.

#### ■ Arbeitskleidung/Schutzkleidung

- Mundschutz: vor allem bei Staubentwicklung und in geschlossenen oder teilumschlossenen Hallen.
- Arbeitshandschuhe aus festem Obermaterial, um Schnitt und Stichverletzungen durch scharfe Gegenstände zu verhindern.

#### ■ Keimemissionen

Bei der *Aufbereitung und Sortierung* besteht die Möglichkeit des Kontaktes mit bereits im Rottegut vorhandenen Mikroorganismen. Neben luftgetragenen Schadstoffen stellen Störstoffe in dem zu sortierenden Anlieferungsmaterial eine Gefährdung der Beschäftigten in den Sortierkabinen dar. Gebrauchte Spritzenkanülen und sonstige spitze, scharfe und verletzungsgefährdende Gegenstände können beim Eindringen in die Haut Infektionen hervorrufen. Aus der Sicht des Arbeits- und Dienstnehmerschutzes sind *Sortierarbeitsplätze in Kompostierungsanlagen* wegen des direkten Kontaktes mit dem Bioabfall und den darin gegebenenfalls enthaltenen gefährlichen Stoffen sowie der Freisetzung von Bioaerosolen *nicht wünschenswert*. Als Alternative zur manuellen Störstoffauslese sind die mechanischen Verfahren der Siebung, Windsichtung, Abscheidung der Eisen- und Nichteisenmetalle und der Hartstoffabscheidung zu bevorzugen.

#### **Die manuelle Störstoffauslese an Sortierbändern für biogene Abfälle entspricht nicht mehr dem Stand der Technik.**

Die maximale Keimbelastung der Atemluft sollte nach Pretz (2002)<sup>[A223]</sup> 10.000 KBE m<sup>-3</sup> nicht überschreiten. Böhm et al. (1998)<sup>[A224]</sup> geben einen Richtwert von 5.000 KBE m<sup>-3</sup> an, ab welchem zusätzliche Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität getroffen werden sollten.

Nach der deutschen Technischen Regel für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) 211 gilt für Sortierkabinen, Kabinen und Steuerstände: Die Funktion und Wirksamkeit von technischen Schutzmaßnahmen ist anhand der Einhaltung des technischen Kontrollwertes (TKW) für mesophile Schimmelpilze von 5x10<sup>4</sup> KBE/m<sup>3</sup> nachzuweisen.

Wie bereits in Kapitel 7.5 angemerkt, dient die Einhaltung des TKW dem Nachweis der dort beschriebenen emissionsmindernden Maßnahmen.

#### **Aussieben der Grobfraction**

Die Absiebung der Grobfraction > 60 bis 80 mm zu unterschiedlichen Stadien der Behandlung erfolgt:

- unmittelbar im angelieferten Rohmaterial,
- nach Abklauben per Hand,
- nach einem Zerkleinerungs- und Homogenisierungsschritt,
- nach einer ersten Hauptrottephase von 4 bis 8 Wochen (*Zwischenabsiebung*).

Problematisch ist bei der Siebung von Frischgut der hohe Verschmutzungsgrad und die ungewollte Ausscheidung von organischem Strukturmaterial.

Bei einer *Zwischenabsiebung* nach der 4. bis ca. 8. Rotteweche werden in der Praxis geringere Maschenweiten (20 – 40 mm) eingesetzt. In frühen Stadien ist von einer Siebung kleiner als 25 mm abzuraten, da aufgrund der noch hohen Abbauintensität und dem damit verbundenen Sauerstoffbedarf die aus-

reichende Strukturstabilität nicht mehr gegeben wäre. Je nach Rottefortschritt liegt die optimale Maschinenweite für die Zwischenabsiebung zwischen 25 und 35 mm.

Die Durchsatzleistungen werden mit  $50 - 100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  angegeben.

Eine besonders effektive Reinigungsleistung kann erzielt werden, wenn die Zwischenabsiebung, mit einer Magnetabscheidung (zB Rollenmagnet) sowohl beim Feinkorn- als auch Überkornaustrag kombiniert wird.

Zumindest in Anlagen mit einem Jahresdurchsatz von mehr als 3.000 t biogenen Abfällen aus Haushalten (Biotonne) sollte der Siebüberlauf im Falle einer Rückführung in den Kompostierungsprozess mittels Windsichter gereinigt werden, um eine fortschreitende Anreicherung der Fremdstoff-Leichtfraktion so weit als möglich zu unterbinden.

### **Magnetabscheider**

Einsatz und Funktionsweise von Magnetabscheidern siehe Abschnitt 9.5 „Feinaufbereitung“.

Bei Großanlagen, die eine Vorabsiebung der biogenen Abfälle aus Haushalten durchführen, ist es sinnvoll, diese mit einer Magnetabscheidung zu kombinieren, da hierdurch Schwermetalleinträge (zB Chrom und Zink) reduziert werden können.

### **Hartstoffabscheider**

Einsatz und Funktionsweise von Hartstoffabscheidern siehe Abschnitt 9.5 „Feinaufbereitung“.

### **Windsichter**

Windsichter werden bei der direkten Materialaufbereitung aufgrund des hohen Feuchtigkeitsgehaltes und Verschmutzungsgrades der Leichtfraktion (i.W. Plastikfolien) selten eingesetzt. Sie können jedoch effektiv im Zuge einer Zwischenabsiebung (4. – 8. Woche) bei nicht zu hoher Materialfeuchtigkeit eingesetzt werden. Siehe daher Abschnitt 9.5 „Feinaufbereitung“.

## **9.2.3 Zerkleinerung**

Großstückige, verholzte und daher biologisch schwer abbaubare Materialien wie Äste und Wurzelstöcke müssen zerkleinert werden. Im Rahmen eines ordnungsgemäßen Rottefortschritts hat die Zerkleinerung zwei Hauptfunktionen:

- Schaffung einer möglichst großen mikrobiell angreifbaren Oberfläche zum Ligninabbau,
- Herstellen von strukturbildendem Material in gut mischbarem Zustand zur Abmischung mit in der Regel feuchten Biotonneabfällen oder frischem Grasschnitt oder sonstigen feuchten gewerblichen Abfällen. Ziel ist die Aufrechterhaltung eines für einen aeroben Rotteprozess notwendigen strukturstabilen Materialgefüges und des verfahrensabhängigen Luftporenvolumens, welches zu Beginn der Rotte mindestens 50% betragen sollte.

Für die Schaffung einer möglichst großen, mikrobiell angreifbaren Oberfläche ist eine reißende oder quetschende, auffasernde Arbeitsweise der Werkzeuge (zB Schredder), einer schneidenden vorzuziehen.

Je nach den anfallenden Rohstoffen muss immer ein Vorrat an Schreddergut/Strukturmaterial für die Herstellung einer Materialmischung, die beide Anforderungen erfüllt, vorhanden sein.

### 9.2.3.1 Mögliche Emissionen

#### **Staub- und Keimemissionen**

Durch die Zerkleinerung des Rohmaterials mittels Häckselmaschine ergibt sich eine starke Staubentwicklung und somit Emission der staubgetragenen Pilzsporen.

Beim Schreddern können nach Jager (1993[PS225]) unabhängig vom Ausgangsmaterial Konzentrationen an Bakterien und Pilzen beobachtet werden, die um mehr als das 10-fache über der typischen Luftkeimkonzentration ohne Schredderbetrieb liegen. Die höchsten Überschreitungen treten dabei beim Schreddern von Biomüll/Strauchwerk-Gemisch auf (Faktor 42 über der „normalen“ Luftkonzentration von Pilzen (500-600 KBE m<sup>-3</sup> Luft)). Für Personen, die sich in diesen Bereichen aufhalten, sind aus arbeitsmedizinischer Sicht besondere Schutzmassnahmen erforderlich.

Bei Arbeiten mit Staubentwicklung ist daher aus arbeitsmedizinischer Sicht generell das Anlegen von Staubmasken (P3) erforderlich. Grundsätzlich haben sich während des Zerkleinerungsvorganges keine Personen ungeschützt im Umfeld des Aggregates aufzuhalten.

Führerkabinen von Ladegeräten müssen klimatisiert und mit außenluftunabhängiger Belüftung (zB mit Pressluft) oder geeigneter Filteranlage (Filterklasse S und Aktivkohlefilter) ausgerüstet sein, die regelmäßig gewartet und gereinigt werden müssen.

Eine Reduktion der Staub- und Keimemissionen kann auch mit dem Einsprühen eines feinen Wassernebels (Nebelkanone) erreicht werden.

Sofern eine bauliche Trennung innerhalb einer geschlossenen Anlage nicht möglich ist, sollte dieser Bereich über eine wirkungsvolle Absaugung verfügen.

Als weitere Maßnahmen zur Reduktion von Keimemissionen wird eine Zerkleinerung mit Langsamläufern empfohlen.

Weitere Anforderungen zur Reduktion von Keimemissionen und zu arbeitnehmerseitigen Schutzmaßnahmen siehe Abschnitt 7.5.7 und 7.5.7.1.

#### **Lärmemissionen**

Bei Durchführung der Zerkleinerung im Freien sind auch bei Einhaltung der nutzungs- und maschinentypischen Grenzwerte im Falle von nahegelegenen Siedlungen Betriebszeiten von Montag bis Freitag zwischen 8.00 und 18.00 einzuhalten.

Das Bedienungspersonal hat einen effektiven Gehörschutz (Kapselgehörschützer mit vollständiger Umschließung der Ohrmuschel) zu tragen.

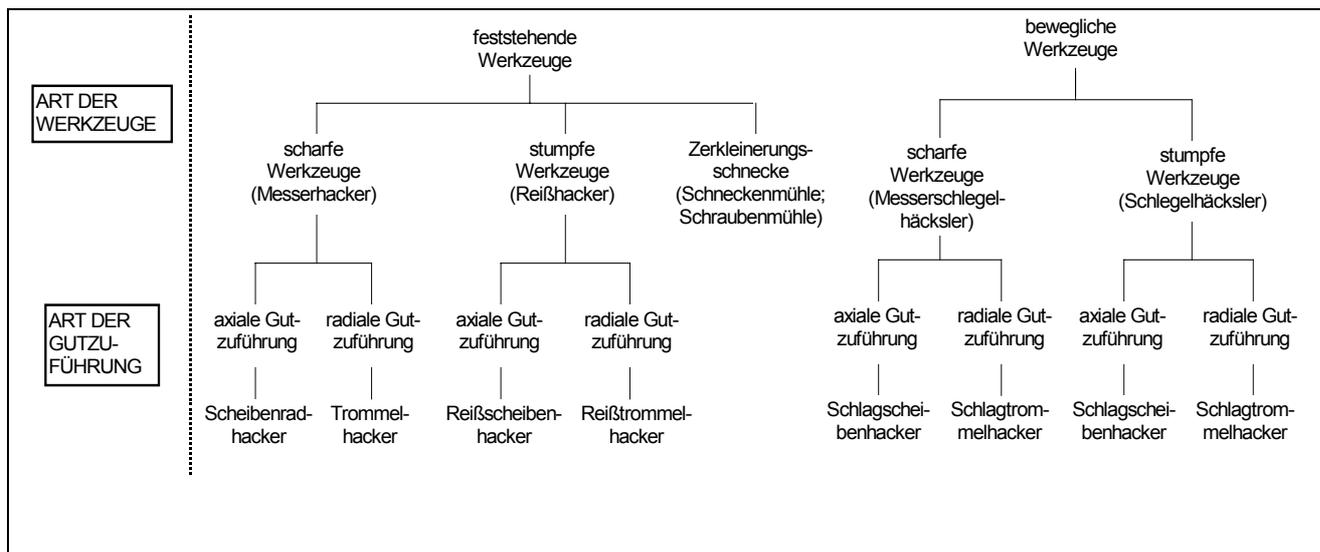
#### **Sonstige Maßnahmen des Arbeitnehmerschutzes**

Steine und Hartteile können weit weggeschleudert werden, daher ist die Auswurfseite des Gerätes entsprechend zu sichern.

### 9.2.3.2 Typen und Funktionsweisen von Zerkleinerungsmaschinen

Die für die Zerkleinerung vor allem der verholzten Rohstoffe eingesetzten Geräte lassen sich nach Art der Werkzeuge und der Gutzuführung unterscheiden. Es sind drei Grundtypen verbreitet:

- Messerhacker mit Gegenschneide (Scheibenrad- oder Trommelhäcksler, schneiden das Häckselgut in gleich große Stücke)
- Schlegelhäcksler und Hammermühlen mit starren oder beweglichen Werkzeugen mit oder ohne Gegenschneide (arbeiten mit hohen Umfangsgeschwindigkeiten und zerfasern das Häckselgut)
- Schnecken- oder Schraubenmühlen mit zwei gegenläufigen Schnecken oder Walzen, die das Häckselgut zerquetschen bzw. zerfasern.



**Abbildung 9-5: Gerätetypen für die Zerkleinerung von Baum- und Strauchschnitt (nach Reloe & Schuchardt, 1993[SP226])**

Bei den meisten Geräten mit axialer Zuführung wird das Material über eine Einfüllwanne auf eine Fördereinrichtung (Kratzboden meist mit Stahlgliederbändern) aufgebracht.

**Tabelle 9-4: Zerkleinerungssysteme in der Abfallaufbereitung (nach Thomé-Kozmiensky, 1992[Florian227])**

Typ	Beschreibung	Bemerkung
<b>Hammermühle (Schredder)</b>	horizontal oder vertikal ausgerichtete Rotoren mit nachgebenden Hämmern	Hausmüll; auch Papier, Kunststoffe mit hohen Durchsätzen in Kompostier- und Recyclinganlagen, Deponien
<b>Prallmühlen</b>	schnelllaufende Prallplattenrotoren und Prallwerke	eher Zerkleinerung von harten und spröden Stoffen (Glas, Keramik,...); keine Zerkleinerung von zähen Materialien (Kunststoffe, Papier,...) - > selektive Zerkleinerung; <i>spielen in der Kompostaufbereitung kaum mehr eine Rolle</i>
<b>Prall-Hammermühlen</b>	Prallwerk, Mahlbahn und Rost, ballistischer Auswurf	Kombination der obigen Varianten
<b>Schneidmühlen und Rotorscheren</b>	langsamlaufende Messerrotoren, Messerscheiben oder Schneidschnecken; Zerkleinerungsgrad durch Messerabstand oder Zahnbreite einstellbar	für feste oder elastische Materialien; hoher Verschleiß bei Metallbestandteilen und spröden Materialien (Glas, Keramik)
<b>Kugel- und Kaskadenmühlen</b>	Zerkleinerungstrommel mit (oder ohne) Mahlkörper	Zerkleinerung durch Reibung zwischen Mahlgut und Mahlkörpern; starke Homogenisierung der Materialien, in Kompostier- und BRAM-Anlagen

Ausführungen transportabler Varianten:

- Als Anhänger ausgeführt zum Transport mit Zugmaschine
- "Huckepack-Modelle" aufgezogen auf speziellen LKW, Hakenliftrahmen etc.
- auf LKW fix montiert
- mit eigenem Raupenfahrwerk und Tieflader.

### **Schnelllaufende Häcksler oder Schredder (Schredder/Hammermühlen/Schlegelhäcksler)**

Schnellläufer arbeiten mit einer hohen Rotorumfangsgeschwindigkeit (Rotorumdrehung bis zu 1.500 U/min). Auf einer Walze sind i.d.R. 20 – 50 frei schwingende oder feststehende Zerkleinerungswerkzeuge angebracht. Diese schlagen das Material über Kanten oder kammförmige Gegenschneden. Das auf diese Weise aufgefaserte Material wird über ein Sieb mit Lochgrößen zwischen 20 und meist 150 mm ausgetragen und weist einen hohen Feinanteil auf.

Die Durchsatzleistung beträgt je nach Material und Leistung in der Praxis zwischen 50 und 150 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

Die höchste Verbreitung finden die Hammermühlen bzw. Schlegelhäcksler. Über eine Fernsteuerung kann der Häcksler während des Betriebes vorgerückt und der Kratzbodenvorschub bzw. der Einzug geregelt werden. Die Beladung erfolgt in der Regel über Radlader oder Greifer.

#### ■ **Einwellenzerkleinerer**

- Arbeitsweise schneidend, reißend, überwiegend Scherbeanspruchung;
- Abstand Messer-Gegenmesser 0,1 - 0,2 mm.
- Stopfwerk erforderlich, da nicht selbsteinziehend.
- Wellendrehzahlen bis 160 U min<sup>-1</sup>,
- Umfangsgeschwindigkeit ca. 4 - 8 m s<sup>-1</sup>,
- Antriebsleistung 20 - 300 kW,
- Durchsatz (< 50 mm) bis ca. 7 t h<sup>-1</sup>,
- Endkorngröße 10 - 50 mm

#### ■ **Schredder; Schlegelhäcksler**

- Die Zerkleinerung erfolgt mit einer schweren, schnell laufenden Zerkleinerungstrommel mit freischwingenden Schlegeln und gegebenenfalls festsitzenden Reißzähnen. Die freischwingenden Schlegel, bestückt mit auswechselbaren, materialspezifischen Verschleißspitzen, reißen das Material an der Prallplatte vorbei und zerkleinern es dabei. Das Material verbleibt im Zerkleinerungsraum, bis es am Korb ausgeschleust werden kann.
- Maschenweiten: 30 bis 280 mm
- wichtig für die Betriebssicherheit: lastabhängige Materialzuführung
- Motorleistung: 45 bis zu 420 kW
- Durchsatzleistungen: von 30 bis 150 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>
- Weitere mögliche Ausstattungselemente:
  - ⇒ Kapselung des gesamten Zerkleinerungsbereiches zur Lärmdämmung
  - ⇒ Wasserzerstäubungsdüsen zur Minimierung der Staubentwicklung.

#### ■ **Hammermühle/Topfschredder**

- Freie und feste Hämmer im Verhältnis 1:2 (zB 28 / 56 oder 36 / 72)
- Siebe: Stärke: 12,5 mm; in verschiedenen Lochgrößen ab 20 mm
- Antriebsleistung: 463 oder 480 kW
- Durchsatzleistung: bis 150 bzw. 200 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>

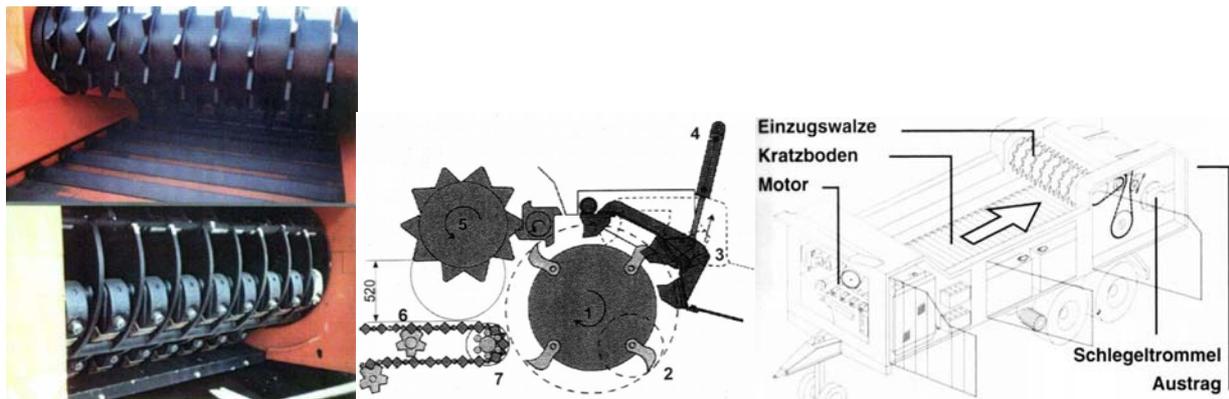


Abbildung 9-6: Schredder/ Schlegelhäcksler

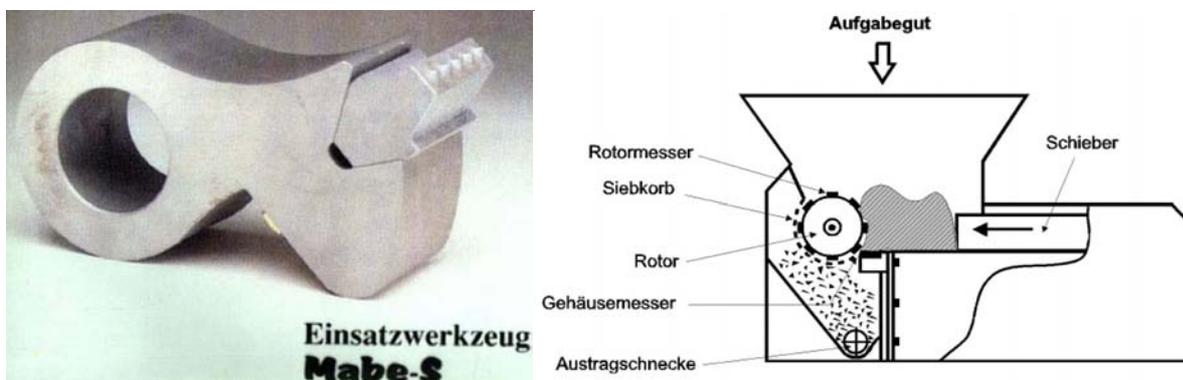


Abbildung 9-7: Werkzeug des Schlegelhäckslers und Einwellenzerkleinerer

### Langsamlaufende Mühlen, quetschend arbeitende Aggregate

Langsamläufer arbeiten mit niedriger Rotorumfangsgeschwindigkeit (Rotorumdrehung von 28 bis zu 150 U min<sup>-1</sup>). Das Material wird grob gebrochen zu Stückgrößen von 0 – 100 bis 500? mm mit einem geringen Feinanteil.

Die Durchsatzleistung ist geringer als bei den schelllaufenden Maschinen und beträgt bei den Leistungsstarken Maschinen bis zu 100 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Der große Vorteil der Langsamläufer ist, dass auch sehr großstückige Materialien mit Durchmessern bis 500 mm verarbeitet werden können. Es haben sich vorwiegend Ein- und Zweiwalzenbrecher mit ca. 10 – 20 Einzelwerkzeugen durchgesetzt.

Bei zwei gegenläufigen Zerkleinerungswalzen wird das Material gegen einen Schneidekamm auf den darunter liegenden Siebkorb gedrückt. Die Herstellung definierter Korngrößen ist durch austauschbare Siebböden möglich. Hohe Durchsatzleistungen werden durch die Gestaltung des Einzugs und die Länge der Zerkleinerungswalzen gesteuert.

Meist als mobile Aggregate, als Anhänge- oder Hakenliftversionen verfügbar. Aufgrund der höheren Anschaffungskosten ist ein Langsamläufer erst ab einem Durchsatz von 2.000 t vor allem großstückigem verholzten Grüngut rentabel (Backhus Infoblatt 4/2000).

Wichtige Ausstattung für die Betriebssicherheit ist ein Antrieb mit lastabhängiger Drehzahlregulierung (Konstantleistungsregelung) mit Programmwahl und Überlastsicherung.

Einige Beispiele für Langsamläufer:

- **Kammwalzenzerkleinerer:**
  - Einsatz für die Zerkleinerung von Altholz und Grünabfall.

- Die mit Zähnen bestückte Walze (Anzahl je nach Walzenlänge) drückt das zu zerkleinern- de Gut meist von oben durch einen verstellbaren, evtl. hydraulisch gesteuerten Gegenkamm
  - Walzendurchmesser 400 mm - 600 mm, Walzenlänge 1.000 – 3.000 mm, Umfangsge- schwindigkeit ca.  $1 \text{ m s}^{-1}$  z.T. bis  $12 \text{ m s}^{-1}$
  - Antriebsleistung: 100 - 400 kW,
  - Durchsatz: Holz  $\rightarrow$  30 bis  $160 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ ; Grünabfälle  $\rightarrow$  15 bis  $70 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ ,
  - Endkorngröße  $< 300 \text{ mm}$ .
- **Schnecken - oder Schraubenmühlen:**
- Einsatz für die Zerkleinerung von Altholz und Grünabfällen
  - Wellendurchmesser 380 / 400 mm, 600 mm, Wellendrehzahlen 20 – 40  $\text{U min}^{-1}$ , Wellen- länge 1.300 - 2.000 mm,
  - Antriebsleistung: 130 - 400 kW,
  - Durchsatz, ohne zäh-elastische Inhaltsstoffe 10 - 30  $\text{t h}^{-1}$ ,
  - Endkorngröße ca.  $< 100 - 300 \text{ mm}$



Abbildung 9-8: Kammwellenzerkleinerer

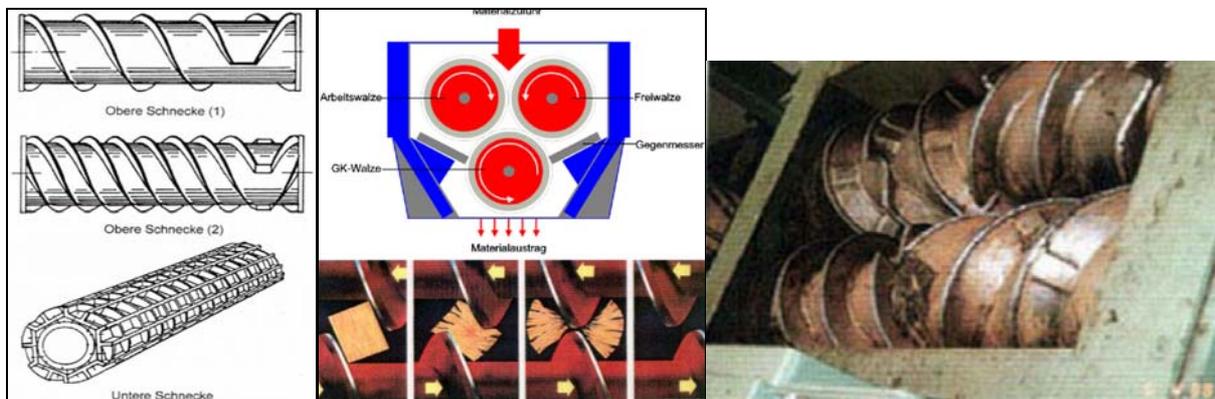


Abbildung 9-9: Schneckenmühlen

#### 9.2.4 Homogenisieren und Mischen der Ausgangsmaterialien

Die Zielsetzung für die Konditionierung des Rohmaterials besteht vor allem im Fall der einfachen Mietenrottesysteme darin, beim "höchstmöglichen" Wassergehalt ein solches Luftporenvolumen sicherzustellen, dass eine dem Rottefortschritt angepasste Sauerstoffversorgung mit einer geringen Zahl zusätzlicher technischer Maßnahmen - Umsetzen, Wasserzugabe u.a. - über einen möglichst langen Zeitraum gewährleistet ist.

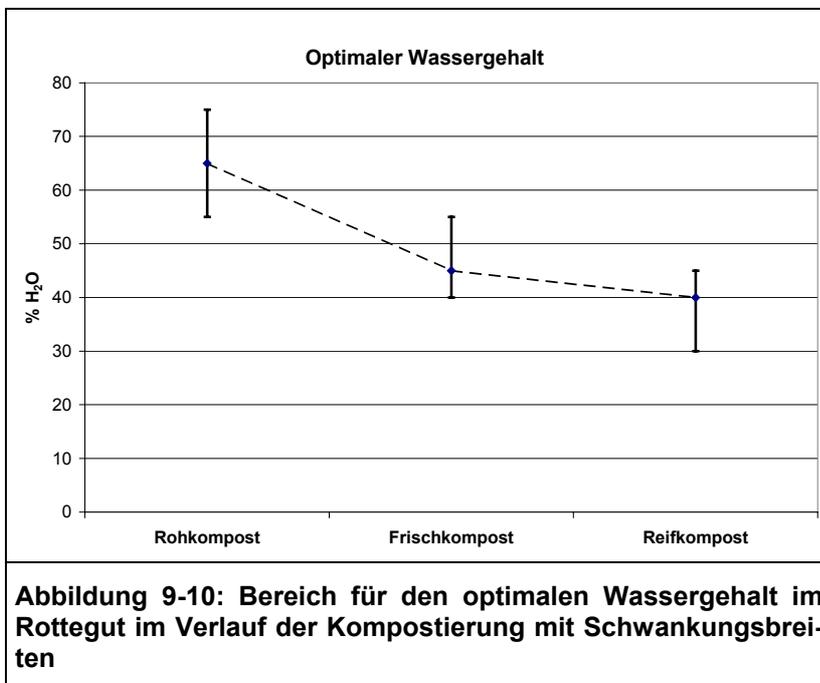
Um gleichmäßige und damit günstige Rottebedingungen sicherzustellen, ist auf eine möglichst homogene Mischung der verschiedenen biogenen Abfallstoffe zu achten.

Die Kenntnis des Mengengerüsts der in der Kompostanlage anfallenden Rohstoffe ist die Voraussetzung für die jeweilige Optimierung und Standardisierung der Prozessführung. Die biotechnologischen Rahmenbedingungen können dann dem gewünschten Prozessverlauf angepasst werden (Grabbe & Schuchardt, 1993). Die Konditionierung der Ausgangsmaterialien, vor allem über die Maßnahmen des Zerkleinerns und Mischens, ist das Nadelöhr der Qualitätsbildung über die Prozessführung hin zum vermarktungs- und einsatzreifen Endprodukt. Ziel dabei ist, das Nährstoffangebot und die Strukturverteilung der für den Metabolismus verfügbaren Oberflächen optimal zu gestalten (siehe auch 4.2 und 6)

Biologische Substratoptimierung bedeutet im Sinne einer „reibunglos-effizienten“ mikrobiellen Stoffumsetzung

- die Anwesenheit freien Wassers
- ein ausreichendes Luftporenvolumen
- ein optimales C/N-Verhältnis.

### Die Anwesenheit freien Wassers



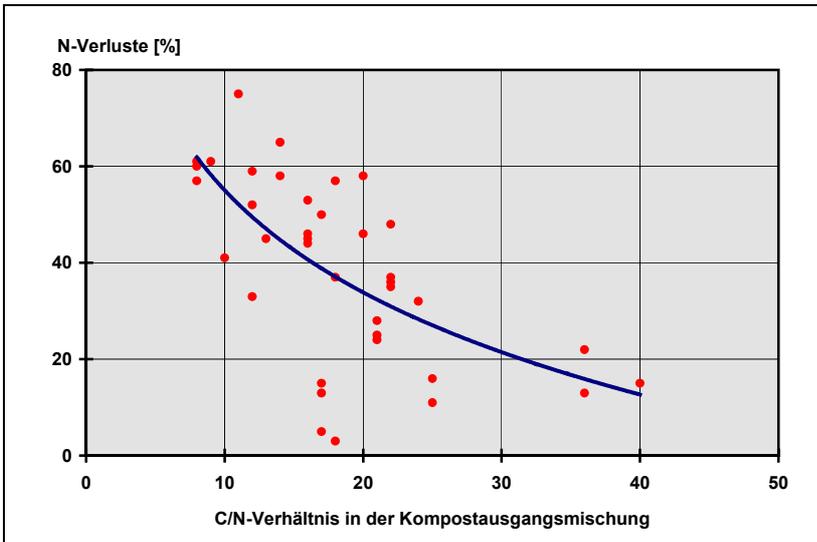
Der optimale Wassergehalt ist abhängig von der Wasseraufnahmefähigkeit und der Strukturverteilung des Rottegutes. In homogen hergestellten Ausgangsmischungen zur Kompostierung sind Gesamtwassergehalte bis zu maximal 75 % möglich. Der Optimalbereich sinkt im Verlauf der Rotte (Mineralisierung der organischen Substanz) mit abnehmender Wasserkapazität von 55-75% zu Rottebeginn auf 35-45% zur Abreife.

### Ausreichendes Luftporenvolumen

Dieses beträgt ca. 30 - 50%. Die Zufuhr des Sauerstoffs und dessen Lösung in der flüssigen Phase (bei zugleich ausreichendem Feuchtigkeitsgehalt) wird so ge-

währleistet und die Ableitung des CO<sub>2</sub> ermöglicht. Zugleich wird Ammoniak und Wasserdampf freigesetzt und Wärme abgeleitet. Biogene Abfallstoffe mit einem hohen Anteil an strukturschwachen Materialien müssen durch Zumischen von strukturbildenden Zuschlagstoffen in ihren Struktureigenschaften wesentlich verbessert werden. Andernfalls ist vor allem eine natürlich belüftete Rotte nicht möglich. Aber auch für zwangsbelüftete Systeme besteht die Gefahr einer unzureichend gleichmäßigen Durchströmung des Rottekörpers mit Frisch- bzw. Umluft.

## C/N-Verhältnis



Wie bereits in Abschnitt 6.1.1 besprochen müssen ausgewogene Anteile mikrobiell mobilisierbarer Kohlenstoff- und Stickstoffquellen in homogener Mischung vorliegen, um vor allem bei einem Überschuss an leicht verfügbarem Stickstoff hohe Verluste in Form von Ammoniak zu vermeiden (Grabbe & Schuchardt, 1993; siehe auch Abschnitt 7.6 „Sonstige gasförmige Emissionen“).

Als Richtwert kann der Optimalbereich des C/N-Verhältnisses in der Ausgangsmischung mit (20) 25 - 35 (40) : 1 angegeben werden.

**Abbildung 9-11: Stickstoffverlust während der Kompostierung in Abhängigkeit des C/N-Verhältnisses der Kompostausgangsmischung (nach Grabbe & Schuchardt, 1993)**

### Berechnung zur Einstellung des C/N-Verhältnisses:

(A) Berechnung des resultierenden C/N-Verhältnisses ( $C/N_M$ ) einer beliebigen Mischung bei gegebenen Mengen an Mischungspartnern ( $t_{1...n}$ ) mit bekannten C/N-Verhältnissen ( $C/N_{1...n}$ )

$$C/N_M = \frac{\sum (C/N_{1...n} \cdot t_{1...n})}{\sum t_{1...n}}$$

$C/N_M$  .... C/N-Verhältnis der resultierenden Mischung

$C/N_{1...n}$  .... C/N-Verhältnisse der Einzelkomponenten (Mischungspartner) 1 bis n

$t_{1...n}$  .... Masse der Einzelkomponenten (Mischungspartner) 1 bis n in Tonnen

(B) Berechnung der erforderlichen Zumischung ( $t_x$ ) eines Mischungspartners mit bekanntem C/N-Verhältnis ( $C/N_x$ ) zur Einstellung eines erwünschten C/N-Verhältnisses in der Endmischung ( $C/N_M$ )

$$t_x = \frac{t_A (C/N_M - C/N_A)}{C/N_x - C/N_M}$$

$t_x$ .... erforderliche Zumischung in Tonnen einer Einzelkomponente mit bekanntem C/N-Verhältnis

$C/N_x$  .... bekanntes C/N-Verhältnis der zuzumischenden Einzelkomponente

$t_A$ .... vorliegende Masse einer bestehenden Mischung bzw. einer auf ein gewünschtes C/N-Verhältnis einzustellenden Einzelkomponente

$C/N_A$  .... C/N-Verhältnis einer bestehenden Mischung bzw. einer auf ein gewünschtes C/N-Verhältnis einzustellenden Einzelkomponente

$C/N_M$  .... angestrebtes C/N-Verhältnis der resultierenden Mischung

Erfahrungswerte für den Einsatz von stickstoffreichen Ausgangsstoffen in der offenen Mietenkompostierung:

<b>Material</b>	<b>Volumensanteil</b>
Hühnermist ca..	5 – 7%
Stickstoffhaltige Schlämme ca.	10 – 30%
Biotonne mit überwiegend Küchenabfällen	10 – 30%
Für stark N-hältige Materialien mit starkem Geruchspotenzial kann eine Zugabe von Teilmengen, ca. 5 bis 10 % der Materialien, zu einer bereits in Rotte befindlichen Miete in 2 bis 3 Etappen im Abstand von bis zu einer Woche sinnvoll sein, um das Geruchsemissionspotenzial dieser Materialien zu reduzieren. Der Zeitpunkt der letzten Zugabe ist dann als Start der eigentlichen Kompostierung zu sehen.	
Ein ausgebildeter Kompostierfachmann, kann am Geruch, an Farbe und Abbau feststellen, wann eine erneute Zugabe möglich ist.	

Beide Maßnahmen

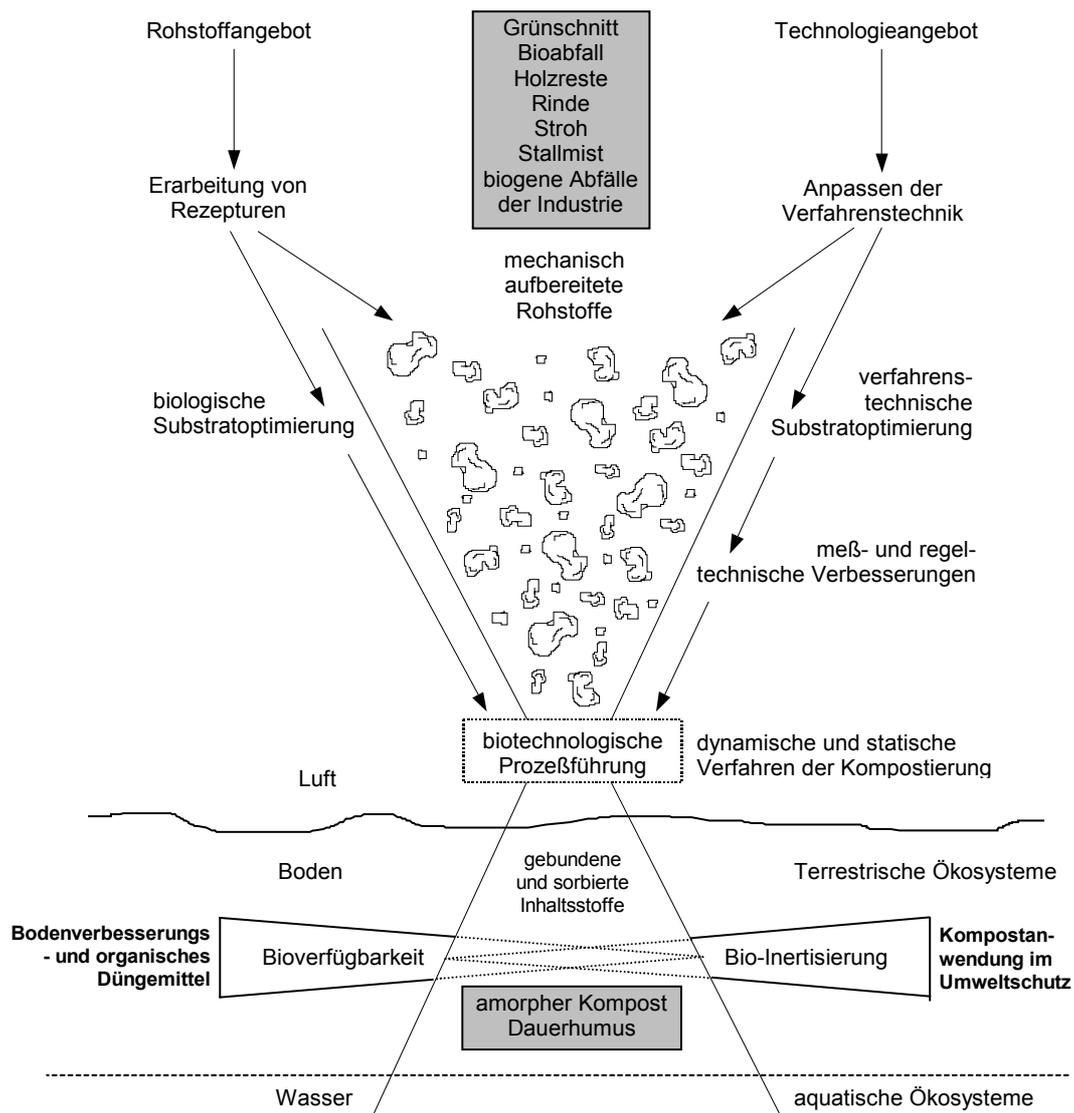
(A) das Optimieren der Rezeptur der Substratmischung nach den Kriterien Nährstoffe, Wasser, Struktur und evtl. Schadstoffe und

(B) die Entwicklung und Anpassung der Aufbereitungs- und Kompostierungsverfahren

müssen aufeinander zugeschnitten werden, sollen ein optimaler Rotteverlauf bzw. eine gute Kompostqualität erzielt werden.

Die anfallenden Rohstoffe unterliegen starken jahreszeitlichen Schwankungen. Für einen optimalen Rotteverlauf, vor allem während der kritischen ersten Haupt(Intensiv)rottephase, muss jederzeit eine homogene, ausgewogene Materialmischung gewährleistet sein. Dies gilt insbesondere, wenn die verschiedenen Stoffgruppen hinsichtlich Wassergehalt und Struktur sehr unterschiedlich sind.

Abbildung 9-12 zeigt einen schematischen Überblick zur Substratoptimierung mit Blick auf einen reibungslos verlaufenden Kompostierungsprozess und ein funktionsorientiertes Endprodukt Kompost.



**Abbildung 9-12: Rahmenbedingungen der biologischen und mechanischen Substrataufbereitung für die Kompostierung**

#### 9.2.4.1 Verfahren der Homogenisierung und Mischung von Kompostausgangsstoffen

Meist erfolgt die Abmischung der einzelnen Kompostausgangsstoffe mit demselben Gerät, das auch für den Umsetzungsvorgang eingesetzt wird (zB Radlader, Umsetzgerät, Miststreuer). Eigene Mischanlagen (Mischtrommel, Schneckenmischer) sind erst bei hohen Tagesdurchsatzleistungen (ca. 50 t d<sup>-1</sup>) sinnvoll. Diese weisen jedoch den Vorteil auf, dass über die Aufgabevorrichtung (Aufgabetrichter) Mischungspartner und Zuschlagstoffe sowie Wasser relativ genau zudosiert werden können und im Mischaggregat eine innige Durchmischung erzielt werden kann.

Die häufigste Methode in der Mietenkompostierung ist das schichtweise Aufbringen der einzelnen Komponenten auf der Mietenbahn und das ein- bis mehrmalige Durchfahren mit dem Umsetzgerät.

Dies hat sich besonders bei schwer mischbaren Komponenten (zB Klärschlammkompostierung) bewährt.

Drehtrommeln bringen gute Resultate bei Aufenthaltszeiten von ca. 1 Stunde und Drehzahlen von 13 bis 15 U/min. Bei der Verwendung eines dynamischen Vorrottesystems wird das Strukturmaterial der Rotte-trommel beigegeben.

In Österreich ist nur eine Drehtrommel als Mischaggregat in der Bioabfallkompostierung im Einsatz (Durchmesser: 3.6 m; Länge: 30 m; Verweildauer: 10 Minuten).

Die am häufigsten eingesetzten Mischaggregate sind Schneckenmischer, die neben dem Mischen auch eine Zerkleinerungsfunktion übernehmen.

■ **Schneckenmischer (Mischzerkleinerer, Zwangsmischer)**

- 3 bis 4 Schneckenwellen halten das Material in einer intensiven Kreislaufbewegung
- Behältervolumen/Mischraum: ca. 15 m<sup>3</sup>,
- Durchsatz: im Chargenbetrieb 55 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>,
- Mischung im kontinuierlichen Durchlauf oder im geschl. Raum als Charge für Aufarbeitung

## 9.3 Hauptrotte

### 9.3.1 Einführung - Definitionen

Die Hauptrotte (oft auch als Intensiv- oder Heißrotte bezeichnet) ist jener Rotteabschnitt, in dem ein *intensiver* Abbau der mikrobiell leicht verfügbaren organischen Eingangssubstanzen und der weiteren Abbauprodukte erfolgt.

Die Hauptrotte wird im Sinne der Prozessführung und hinsichtlich der abzugrenzenden Anforderungen an den Stand der Technik für die anschließende Nachrotte als *thermophile Prozessphase* definiert. Sie ist dann als abgeschlossen anzusehen, wenn die Temperatur dauerhaft 40°C nicht mehr übersteigt.

In Abhängigkeit der Bearbeitungs-, bzw. Belüftungsintensität und der Materialzusammensetzung kann bei sonst ordnungsgemäßer, dem Stand der Technik entsprechender Rotteführung hierfür ein Zeitraum von 5 – 10 Wochen veranschlagt werden.

Die Hauptrotte kann grundsätzlich ein- oder zweistufig geführt werden.

#### ■ Einstufige Hauptrotteverfahren:

- Alle kontinuierlich nach *einem* Verfahren durchgeführten Rotten bis zum Erreichen der erforderlichen Stabilität für die Nachrotte (typische Mietenkompostierungsverfahren mit regelmäßigem Umsetzen mit und ohne Zwangsbelüftung).

#### ■ Zweistufige Hauptrotteverfahren:

- Der erste Hauptrotteabschnitt wird meist als *Intensivrotte* in einem geschlossenen/gekapselten technischen Rottesystem (zB Rottebox, -tunnel, -halle) durchgeführt. Das Verfahrensprodukt erreicht jedoch noch nicht die erforderliche Stabilität für die Nachrotte. Nach Auslagerung wird das Rottegut in einer zweiten Hauptrottestufe bis zum Erreichen der erforderlichen Stabilität für die Nachrotte weiterkompostiert. Als Verfahren für die zweite Hauptrottestufe kommen eingehauste oder offene, natürlich oder zwangsbelüftete Mietenrotteverfahren in Frage.

Hinsichtlich der Verfahrenstechnik werden bei Mietenrottesystemen prozesssteuernde, bei geschlossenen Systemen (Chargen- oder Durchlaufbetrieb) prozessregelnde Eingriffsmöglichkeiten unterschieden (Binner, 2003a).

#### Steuerung

Vorgang, bei dem in Abhängigkeit von gegebenen Eingangsgrößen gewisse Maßnahmen gesetzt werden. Im Gegensatz zur Regelung wirken die Ausgangsgrößen nicht auf die Eingangsgrößen zurück. Beispiel: Zeitabhängige Veränderung der Zuluftmenge in einem zwangsbelüfteten Mietenrottesystem.

Ein Rückführen (Regeln) des Sauerstoffgehaltes in der Miete findet nicht statt. Störungen, wie zB Verringerung des mikrobiellen Abbaus durch Austrocknen des Materials, vermag die Steuerung nicht zu erfassen.

#### Regelung

Vorgang, bei dem verfahrenstechnische Größen (= Regelgrößen) selbsttätig auf vorgeschriebene Sollwerte gebracht und auf diesen gehalten werden. Dazu muss die Regelgröße laufend gemessen und mit dem vorgeschriebenen Wert verglichen werden, im Fall einer Abweichung muss geeignet eingegriffen werden. Beispiel: Einhalten eines bestimmten O<sub>2</sub>-Gehaltes in der Abluft eines geschlossenen Rottesystems. Wird der vorgegebene Wert unterschritten, so wird die Luftzufuhr automatisch erhöht.

Damit soll es möglich sein, die Prozessparameter

- Feuchte
- Sauerstoffangebot
- Temperatur

für das jeweilige Prozessstadium zu optimieren.

Die Rotteverfahren selbst können mit unterschiedlichem technologischen und regelungstechnischen Aufwand betrieben werden. Optimale Prozess- und Betriebsbedingungen an der Anlage sind die Grundlage für die Einhaltung und Optimierung der Rottebedingungen und -zeiten. Diesbezüglich sind sogenannte *Chargenverfahren* im Vorteil, da sich bei diesen die Parameter zur Rottesteuerung besser an das jeweilige Rottegut anpassen können.

Die Steuerung des biochemischen Abbauprozesses während der Intensiv- oder Hauptrotte kann grundsätzlich in offenen Mietenrottesystemen oder geschlossenen Mieten- oder Reaktorsystemen erfolgen.

Folgende Verfahrenstypen kommen in Österreich zum Einsatz (nach Raninger et al., 1999[A228]):

- **offene Mietenkompostierung** mit unterschiedlich häufiger Materialumsetzung mittels Wende- oder Mietenumsetzgeräten, vorzugsweise gekoppelt mit einer Nachbewässerungseinrichtung, natürlich belüftet oder auch mit integrierter Zwangsbelüftung über in den Boden eingebaute Belüftungskanäle, ggf. durch atmungsaktives, wasserableitendes Kompostvlies oder eine Überdachung gegen Niederschlagseinflüsse geschützt.
- Eine Sonderform der Mietenkompostierung stellt die Abdeckung der Mieten mit **semipermeablen Membranen** kombiniert mit Druckbelüftung dar.
- **geschlossene (gekapselte, eingehauste) Mietenkompostierung** mit integrierter Zwangsbelüftung, *mit und ohne* regelmäßiger Materialumsetzung. Bei der Wendetechnik erfolgt die Kompostierung in einer geschlossenen Rottehalle im Druck- oder Saugbetrieb, das Rottegut wird regelmäßig - z. B. wöchentlich umgesetzt und systematisch nachbefeuchtet. Andernfalls handelt es sich um statisch belüftete Tafelmieten ohne Materialumsetzung, wo das Rottegut lediglich im Druck- oder Saugbetrieb belüftet wird (Rottehallen mit Rotteplatten). Letztere werden im Sinne der Prozessoptimierung nicht mehr empfohlen.
- **Containerkompostierung** - geschlossene meist standardisierte Intensivrottemodule im Chargenbetrieb, gegebenenfalls mit Umluftbetrieb und Rückverregnung von Prozess- oder Kondenswasser und mit Prozessregelung.
- **Tunnelkompostierung** - geschlossene Intensivrotte im Chargenbetrieb, mit Zu- und -Umluftbetrieb, Rückverregnung von Prozesswasser, nach Größe und Leistungsfähigkeit den jeweiligen Standortgegebenheiten anpassbar, automatische Prozesssteuerung nach Temperatur- und Sauerstoffmilieu.
- **Boxen- oder Zeilenkompostierung**, in seitlich ummauerten Zeilenmieten mit obligatorischem Umsetzen und Saugbelüftung, allenfalls mit Temperatursteuerung.

In Österreich in der Bioabfallkompostierung nicht mehr im Einsatz sind:

- **Trommel- oder Siebtrommelkompostierung** sind dynamische Verfahren mit intensiver Belüftung, jedoch wegen hoher Kosten und starker Belastung der Rottegutmaterialstruktur im Einsatzbereich der Bioabfallkompostierung nicht verbreitet, zum Teil in Klärschlammkompostierungsanlagen.
- Das **Rottefilterverfahren** stellt eine Übergangsform zu chargenbetriebenen geschlossenen Intensivrottesystemen dar, wobei die Absicht besteht die Abluft aus der Hauptrotte(-box) in einer nachgeschalteten Nachrottebox zu reinigen (Biofilterfunktion), was jedoch meist aufgrund zu kurz gewählter Materialrottezeiten nicht ohne Geruchsbelästigungen möglich ist.

Tabelle 9-5 vergleicht grundsätzliche Charakteristika von geschlossenen Reaktor- bzw. Hallensystemen mit offenen Mietenrotten. Tabelle 9-6 listet spezifische Vor- und Nachteile von einzelnen Hauptverfahren der biologischen Abfallbehandlung auf.

**Tabelle 9-5: Vergleich technischer „Intensivrottesysteme“ (geschlossene Hauptrotteverfahren) mit der offenen Mietenkompostierung hinsichtlich der wichtigsten Rotte- und Steuerparameter (nach Raninger et al., 1999, verändert)**

<b>Parameter/ Steuergröße</b>	<b>Geschlossenes Hauptrottesystem</b>	<b>Offene Mietenrotte</b>
<b>Rottesteuerung und -regelung</b>	Möglichkeit der Rottesteuerung und ggf. –Regelung über die Parameter O <sub>2</sub> -Versorgung, CO <sub>2</sub> in der Abluft, Temperaturverlauf, Feuchtigkeitshaushalt usw.. Wesentlich ist die Aufrechterhaltung eines optimalen Wasserhaushaltes und die <i>Vermeidung einer frühzeitigen Trockenstabilisierung</i> des Rottegutes, wobei ein entsprechend gut vorkonditioniertes Rottegut mit verringertem Sauerstoffbedarf zur Nachrotte meist auf eine belüftete Rotteplatte verbracht wird.	Möglichkeit der Rottesteuerung durch Wenden/Umsetzen der Mieten mit Wendemaschine. Optimierung der Feuchtigkeit durch Bewässern der Mieten vorzugsweise durch Einsprühen während des Umsetzens.  Feuchtigkeitsbeurteilung (opt. 55 – 60 %): Faustprobe, visuelle Kontrolle;  Temperaturkontrolle über händische Ablesung mit Temperaturlanze oder Sensor mit automatischer Funk-Datenübertragung  Optional: Sauerstoff (nicht unter 5 % Vol.); evtl. indirekt über CO <sub>2</sub> -Messung
<b>Klimaabhängigkeit</b>	Von Wetterlagen weitgehend unabhängige Rotteführung	Bei Überdachung von NS vollständig unabhängig.  Bei Abdeckung mit wasserableitendem Kompostvlies ist die Prozessführung weitgehend unabhängig von NS.  Anwendung des Kompostvlieses ist nur wirtschaftlich bei Einsatz eines Wickelgerätes direkt auf der Wendemaschine oder auf dem Lader montiert.
<b>Abwasser siehe Kap. 7.3</b>	Infolge Abwasserrückverregnung und der intensiven Abfuhr wasserdampfgesättigter Abluft über den Biofilter ist standortabhängig (je nach klimatischen Gegebenheiten, jedenfalls in geschlossenen Anlagen) ein abwasserfreier Intensivrottebetrieb möglich, bei welchem die Abwässer aus dem Bereich der Lagerung des Ausgangsmaterials sowie sonstige verunreinigte Oberflächenwässer verarbeitet werden können und nicht einer Abwasserreinigungsanlage oder einer landwirtschaftlichen Verbringung zugeführt werden müssen.	Bei Überdachung und optimaler Einstellung des an den Rottefortschritt angepassten Wassergehalts ist eine sickerwasserfreie Kompostierung grundsätzlich möglich.  Ohne Überdachung müssen verschmutzte Oberflächenwässer abgeleitet und in einem Speicher vor der weiteren Verwertung (Rückverregnung, Verrieselung in der Landwirtschaft, Einleitung in das öffentliche Kanalnetz oder Reinigung in einer Pflanzenkläranlage) zwischengelagert werden.
<b>Hygienisierung siehe Kap. 7.4.4</b>	Eine temperaturbedingte Hygienisierung des gesamten Rottegutes und die Erfüllung der temperaturbedingten Hygienisierung (>55 °C) kann bei Verhinderung der Trockenstabilisierung und ausreichendem Strukturanteil im Rottekörper gewährleistet werden.	Eine temperaturbedingte Hygienisierung des gesamten Rottegutes und die Erfüllung der temperaturbedingten Hygienisierung (>55 °C) kann bei Verhinderung der Trockenstabilisierung und mehrmaligem Umsetzen während der Heißrotte gewährleistet werden.
<b>Abluftmanagement siehe Kap. 7.2 und</b>	Erfassung der Rotteabluft mit der Möglichkeit der Kreislaufführung, Abluftkondi-	Besonders durch Materialzusammensetzung, Feuchtigkeitsregime, Mieten-

Parameter/ Steuergröße	Geschlossenes Hauptrottesystem	Offene Mietenrotte
7.6	tionierung, Abkühlung, Reinigung über Biofilter, gegebenenfalls künstlicher Sauerstoffanreicherung usw. Ein großer Nachteil der geschlossenen Systeme besteht darin, dass das Raumklima in der Halle nur mit riesigem Aufwand annähert aerob gehalten werden kann. In allen heute bekannten Verfahren entspricht das Raumklima nicht den Voraussetzungen, die in einem strikt aeroben Mietenprozess erwartet werden.	querschnitt, Umsetzfrequenz, evtl. Mietenabdeckung und Berücksichtigung des Standortes ausreichend optimierbar.
<b>Abbauleistung</b>	Verkürzung der Rottezeiten und weitgehender Abbau der leicht abbaubaren organischen Substanzen während der kontrollierten Intensivrottephase über 2 bis 3 Wochen (<50% OTM bei Biotonnenmaterial), dadurch bei optimalen Abbauraten geringere Anforderungen an die zweite Hauptrottephase (zB belüftete Rotteplatte) bzw. an die Nachrotte.	Bei intensivem Rotte-Management (Materialmischung, Homogenisierung zum Aufsetzen, hohe Umsetzfrequenz, präzise Temperatur-, Sauerstoff-, Feuchtigkeitssteuerung) kann ein stabiles Endprodukt nach ca. 6 bis 12 Wochen erreicht werden.  Bei entsprechendem Platzangebot, sind aber auch langsamere Prozesse insbesondere bei optimierten Kompostausgangsmischungen und Mietenquerschnitten mit geringer Umsetzfrequenz möglich.
<b>Flächenbedarf</b>	Entsprechend der durchgeführten Erhebung sehr unterschiedlich (0,3 –5,2 m <sup>2</sup> t <sup>-1</sup> ). Hängt auch wesentlich von einer geordneten Nachrotteführung ab!	Falls Platzorganisation, Infrastruktur und Rotte-Management gut abgestimmt sind, kann der Platzbedarf auf 1,2 m <sup>2</sup> t <sup>-1</sup> reduziert werden.
<b>Personalbedarf</b>	Ein reduzierter Personaleinsatz aufgrund eines weitgehend automatisierten Betriebsablaufes und Prozesssteuerung.	Ein fachlich gut ausgebildeter Betriebsleiter kann bis 5000 t Kompost pro Jahr im Vollerwerb produzieren. Voraussetzung ist eine gute maschinelle Ausstattung (selbstfahrendes Wendegerät, Lader, Siebanlage etc.).
<b>Geruchsemissionen</b> siehe Kap. 6.2	Bessere Vorsorge in bezug auf die Beherrschung von Geruchsemissionen durch verfahrensbedingte Intensivbelüftung des Rotte-gutes und Kreislauf-führung der Prozessluft. Die Abluft wird entweder zur Belüftung der Nachrotte (Biofiltereffekt, Versorgung mit Wärme und/oder Feuchtigkeit) eingesetzt, oder über einen technischen Biofilter gegebenenfalls kombiniert mit anderen Abluftreinigungsschritten einer entsprechenden Abluftreinigung zugeführt.  Voraussetzung ist eine optimierte Abbauleistung während der Hauptrotte im Reaktor und <u>keine vorzeitige „Abkühlung“ oder „Trockenstabilisierung“</u> . Ansonsten wird das Problem lediglich in die Nachrotte verlagert.	Durch richtige Materialmischungen, Kompost- und Erdzusatz, und optimale Feuchtigkeit und Sauerstoffversorgung können Geruchsemissionen auf ein absolutes Minimum reduziert werden (jedenfalls ab 300 m keine Belastung mehr).

Parameter/ Steuergröße	Geschlossenes Hauptrottesystem	Offene Mietenrotte
<b>Ausgangsmaterialien</b> siehe Kap. 6	Eine höhere Flexibilität des Prozesses gegenüber der Bandbreite unterschiedlicher Ausgangsmaterialien und Rohkompostchargen in bezug auf den Anteil an reaktiver organischer Substanz, Feuchtigkeit, Strukturstabilität usw. In der Regel ist ein geringerer Anteil an strukturgebenden Inputmaterialien erforderlich, nachdem die künstliche Belüftung ein geringeres Luftporenvolumen und eine höhere spezifische OTM - Raumbelastung zulässt.	Durch fachliche Ausbildung des Kompostierpersonals, rasche Aufbereitung und homogene Abmischung können auch problematische (pastöse, eiweißreiche) Materialien problemlos verarbeitet werden.
<b>Klimagase</b>	siehe Kap. 7.6	

**Tabelle 9-6: Rottensysteme zur Behandlung biogener Abfälle – Verfahrensvergleich (Raninger et al., 1999<sup>[A229]</sup>)**

	⇒ Vorteile	⇒ Nachteile
<b>Wendetechnik, automatisiert</b> (Wendelin)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ kontinuierliches Verfahren</li> <li>■ regelmäßiges, variables Umsetzen des Rottegutes</li> <li>■ klarer Verfahrensablauf</li> <li>■ geringster Platzbedarf</li> <li>■ Umluftbetrieb möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ höhere Investitionskosten als Rotteplatte</li> <li>■ höhere Betriebskosten (Energie, Verschleiß, ...)</li> <li>■ Korrosions- und Arbeitsplatzproblematik in druckbelüfteter Rotteplatte</li> <li>■ inflexibler Betrieb bei Ausfall der Wendetechnik</li> <li>■ keine rottegutabhängige Prozesssteuerung</li> <li>■ unzureichende Kontrolle des Wasserhaushaltes</li> <li>■ bei Saugbetrieb Energie- u. Wasserverluste</li> </ul>

	⇒ Vorteile	⇒ Nachteile
<b>Rottetunnel, -boxen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Rotteführung im Chargenbetrieb</li> <li>■ Prozesssteuerung in Abhängigkeit des Rottegutes</li> <li>■ Maschinentechnik außerhalb korrosiver Atmosphäre</li> <li>■ modulare Bauweise</li> <li>■ simultane Verarbeitung von unterschiedlichem Rottegut und Rohkompost</li> <li>■ intensive Belüftungsraten mit O<sub>2</sub> Steuerung (&gt; 14 % (v/v) O<sub>2</sub>) - Umluftbetrieb</li> <li>■ Perkolatrückverregnung</li> <li>■ Notbetrieb mit Radlader</li> <li>■ kürzere Rottezeiten</li> <li>■ abwasserfreier Betrieb da Kreislaufführung und Wasserabfuhr über Abluftstrom</li> <li>■ keine Arbeitsplatzprobleme in der Rottehalle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ hohe Anforderungen an das Betriebspersonal (Ausbildung)</li> <li>■ mechanische Zwischenbehandlung nur bei Tunnelaustrag</li> <li>■ aufwendige Transporttechnik (Beschickung, Entleerung)</li> <li>■ Probleme mit Geruch und hoher Keimbelastung bei nicht ausreichendem Rottefortschritt und mangelhafter Stabilisierung beim Austrag aus der Rottebox</li> </ul>
<b>Rotteplatte, belüftet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ geringere Investitionskosten</li> <li>■ geringe Personalqualifikation erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ hohe Abluftbelastung</li> <li>■ fehlende Prozesssteuerung</li> <li>■ keine bzw. schlechte Beeinflussung des Wasserhaushaltes</li> <li>■ kein abwasserfreier Betrieb</li> </ul>
<b>Mietenkompostierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ dezentrale Strukturen</li> <li>■ Produktion direkt beim Anwendungsbereich</li> <li>■ geringere Investitionskosten</li> <li>■ geringe Personalqualifikation erforderlich, im Nebenerwerb möglich</li> <li>■ landwirtschaftliche Verwertung, bzw. Rückverregnung von Prozess-, Oberflächen- und Sickerwasser</li> <li>■ höhere Identifikation des Betreibers (eigenes Material)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ höherer Anteil an Zuschlagstoffen (Stroh, Stallmist, Steinmehl,...) insbesondere bei nass-biogenen Abfällen</li> <li>■ fehlende Ablufferfassung (Geruchsemissionen beim Umsetzen)</li> <li>■ fehlende Automatisierung der Prozesssteuerung</li> <li>■ Abwasseranfall je nach Niederschlagszone</li> <li>■ Abstände zu Wohngebieten jedenfalls 300 m</li> </ul>

### 9.3.2 Anforderungen an die baulich-technische Ausstattung, Betriebsführung und Dokumentation der Hauptrotte

#### 9.3.2.1 Wesentliche Funktionen

- Abbau/Umbau der leicht abbaubaren organischen Substanzen
- die Herstellung eines geruchsarmen Rotteprodukts in 1 oder 2 Verfahrensstufen
- temperaturbedingte Hygienisierung gemäß Abschnitt 7.4.2 durch Maßnahmen, die gewährleisten, dass das gesamte Material der erforderlichen Temperatur (> 55 °C) über die notwendige Zeit ausgesetzt ist
- Minimierung der Emission von klimarelevanten Gasen (siehe Abschnitt 7.6) und Geruch (siehe Abschnitt 7.2)

#### 9.3.2.2 Mögliche Emissionen

- Geruch auf Grund der beim Abbau entstehenden Stoffwechselprodukte
- Flüssige Emissionen (zB Prozess-, Kondens- und Niederschlagswasser)
- Staub- und Keimemissionen im Zuge der Materialmanipulation
- Sonstige gasförmige Emissionen
- Lärm durch Belüftungs- und Umsetzaggregate
- Materialverfrachtung im Zuge der Manipulation

#### 9.3.2.3 Mindestanforderungen an die baulich-technische Ausstattung

- Maschinelle Einrichtungen für Beschickung, Entnahme und Manipulation
- Bodenbeschaffenheit der Hauptrottefläche:

##### **Variante A – Bodenabdichtung**

- flüssigkeitsdichte Basisabdichtung der Hauptrotteflächen einschließlich erforderlicher Abwassererfassung, ausgenommen *Variante B*

**Variante B – Hauptrotte auf offenem Mutterboden** von organischen Abfällen aus dem Garten und Grünflächenbereich bis zu einer Verarbeitungsmenge von maximal 300 m<sup>3</sup> pro Jahr und Betrieb. Dabei dürfen an einem Standort nicht mehr als 100 m<sup>3</sup> zugleich gelagert bzw. kompostiert werden. Die Voraussetzungen hierfür sind im einzelnen:

- Zulässige Materialien:
  - ⇒ Organische Abfälle aus dem Garten- und Grünflächenbereich gemäß Anlage 1 Teil 1 Kompostverordnung (BGBl. I Nr. 292/2001) mit den Nummern 102, 103, 104, 105, getrennt gesammelte organische Friedhofsabfälle (Nr. 116) sowie Ernterückstände, Stroh, Reben, verdorbenes Saatgut, Stallmist, überlagerte Feldfrüchte u.ä. sofern diese aus dem eigenen Betrieb stammen,
- Das Kompostiergut in der Hauptrotte ist durch Abdeckung mit einem luftdurchlässigen und wasserableitenden Kompostvlies vor Niederschlägen zu schützen.
- Der Standort muss jedenfalls einer Einzelfallbeurteilung unterzogen werden. Die grundsätzlichen Anforderungen an den Standort sind:
  - ⇒ Das Gelände soll eine leichte Neigung aufweisen (ca. 3 %) keine Mulde
  - ⇒ Mindestabstand vom nächsten Oberflächengewässer: > 50 m unter Beachtung der hydrogeologischen Situation
  - ⇒ Mindestabstand von nächster Quell/Brunnenfassung: > 50 m unter Beachtung der hydrogeologischen Situation
  - ⇒ Nicht innerhalb des HQ-30 Bereiches von Vorflutern
  - ⇒ Auf Standorten mit einer geringen Bindigkeit bzw. hohen Durchlässigkeit ist ein jährlicher Standortwechsel erforderlich,

- ⇒ Nicht auf Standorten mit leichten Böden (Tongehalt < 15%)
- ⇒ Nicht in Wasserschutzgebieten (§34 Abs.1 WRG)
- ⇒ Nicht in Grundwassersanierungsgebieten hinsichtlich Nitrat; bei einem geplanten Standort im Schongebiet gelten die jeweiligen Schongebietsverordnungen; nicht in Gebieten entsprechend einer wasserwirtschaftlichen Rahmenverfügung zum Schutze des Grundwasservorkommens gemäß § 54 (1, 2) WRG (BGBl. Nr. 215, in der Fassung BGBl. I Nr. 142/2000).
- ⇒ Nicht in Karstgebieten
- ⇒ Nicht auf Standorten mit Staunässegefahr
- ⇒ Nicht auf Standorten mit einem rechnerisch höchsten Grundwasserstand von weniger als 2 m unter Geländeoberkante
- Vliesabdeckung oder Überdachung in der Hauptrotte:
  - Die Möglichkeit der Vliesabdeckung soll für den Fall von Starkregenereignissen bei offener Dreiecksmietenkompostierung mit Mietenhöhen zum Zeitpunkt des Aufsetzens von bis zu 1,5 m für alle Betriebsgrößen und Materialarten ab einer Jahresniederschlagsmenge von 1.000 mm gegeben sein. Bei Verfahren mit drückender Zwangsbelüftung kann die Vliesabdeckung entfallen. Die Vliesabdeckung erfüllt folgende Funktionen:
    - ⇒ Teilweise Erhaltung des Kondenswassers,
    - ⇒ Ableiten des Niederschlagswassers bei
    - ⇒ gleichzeitiger Gewährleistung des Gasaustausches,
    - ⇒ geringere Austrocknung und damit gleichmäßige Kompostierung auch der Mietenrand-schichten
    - ⇒ Abhaltung von Vögeln.

Probleme können sich bei Schneelage und durchnässtem Vlies ergeben. Ein wirtschaftliches und effektives Arbeiten wird durch ein an das Umsetzgerät angebautes Wickelgerät erreicht.
- Eine Überdachung ist bei einem Jahresdurchsatz von mehr als 3.000 t in Gebieten mit einem Jahresniederschlag von mehr als 1.300 mm und, wenn zugleich zumindest eines der folgenden Kriterien zutrifft, erforderlich:
  - Übernahme über einen Zeitraum von 9 Monaten und mehr
  - der Anteil an feuchten, N-reichen Materialien (zB küchenabfallreiche Biotonne, feuchte Abfälle aus der Lebensmittelindustrie, Klärschlamm) beträgt mehr als ca. 25 % (v/v).
- Einrichtung zur regelmäßigen Temperaturmessung:
- Ausstattung zur Sicherstellung des erforderlichen Gasaustausches und der Durchmischung
- Einrichtung, die nach Erfordernis eine Nachbefeuchtung jederzeit ermöglicht

#### 9.3.2.4 Optionale, ergänzende Ausstattung bzw. Prozesssteuerung

- Sauerstoff-, CO<sub>2</sub>- oder Methanmessung im Rottekörper; bei geschlossenen Systemen auch in der Abluft
- Automatisierte Prozesssteuerung und/oder -regelung (über die Prozessparameter Temperatur, Sauerstoff, Kohlendioxid, Wassergehalt) mit Einrichtungen zur Betriebsüberwachung und Erfassung der Prozessdaten (Schreiber, Betriebsstundenzähler, EDV-Leittechnik)
- Überdachung auch bei zB geringeren Durchsatzmengen an biogenen Abfällen bzw. Niederschlagsmengen
- Umhausung bzw. geschlossenes Kompostierungsverfahren
 

Die Notwendigkeit, die Hauptrotte oder zumindest den ersten Abschnitt der Intensivrotte in geschlossenen Reaktoren oder in Form einer eingehausten Mietenrotte durchzuführen, richtet sich im wesentlichen nach dem Standort und der Wahrscheinlichkeit, mehr als zumutbare Geruchsimmissionen oder eine Keimbelastung bei der benachbarten Wohnbevölkerung zu

verursachen. Die Voraussetzungen und die Mindestanforderungen hierfür sind in Abschnitt 7.2.9 (Geruchsemissionen) und 7.5 (Keimemissionen) dargestellt.

### 9.3.2.5 Anforderungen an die Betriebsführung

#### **Sicherstellung eines kontinuierlichen Prozessablaufes → weitestgehender und kontinuierlicher Abbau der leicht abbaubaren Substanzen**

- Wie erwähnt ist das Ziel der Hauptrotte, unabhängig vom gewählten Rotteverfahren *einen kontinuierlichen und zügigen Abbau der leicht abbaubaren organischen Substanzen* inkl. der Zwischenabbauprodukte, wie organische Säuren etc. zu gewährleisten. Für diesen aeroben Abbau sind daher die optimalen Milieubedingungen zu schaffen. Dies geschieht i.w. durch
  - die Sicherstellung des Gasaustausches
  - die Einstellung des erforderlichen Wassergehaltes
- **statisch zwangsbelüftete Reaktorsysteme**
  - Der Sauerstoffgehalt in der Abluft aus geschlossenen Reaktoren soll als Regelparameter nicht unter 14 % (v/v) sinken.
  - Erforderlich ist eine kontinuierliche Überwachung und Prozessregelung der Belüftungsfunktion.
  - Über ein Sicherheitssystem muss es gewährleistet sein, dass bei Ausfall der Belüftungsanlage, ein Notbetrieb bzw. ein rascher Austrag des Materials möglich ist, um ein Kippen in die Anaerobie zu verhindern.
  - Verteilung und Größe der Belüftungsschlitze/Öffnungen sowie eventuelle Luftleitelemente müssen in Kombination mit der homogenen Verteilung des luftführenden Poren eine gleichmäßige Verteilung der durchströmenden Luft sicherstellen.
  - Zusätzlich zur saugenden oder drückenden Belüftung ist das Rottegut zumindest 1 x pro Woche mechanisch zu wenden, da die Setzungsvorgänge ein ausreichend gleichmäßiges Durchströmen mit Frischluft beeinträchtigen.
- **Offenes Mietensystem**
  - Über die Maschinenverfügbarkeit muss sichergestellt sein, dass eine Miete bei Bedarf jederzeit umgesetzt werden kann.
  - Für den Bedarfsfall muss immer ausreichend Strukturmaterial vorrätig gehalten werden, um Korrekturen des Strukturgutgehaltes einzelner Chargen vornehmen zu können.
  - Die Umsetzhäufigkeit richtet sich nach den Kriterien:
    - ⇒ Mietenhöhe
    - ⇒ Anteil an Strukturmaterial (Dichte) bzw. stickstoffreichen frischen Ausgangsmaterialien in der Kompostausgangsmischung
    - ⇒ Ziel einer kontinuierlichen, homogenen Rotte (zunächst Abbau und in der Folge Humifizierung und Stabilisierung)
    - ⇒ Ziel einer gleichmäßigen, alle Bereiche umfassenden thermischen Hygienisierung.
  - Mietensysteme mit Mietenhöhen größer ca. 1,5 m zum Aufsetzen sollten vor allem zur Reduktion der Methanemission alle 3 – 4 Tage gewendet werden.

#### **Einstellung des erforderlichen Wassergehaltes**

- Während der gesamten Rotte muss die Möglichkeit einer *gleichmäßigen Bewässerung* des Rottegutes in Abhängigkeit von Rottefortschritt, Materialart und Mietenstruktur gewährleistet sein. Dies gilt insbesondere für die Hauptrottephase bis zum Absinken der Mientemperatur unter 40 °C.

### **Abluftbehandlung**

- Die *Abluftbehandlung* ist in geschlossenen Kompostierungsverfahren (zB Rottebox; umhauste Mietenkompostierung auf Schlitzböden) und in offenen Mietensystem mit Saugbelüftung zur Abscheidung der Geruchsstoffe, NMVOC<sup>31</sup> und Staub aus der Abluft der Intensivrotte notwendig. Die mit Geruchsstoffen belastete Abluft wird über Biofilterschüttungen geblasen, die die Geruchsstoffe und NMVOC absorbieren. Dem Biofilter vorgeschaltet werden kann ein Luftbefeuchter oder auch ein saurer Wäscher zur effektiven Abscheidung von NH<sub>3</sub> und Staub. Zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit und zu den Grundsätzen des Biofilterbetriebes siehe Abschnitt 7.2 (*Geruchsemissionen*) und 7.6 (*Sonstige gasförmige Emissionen*).

### **Temperatursteuerung**

- Nach Abschluss der temperaturbedingten Hygienisierungsphase (siehe Abschnitt 7.4.2) ist ein Temperaturbereich < 55 °C sowie ein Wassergehalt über 45 - 55 % anzustreben.
- Langanhaltende Temperaturmaxima > 65 °C sind zu vermeiden (siehe Abschnitt 5 und 7.2).
- Bei geschlossenen Systemen ist die durch die Zwangsbelüftung hervorgerufene Trockenstabilisierung durch entsprechende Zuluftkonditionierung, Materialbefeuchtung und künstliches Abkühlen des Prozesses zu vermeiden.

### **Sickerwasserentstehung und -behandlung**

- In der Regel wird das endogene Prozesswasser und das auf der Rottefläche anfallende Niederschlagswasser gemeinsam in einem flüssigkeitsdichten Sammelbecken gesammelt und zur Bewässerung rückverregnet. Durch die hohe organische Belastung der Sickerwässer und den z.T. anaeroben Bedingungen der Lagerung kann diese Maßnahme zu Geruchsproblemen führen. Eine Belüftung durch Einblasen von Luft oder Rühren, wie dies in der Gülleaufbereitung Stand der Technik ist, und die Zugaben von oberflächenaktiven mineralischen Substanzen (Tonmehle, kalkhaltige Gesteinsmehle u.a.) oder Kohlenstoffquellen (Strohmehl) können hier Abhilfe schaffen.
- Während der Hauptrotte sollte durch einen zügigen Abbau und die an die Wasserkapazität des Materials angepasste Bewässerung der weitgehende Abschluss der Prozesswasserbildung erreicht werden.
- Die Mietenanordnung ist so durchzuführen, dass austretendes Press- und Prozesswasser aus noch nicht vollständig hygienisierten Mieten (Hauptrotte) nicht in Mieten eindringen kann, in denen keine thermische Hygienisierung gemäß 7.4.4.1 erfolgt.

→ Weitere Ausführungen zur Sickerwasserqualität, -behandlung, -verwertung und -entsorgung siehe Abschnitt 7.3.

### **Maßnahmen der Emissionsminderung**

Emissionsmindernde Maßnahmen mit den entsprechenden Anforderungen sind für den Bereich der Hauptrotte in Abschnitt 7 beschrieben.

### **Anforderungen an die Dokumentation**

Im Betriebstagebuch sind folgende Maßnahmen und Daten unter Angabe des Datums zu vermerken<sup>32</sup>:

- Zusammensetzung der einzelnen Kompostchargen

---

<sup>31</sup> NMVOC ... *Nicht-Methan flüchtige Organische Verbindungen (Non-methane volatile organic compounds)*

<sup>32</sup> Eine genaue Beschreibung der Mindestanforderungen zu den erforderlichen Aufzeichnungen während der Kompostierung siehe BGBl. I Nr. 292/2001 Kompostverordnung, Anlage 6 sowie „Fachinformation zur Kompostverordnung“ des BMLFUW (siehe Fußnote 4). Detaillierte Anforderungen zur Dokumentation des Rotteprozesses im Sinne der Hygienisierung siehe Abschnitt 7.4.4.1 „*Dokumentation zur seuchenhygienischen Beurteilung des Rotteprozesses und des Verfahrensablaufes*“

- Temperaturmessung
- Feststellen des Feuchtigkeitsgehaltes (es genügt die visuelle Einschätzung oder *Faustprobe*)
- Bewässerungsmaßnahmen
- Umsetzzeitpunkte
- Belüftungsmaßnahmen
- allfällige andere Maßnahmen wie zB Mietenabdeckung, Zwischensiebungen Zusammenlegen von Kompostchargen

### 9.3.2.6 Diskussionsentwurf für Mindestanforderungen an den Rottegrad bzw. die Stabilität des Rottegutes bei Austrag aus geschlossenen Rottreaktoren (zB Rottehalle, Box, Tunnel)

Im Hinblick auf das zu erwartende Stabilisierungs- und Emissionsverhalten sind auch stoffliche Eigenschaften des Rotteinputmaterials von Bedeutung (Atmungsaktivität nach 4 Tagen [AT<sub>4</sub>], Struktur bzw. Korngrößenverteilung [Porosität], Feuchtegehalt, C/N-Verhältnis; oder andere Parameter, die über die Abbaubarkeit oder biologische Stabilität des Materials Auskunft geben).

Als Ausgangspunkt für eine Expertendiskussion können als möglichen Parameter die Atmungsaktivität AT<sub>4</sub>, respirometrische Methoden (zB der Dynamische Respirationsindex [DRI < 1.000 mg O<sub>2</sub> kg/OTS\*h]<sup>33</sup>) oder die Messung organischer Säuren als Maß für die biologische Stabilisierung vorgeschlagen werden.

An dieser Stelle gehen wir mit einigen Beispielen auf Messungen der AT<sub>4</sub> näher ein und skizzieren eine mögliche Umsetzung im Rahmen einer künftigen Richtlinie.

Sowohl die österreichische Richtlinie MBA (Kapitel 6.5[6]) als auch die deutsche 30. BImSchV (§16) ermöglichen bei der biologischen Restabfallbehandlung als Ausnahmeregelung eine offene Nachrotte, die frühestens nach einer biologischen Behandlungsdauer von 4 Wochen im geschlossenen System zugelassen werden kann, wenn der AT<sub>4</sub> des zur Nachbehandlung vorgesehen Abfalls den Grenzwert unterschreitet und sichergestellt ist, das schädliche Umwelteinflüsse sowie nachteilige Einflüsse auf die biologische Behandlung vermieden werden.<sup>34</sup> Durch das Unterschreiten des AT<sub>4</sub>-Grenzwertes von 20 mg O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> TM kann von einer deutlichen Stabilisierung der Abfälle durch die vorgelagerten Prozesse mit einer entsprechenden Reduktion des Emissionspotenzials ausgegangen werden.

Als Mindestanforderungen an geschlossene Rottesystem mit Abluftreinigung müsste folgerichtig gefordert werden, dass eine ausreichende Reduktion des Geruchsstoffpotenzials in obigem Sinne zum Zeitpunkt der Auslagerung stattgefunden hat.

Die für die mechanisch-biologische Abfallbehandlung getroffene Regelung kann also in dieser Hinsicht auf die geschlossenen Intensivrottesysteme übertragen werden.

---

<sup>33</sup> DRI ... Dynamischer Respirations Index; OTS Organische Trockensubstanz. Dieser Test wird in Italien als Stabilitätsparameter zur Beurteilung mechanisch-biologischer Abfälle zur Deponierung und als Grenzwert für die Auslagerung von Komposten aus geschlossenen Anlagenteilen verwendet (Literatur Adani et al., 2002).

<sup>34</sup> Zitat aus der österreichischen MBA-Richtlinie: „...Abweichend von Absatz 1 (geschlossenes oder umhaustes System) und Absatz 2 (vollständige Zuführung des beim Rottevorgang entstehenden Abgases zu einer Abgasreinigung) kann die zuständige Behörde auf Antrag des Betreibers bei einer mehrstufigen biologischen Behandlung eine biologische Nachbehandlung unter aeroben Bedingungen in einem nicht geschlossenen System oder in einem nicht umhausten System ohne Abgaserfassung und Abgasreinigung frühestens nach einer biologischen Behandlungsdauer von 4 Wochen zulassen, wenn die Atmungsaktivität nach 4 Tagen (AT<sub>4</sub>) (Bestimmungsmethode siehe Anhang I) des zur Nachbehandlung unter aeroben Bedingungen vorgesehenen Abfalls den Wert von 20 mg O<sub>2</sub>/g TM unterschreitet und durch sonstige betriebliche Maßnahmen sichergestellt ist, dass schädliche Umwelteinwirkungen sowie nachteilige Einflüsse auf die biologische Behandlung (insbesondere durch die Witterung) vermieden werden. Schädliche Umwelteinwirkungen können insbesondere sein: Kontamination des Bodens oder Grundwassers durch Abwasser (z. B. Sickerwasser, Prozesswasser, Kondenswasser) und Kontamination der Luft (z. B. durch Geruch, Staub, Keime, organische Stoffe, Ammoniak, Lachgas)“.

Der  $AT_4$  im Nachrotteinput kann gezielt durch die Gestaltung und Dauer der vorgeschalteten biologischen Prozesse positiv gesteuert werden (Struktur bzw. Korngrößenverteilung, Feuchtesteuering, C/N-Verhältnis, Belüftungssteuerung/-regelung).

Der vorgeschriebene  $AT_4$ -Grenzwert von  $20 \text{ mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ TM}$  kann mit hochwertigen Verfahren je nach Vorbehandlungsart bei einer Rotte von Restabfällen nach 3 bis 6 Wochen bzw. bei einer Vergärung nach 2 bis 3 Wochen erreicht werden (Abbildung 9-13). Bei einer anaeroben Abfallvorbehandlung sollte allerdings auf jeden Fall eine kurze Aerobisierungsstufe (zB 2 Wochen) auf Grund der Geruchsproblematik vorgesehen werden. Offene Mietenrotten mit 3 bis 7-tägigem Umsetzen an je einer Bioabfall- und Grünschnittmiete unterschreiten den Grenzwert nach ca. 3 Wochen (Abbildung 9-14).

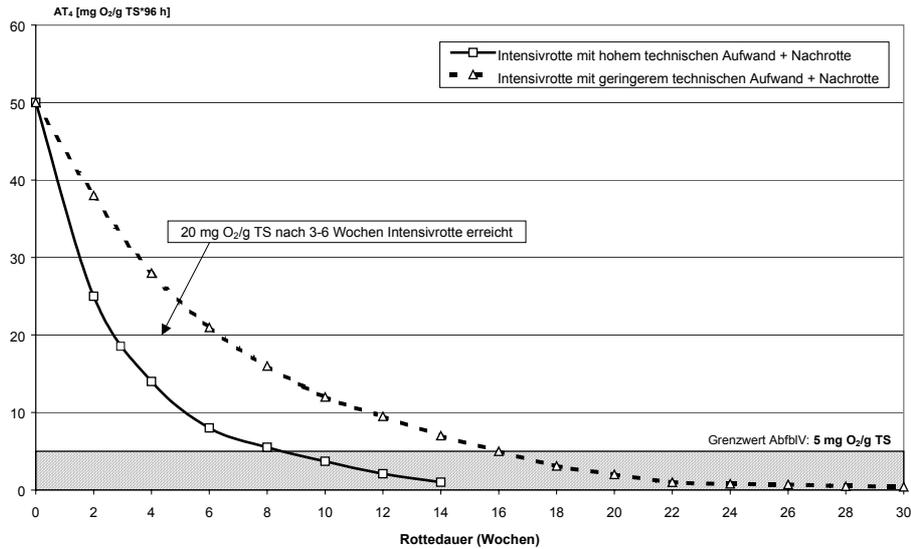


Abbildung 9-13: Atmungsaktivität ( $AT_4$ ) von Restabfall im Rotteverlauf (Wallmann et al., 2003)

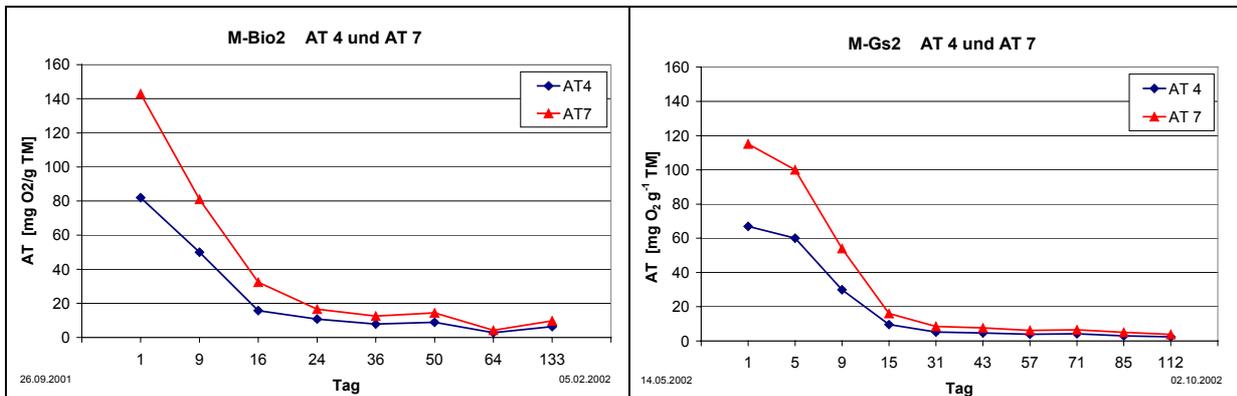
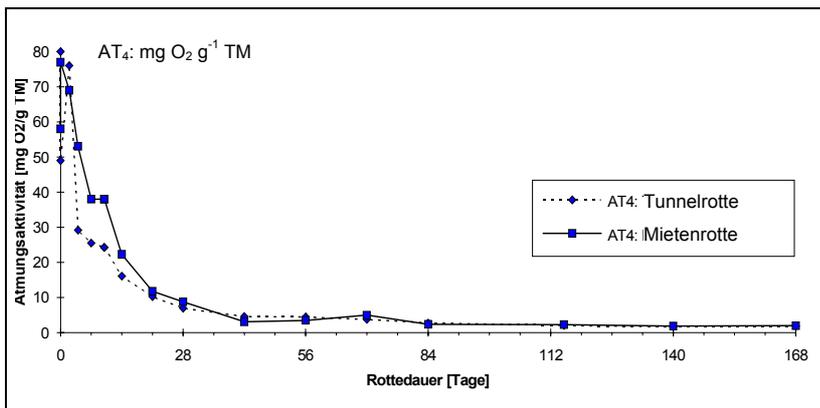


Abbildung 9-14: Entwicklung der Atmungsaktivität ( $AT_4$  und  $AT_7$ ) einer Bioabfall- (links) und einer Grünschnittmiete (rechts) im Rotteverlauf (Amlinger und Peyr, 2003)



**Abbildung 9-15: Entwicklung der Atmungsaktivität (AT<sub>4</sub>) einer offenen Mietenkompostierung von grünschnittreichen Bioabfall und einer Tunnelrotte von Bioabfall (Binner, persönliche Mitteilung)**

Ähnliche Ergebnisse wurden in einer anderen Mieten- bzw. Tunnelrotte mit gemischten Bio- und Grünschnittabfällen erzielt (Abbildung 9-15). Im Fall einer geschlossenen Intensivrotte bzw. Vergärung wird eine sichere Unterschreitung des AT<sub>4</sub> von 20 mg O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> TM gemäß Kapitel 6.5(6) der Richtlinie für die MBA bzw. § 16 der 30. BImSchV und eine 4-wöchige Aufenthaltszeit im geschlossenen Rotteaktor gefordert.

Im Vergleich mit einer offenen Mietenkompostierung ist nach heutigem Kenntnisstand für Bioabfall eine gekapselte Intensivrotte-

dauer von ca. 3 Wochen erforderlich.

Jedenfalls müsste zum Zeitpunkt des Auslagerns aus geschlossenen Rotteeinheiten ein ausreichender Stabilitätsgrad erzielt sein, damit auch im Übergang zu einer offenen Nachrotte bzw. zweiten Hauptrottestufe keine nennenswerten Geruchsprobleme zu erwarten sind.

Als Nachweis der entsprechenden Leistungsfähigkeit der geschlossenen Intensivrotte und der Eignung für eine offene 2. Hauptrottestufe oder Nachrotte wäre in Analogie zur MBA-Richtlinie im Rottegut ein AT<sub>4</sub> von 20 mg O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> TM einzuhalten.

Eine Überprüfung sollte 2 mal pro Jahr, mindestens jedoch alle 3.000 t Inputmaterial im Zuge der Eigenüberwachung durch eine befugte Fachperson oder Fachanstalt (im Sinne §2(6)6. AWG BGBl. 1 102/2002) erfolgen. Bei Verarbeitung wesentlich unterschiedlicher Materialkategorien (zB Biotonne mit Grünschnitt und Klärschlamm) mit entsprechend unterschiedlichen Anforderungen an die Rottesteuerung und -regelung hätte die Untersuchung für diese Materialkategorien gesondert zu erfolgen.

Würde dieser Wert durch ein geschlossenes Intensivrottesystem bei gegebener Materialzusammensetzung nicht erreicht, so müsste die Behandlungsdauer entsprechend erhöht, oder um eine zweite Stufe der Hauptrotte in einem geschlossenen Bereich mit Zwangsbelüftung, Ablufferfassung und Desodorierung über einen Biofilter erweitert werden.

### 9.3.3 Verfahrensbeschreibung der Hauptrottesysteme

Die Beschreibung der Kompostierungssysteme folgt in seinem Aufbau dem entsprechenden Abschnitt des „Handbuch der Kompostierung“ aus dem Jahr 1993 (Abschnitt B, Abschnitt 3; Binner et al., 1993[A230]). Grundlage war weiters eine im Rahmen der Studie durchgeführte Erhebung bei Anlagenherstellern und -betreibern mit dem Ziel, die in Österreich angebotenen bzw. betriebenen Kompostierungssysteme möglichst praxisgetreu zu erfassen.

Um die breite Variabilität der offenen Mietenkompostierung unter Berücksichtigung der Praxiserfahrungen abbilden zu können, wurden in Zusammenarbeit mit Vertretern der ARGE Kompost und Biogas repräsentative Kompostanlagen ausgewählt, die seitens der Kontroll- und Beratungsorgane erhoben wurden. Für die Beschreibung der einzelnen Verfahrenstypen wurden nur zum Teil Beispiele einzelner individueller Anlagen herangezogen. In den meisten Fällen flossen die Erfahrungen der Autoren bzw. die Ergebnisse mehrerer Anlagenbetreiber in die Bewertung mit ein.

In einem letzten Schritt wurden teilweise die fertigen Kurzbeschreibungen an repräsentative Anlagenbetreiber ausgesandt, um ihnen die Möglichkeit zu geben, aus Ihren Erfahrungen, Ergänzungen und Korrekturen anzubringen.

Schließlich beruhen die Ergebnisse auf den Einschätzungen der Autoren, die nicht immer mit den Angaben der Firmen oder Anlagenbetreiber übereinstimmen müssen, auf Basis von Literaturlauswertungen und eigenen Erfahrungen im Sinne einer emissionsarmen und qualitätsorientierten Kompostierung.

### 9.3.3.1 Einige Daten aus der Praxiserhebung

#### **Dauer der Rottephasen**

Die Angaben zur Dauer der Rottephasen umfassen eine große Bandbreite. Dies ist auch auf eine gewisse Unschärfe der Definitionen „Hauptrotte“, „Nachrotte“ und „Nachlager“ zurückzuführen.

**Tabelle 9-7: Bandbreiten der Zeitdauer der Rottephasen**

	Hauptrotte	Nachrotte	Nachlager
<b>Zeitdauer</b>	2 – 15 Wochen	5 – 15 Wochen	4 – 8 Wochen, nach Bedarf
<b>Umsetzintervalle</b>	meist wöchentlich 1 – 14 Tage	7 – 60 Tage	21 – 60 Tage, nie

#### **Mietenabmessungen**

Auch hier finden wir nahezu sämtliche Mietengeometrien. Ausgesprochene Tafelmieten sind jedoch i.w.S. in geschlossenen Rottehallen mit Zwangsbelüftung und automatischem Wendesystemen zu finden.

**Tabelle 9-8: Mietenformen und Abmessungen der Mieten**

			
<b>Höhe</b>	1,5 – 3 (6) m	2 – 2,5 m	1,5 – 4 m
<b>Breite</b>	3 – 6 m	4 – 6 m	6 – 75 m
<b>Länge</b>	30 – 160 m, beliebig	30 – 60 m, beliebig	8 – 85 m, beliebig

#### **Flächenbedarf**

Der Flächenbedarf der erhobenen Kompostanlagen bewegt sich je nach Rottesystem in einer Bandbreite von etwa  $0,5 - 5 \text{ m}^2 \text{ t}^{-1}$ . Er verringert sich naturgemäß mit zunehmender Mietenhöhe, früherem Aufsetzen zur Nachrotte in großvolumigen Tafelmieten und mit zunehmender Bearbeitungsintensität. Die beiden ersteren Faktoren sind jedoch als nachteilig hinsichtlich der Rottequalität zu sehen.

### 9.3.4 Offene Mietenkompostierung ohne Zwangsbelüftung

Die Zielsetzung für die Konditionierung des Rohmaterials besteht vor allem im Fall der einfachen Mietenrottesysteme darin, beim "höchstmöglichen" Wassergehalt ein solches Luftporenvolumen sicherzustellen, dass eine dem Rottefortschritt angepasste Sauerstoffversorgung ohne zusätzliche technische Maßnahmen - Umsetzen, Wasserzugabe u.a. - über einen möglichst langen Zeitraum gewährleistet ist.

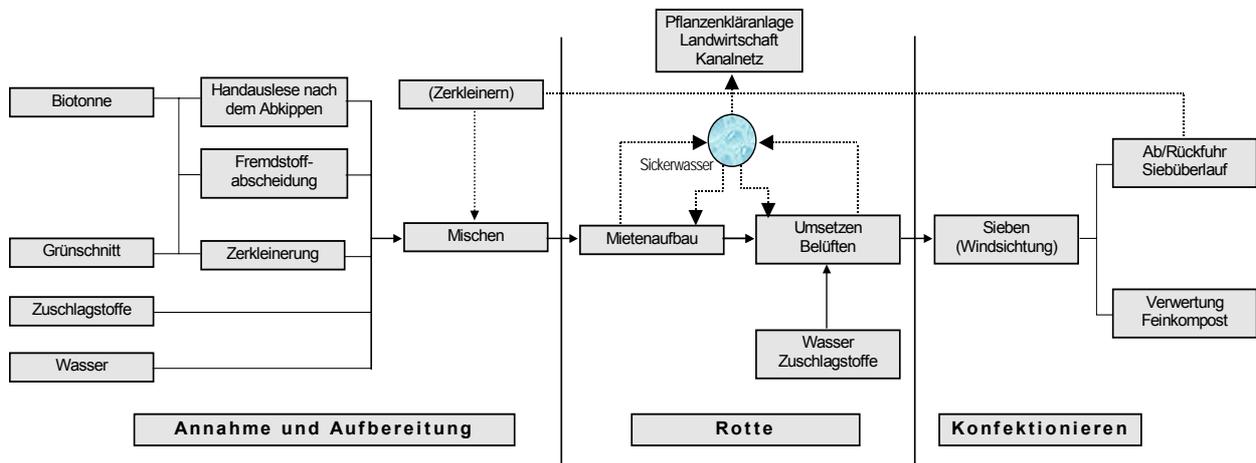
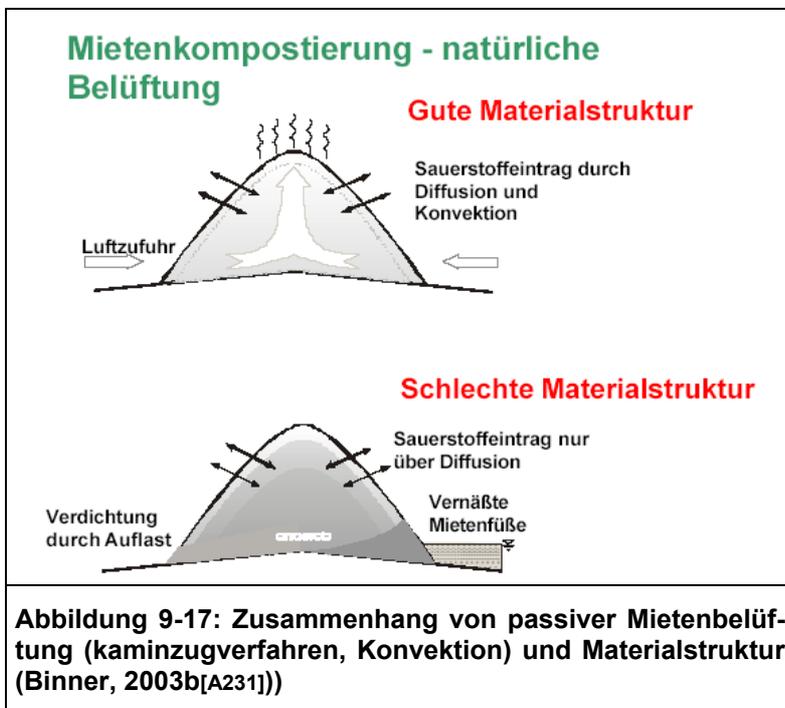


Abbildung 9-16: Ablaufschema einer offenen Mietenrotte für biogene Abfälle mit den wichtigsten Prozess- und Manipulationsschritten

#### Walm-Miete



zu erreichen.

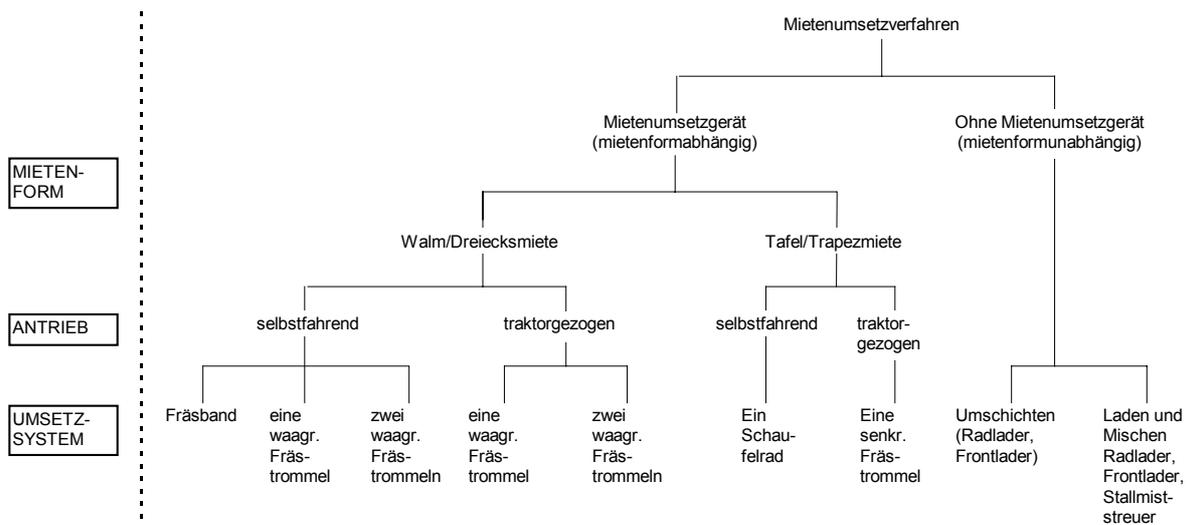
In der Praxis sind in Abhängigkeit der Dimensionierung der Wendemaschine Mietenquerschnitte von 1,80 - 4,00 m Breite und 0,80 - 2,50 m Höhe anzutreffen.

## Tafel-Miete

Große Trapez- oder Tafelmieten wurden v.a. in der Grünschnittkompostierung mit geringem Platzangebot eingesetzt. Bei Mietenhöhen von bis zu 4 Metern besteht ein hoher Strukturmaterialbedarf. Ein kontinuierlicher Rottefortschritt ist aufgrund der Bildung von Verdichtungszone schwer zu erreichen.

## Umsetzgerät

Umsetzgeräte sind speziell für die Dreiecks- und Tafelmietenkompostierung entwickelte Maschinen, als Selbstfahrer mit Eigenantrieb oder als Anbaugeräte für Zugmaschinen. Folgende Übersicht gibt die wichtigsten Gerätetypen wieder.



### 9.3.4.1 Beispiel einer landwirtschaftlichen Kompostieranlage mit einer Verarbeitungskapazität von ca. 1.500 t a<sup>-1</sup>

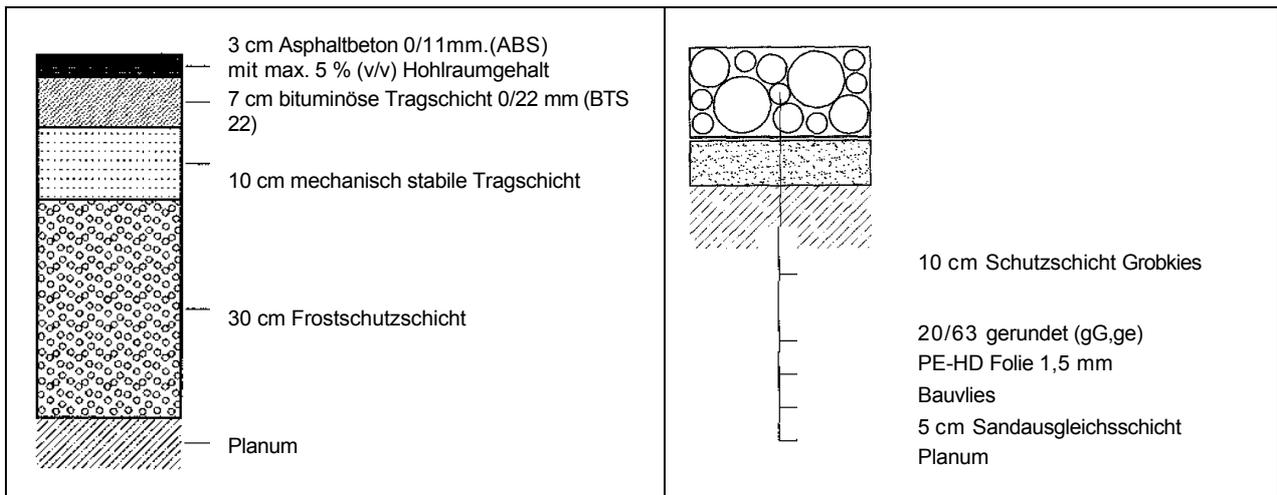
Abmessungen der Rotte- und Manipulationsflächen: 34 x 67 m = 2278 m<sup>2</sup>

Abmessungen der Mieten: 7 Mieten; Breite: 3,0 m; Höhe 1,2 m; Länge: 60 m

Gefälle: 3 % in der Längsrichtung, kein Seitengefälle

Entwässerung: 4 Einlaufschächte mit Eimer, Absetzschacht 9 m<sup>3</sup>, Retentionsbecken min. 200 m<sup>3</sup>

Bearbeitung: mit gezogener Wendemaschine



**Abbildung 9-18: Standardaufbau der Rotte- und Manipulationsfläche**

**Abbildung 9-19: Standardaufbau für folienabgedichtete Retentionsbecken**

Die flüssigkeitsdichte Ausführung der Rotte- und Manipulationsflächen und die Sammlung der Prozesswässer und des verunreinigten Niederschlagswassers in flüssigkeitsdichten Betongruben oder Folien-Becken dient dem Schutz des Oberflächenwassers (Vorfluter) und des Grundwassers. Die Rotteflächen von offenen Kompostierungsanlagen sind – mit Ausnahme der in Abschnitt 9.3.2 beschriebenen Sonderfälle – als Asphaltfläche auszuführen. Nach Abschluss der Heißrotte ist eine Lagerung des Rottegutes auf offenem Boden nur zugelassen, wenn die Miete mit einem wasserabweisenden Vlies abgedeckt wird (siehe Abschnitt 9.3.2).



Abbildung 9-20: Beispiel einer einfachen offenen Mietenkompostierungsanlage ohne Belüftung und mit Bearbeitung mittels gezogener Wendemaschine

**9.3.5 Offenes, statisches Mietenrottesystem: natürlich belüftet, mit variabler Umsetzhäufigkeit und unterschiedlichem Mietenquerschnitt**

9.3.5.1 Tafel- oder Trapezmiete mit überwiegend Grünabfällen mit geringer Umsetzhäufigkeit

<b>Materialart</b>	Grundsätzlich alle Materialien nach der Kompostverordnung Teil 1, 2 und 4, jedoch hoher Struktur- (Grüngut)anteil			
<b>Mietenform</b>	Dreieck	Tafel/Trapez ✓	Boxen	Tunnel
<b>Mietenhöhe</b>	< 1,5 m Breite 2,5 bis 3,0 m	> 1,5 – 2,2m ✓	>2,2 – 3,5 m ✓	
<b>Vorbehandlung</b>	Variante 1 keine	Variante 2 Vergärung	Variante 3 mit SESO/EM/FKE	Variante 4 Mietenabdeckung mit Häckselgut
<b>Aufsetzen</b>	Radlader ✓	Miststreuer ✓	andere Geräte/Maschinen Förderschnecken	
<b>Homogenisieren</b>	Mietenwender Wendelin	Miststreuer ✓	Radlader ✓	Mischgeräte ✓
<b>Wendetechnik</b>	Mietenwender	Tafel-Umsetzer ✓	Miststreuer	Radlader
<b>Umsetzhäufigkeit</b>	7-2 x pro Woche	1 x pro Woche ✓	seltener ✓	nie
<b>Sauerstoffeintrag</b>	durch Wenden	durch Belüftung	Belüftung und Wenden ✓	nie
<b>Rottedauer</b>	< 12 Wochen	12 – 24 Wochen ✓	länger ✓	

### **Systembeschreibung**

System:	natürlich belüftetes, offenes, statisches Rottesystem in Form von Tafelmieten mit periodischem Umsetzen.
Verfahrensprodukt:	Bei Einhalten des systembedingten Verfahrensablaufes weist der Kompost nach zumindest 6 Monaten praktisch keine Selbsterwärmungsfähigkeit mehr auf (= maximale Hauptrotteperiode). Zur Sicherstellung der Pflanzenverträglichkeit ist eine Nachrotte erforderlich.
Einsatzbereich:	Kompostierung von Grünabfällen mit geringem Anteil an sonstigen biogenen Abfallstoffen außerhalb geschlossener Siedlungsgebiete; es besteht keine Abhängigkeit des Systems von der Anlagengröße.
Kapazität:	Anlagen < ca. 1.000 t a <sup>-1</sup> können nur mit Frontlader bzw. Miststreuer betrieben werden, da der Einsatz von Umsetzmaschinen für Tafelmieten unwirtschaftlich wäre.
Flächenbedarf:	Beispielrechnung: 80.000 t a <sup>-1</sup> erfordern bei einer Rottezeit von 6 - 10 Monaten ca. 75.000 m <sup>2</sup> , einschließlich Kompostaufbereitung, Lager und Betriebsgebäude - allerdings ohne Rohmaterialaufbereitung. Die Rottefläche selbst beträgt 52.000 m <sup>2</sup> . Nachreife- und Lagerflächen sind marktabhängig erforderlich; der Gesamtflächenbedarf hängt sehr stark von der Anlagengröße und der Geräteausstattung ab.
Betriebsweise:	Chargenbetrieb; Umsetzen der Mieten zumindest 4-wöchentlich; Bewässerung während des Umsetzvorganges in der Regel erforderlich; meist mithilfe einer zumindest in den Sommermonaten mehrerer Stunden/Tag durchgeführten Beregnung.
Aufsetzen der Mieten:	mit Radlader oder Aufsetzvorrichtung
Umsetzen der Mieten:	mit spezieller Tafelmietenfräse oder mit Radlader
Abtragen der Mieten:	mit Radlader oder Austragsvorrichtung
Belüftung:	natürliche Belüftung durch Konvektion bei ausreichender Materialstruktur und entsprechender Mietengeometrie.

### **Steuerparameter für den Rotteprozess:**

Temperatur im Rottegut:	Neigung zu anhaltend hohen Temperaturen (> 65 °C); bei zu hohen Temperaturen kann durch Umsetzen, homogene Befeuchtung entsprechend dem Rottefortschritt und die Verbesserung der Struktur eine Wärmeabfuhr erreicht werden.
Wasser- oder Perkolatzugabe:	Prozessoptimierung durch dosierte Feuchtigkeitszugabe durch Einsprühen während des Umsetzvorganges, bzw. über eine Beregnungsanlage.
Prozessablauf:	Garten- und Parkabfälle werden zerkleinert. Die Zumischung geringer Mengen unzerkleinerter Bioabfälle sowie der entsprechenden Feuchtigkeit soll zumindest bei großen Durchsatzmengen (> 8.000 t a <sup>-1</sup> ) mit Hilfe eines entsprechenden Gerätes (zB Mischtrommel; Miststreuer, Mashmaster) erfolgen. Durch Zugabe des Siebüberlaufes aus der Rohkompostaufbereitung kann eine gewisse Starthilfe erreicht werden. Ein möglichst hoher Wassergehalt ist anzustreben. Das Aufsetzen der Mieten kann mittels Radlader oder geeigneten Aufsetzeinrichtungen erfolgen. In regelmäßigen Zeitabständen werden die Mieten umgesetzt. Beim Umsetzvorgang ist der Wassergehalt des Materials den Erfordernissen des Rottezustandes anzupassen. Nach einer Rottezeit von etwa 6 Monaten sollte das Material grob (35 – 25 mm) abgesiebt werden. Der Siebüber-

lauf soll dem frischen Material wieder beigemischt werden. Auf eine entsprechende Ballaststofffreiheit ist zu achten.

### **Emissionen und Standortabhängigkeit:**

Abluft:	Die Prozessabluft kann nicht erfasst werden. Geruchsemissionen beim Umsetzen sind möglich. Abdeckung mit Vlies ist nicht möglich. Während der ersten Prozessphase (10 – 14 Tage) kann durch die oberflächliche Abdeckung mit einer 5 – 10 cm dicken Schicht feinem Häckselgut eine <i>Biofilterwirkung</i> erreicht werden.
Abwasser:	Das anfallende Gemisch aus Prozesswasser und niederschlagsbedingtem Sickerwasser soll an der technisch dichten Sohle erfasst und beim Umsetzen beigegeben werden. Ein prozessbedingt erforderlicher hoher Wassergehalt kann zu hohen Sickerwassermengen bzw. zu einem entsprechenden Frischwasserbedarf führen.
Staub:	Der Wassergehalt des Materials ist sehr stark von der Anfangsfeuchte, der klimatischen Situation und der Prozesskontrolle durch den Betriebsleiter abhängig. Ein fallweises Austrocknen der Mieten und daraus resultierende Staubemissionen beim Umsetzen, Aufnehmen und Absieben des Materials sind unvermeidlich.
Pilzsporen:	Mit einem Auftreten von Pilzsporen im Fall der Bearbeitung trockenen Materials ist zu rechnen.
Klima:	Die Abhängigkeit vom Niederschlagsgeschehen kann durch bauliche Überdachung ausgeschaltet werden. Durch die in der Regel großen Mietenquerschnitte, ist die Klimaabhängigkeit des Prozessgeschehens jedoch geringer als in der Dreiecksmietenkompostierung.
Standort:	Aufgrund der möglichen Geruchs- und Staubemissionen ist eine Belastung des unmittelbaren Anliegerbereiches zu erwarten. Die entsprechenden Mindestabstände (300 m) zu verbautem Gebiet sind einzuhalten.
Hygienisierung:	Die grundlegenden Anforderungen für die temperaturbedingte Reduktion von potenziell pathogenen Keimen ( $z_B > 55 \text{ °C}$ über einen Zeitraum von 14 Tagen) können bei entsprechenden Umsetzhäufigkeiten (3 – 5 x) in dieser thermophilen Phase erfüllt werden. Eine ausreichende Nachrotte bei optimal eingestellter Feuchtigkeit und periodischem Umsetzen ist zur biologischen Stabilisierung erforderlich.

### **Bestehende Anlagen in Österreich (Beispiele):**

- SAB/Sbg.: 10.000 t a<sup>-1</sup>
- MA 48/Gemeinde Wien: 100.000 t a<sup>-1</sup> (nur für den Nachrottebereich nach einer 8-wöchigen Intensivrotte in häufig umgesetzten Dreiecksmieten (siehe dort ...))

### 9.3.5.2 Dreiecksmieten mit hoher Umsetzfrequenz

**Beispiel : CMC-Verfahren (Controlled Microbial Composting und Humusmanagement)**

<b>Materialart</b>	Alle Materialien nach der Kompostverordnung Anlage 1 Teil 1, 2 und 4				
<b>Mietenform</b>	Dreieck ✓	Tafel/Trapez	Boxen/Container	Tunnel	
<b>Rotte- körper</b>	H: < 1,5 m B: 2,5 m – 3,0 m L: beliebig	>1,5 – 2,2 m	> 2,2		
<b>Vorbehandlung</b>	Variante 1 keine	Variante 2 Vergärung	Variante 3 Vorlagerung mit SESO/EM/FKE	Variante 4 Mietenabdeckung mit Häckselgut	
<b>Aufsetzen</b>	Radlader Schichtweise ✓	Miststreuer	andere Geräte/Maschinen Förderschnecken		
<b>Homogenisieren</b>	Mietenwender ✓	Miststreuer	Radlader	Mischgeräte	
<b>Wendetechnik</b>	Mietenwender ✓	Tafel M-Fräse	Miststreuer	Radlader	keine
<b>Umsetzhäufig- keit</b>	7-2 x pro Woche ✓	1 x pro Woche	seltener	nie	
<b>Sauerstoffeintrag</b>	durch Wenden ✓	durch Belüftung	Belüftung und Wen- den	nie	
<b>Hauptrottestufen</b>	einstufige Hauptrotte		zweistufige Hauptrotte		
<b>Rottedauer</b>	< 12 Wochen ✓	12 – 26 Wochen	länger		

### **Systembeschreibung**

Dieses Verfahren basiert auf den Erkenntnissen vieler verschiedener Forscher und Wissenschaftler wie Dr. Ehrenfried Pfeiffer, Raoul und Annie Francé, Dr. Rhode etc. und wurde vom Ehepaar Siegfried und Uta Lübke in den 70-er Jahren entwickelt und wird heute in Anlagen verschiedenster Größen angewandt, auch bei Großanlagen über 40.000 t a<sup>-1</sup>.

In Österreich wird das CMC-Verfahren in allen Bundesländern vor allem in der landwirtschaftlich-kommunalen Kompostierung angewandt. Kriterien für die Entwicklung waren:

- 3.) von jedermann erlernbar und kostengünstig.
- 4.) Einsatzbereich von wenigen bis tausenden Kubikmetern.
- 5.) In 6 bis 8 Wochen einen fertigen, krümelstrukturierten Kompost herzustellen.
- 6.) Problemlos für alle Anwendungsbereiche geeignet (auch für Jung-, und Topfpflanzen).

System:	natürlich belüftetes, offenes, statisches Rottesystem in Form von Zeilenmieten, nicht größer als 3 m breit und 1,4 m hoch, mit täglichem bzw. Temperatur- (65°) oder CO <sub>2</sub> (16%) geregeltem Umsetzen
Verfahrensprodukt:	Bei optimaler Rotteführung sind die Ab-, Um- und Aufbauprozesse zu Reifkompost nach ca. 6 bis 8 Wochen abgeschlossen, und der Kompost ist vielseitig anwendbar.
Einsatzbereich:	Kompostierung von biogenen Abfallstoffen mit entsprechendem Strukturmaterialanteil, außerhalb von geschlossenen Siedlungsgebieten; grundsätzlich besteht keine Abhängigkeit des Systems von der Anlagengröße, trotzdem ist aus Emissionsgründen auf eine standortbedingte Obergrenze zu achten.
Kapazität:	Ab etwa 100 t a <sup>-1</sup> (Biotonne: ca. 1.000 EW) ist jede Anlagengröße möglich; bis etwa 1.000 t a <sup>-1</sup> (ca. 10.000 EW) ist eine einfachere bauliche und maschinelle Ausstattung möglich; Anlagen mit großen Tagesmengen erfordern spezifische, leistungsfähige Geräte.
Flächenbedarf:	Die Mietenabmessungen - Zeilenmieten B x H = 3,0 m x 1,4 m - bedingen das Mindestausmaß der Rottefläche; Nachreife- und Lagerflächen sind marktabhängig erforderlich. Der Gesamtflächenbedarf hängt sehr stark von der Durchsatzmenge und der Geräteausstattung ab. Durchschnittlich kann mit 1 m <sup>2</sup> m <sup>-3</sup> Input gerechnet werden.  Beispiel: für 1.000 t a <sup>-1</sup> bei einer Rottezeit von mindestens 2 Monaten und der erforderlichen Nachreife beträgt der Flächenbedarf ca. 1.800 m <sup>2</sup> , einschl. der Flächen für Aufbereitung des Rohmaterials und des Kompostes.
Betriebsweise:	Chargenbetrieb; Umsetzen der Mieten siehe oben; Bewässerung während des Umsetzvorganges durch Einsprühen mit der Wendemaschine; in der warmen Jahreszeit bei fast jedem Wenden erforderlich. Das C:N-Verhältnis sollte ca. 30:1 betragen, und es werden stets mindestens 10 % tonhaltige Erde beige-mischt. Die Feuchtigkeit sollte zwischen 55 und 60 % betragen.
Aufsetzen der Mieten:	mit Radlader oder Aufsetzvorrichtung
Umsetzen der Mieten:	mit speziellen Wendegeräten
Abtragen der Mieten:	mit Radlader
Belüftung:	Kombination aus Wenden mit einem Mietenwender und natürlicher Belüftung durch Konvektion in den zwischenzeitlichen Intervallen, bei ausreichender Materialstruktur.

### **Steuerparameter für den Rotteprozess:**

Temperatur im Rottegut: bei Temperaturen > 65 °C durch Umsetzen Wärmeabfuhr möglich.

Wasser- oder Perkolatzugabe: Prozessoptimierung durch dosierte Feuchtigkeitszugabe während des Umsetzens

Prozessablauf: Die unzerkleinerten Bioabfälle werden mit gehäckselten Grünabfällen (Garten- und Parkabfällen), Biotonne, und anderen für die Kompostierung geeigneten Materialien, 10 % tonhaltige Erde und 10 % Kompost in Schichten zu Mieten aufgesetzt. Beim Aufsetzen wird darauf geachtet, dass das C:N-Verhältnis ca. 30:1 beträgt. Es ist sehr wichtig darauf zu achten, dass die Feuchtigkeit in kurzer Zeit, möglichst nach einer Woche ca. 55 bis 60 % beträgt. Die Mieten werden zu jeder Zeit, wenn keine Überdachung vorhanden ist, mit Kompostvlies abgedeckt (Vlies – Aufrollvorrichtung am Umsetzgerät).

### **Emissionen und Standortabhängigkeit:**

Abluft: Die Prozessabluft kann nicht erfasst werden; Geruchsemissionen können bei optimaler Einhaltung des Prozessablaufes auf ein Minimum reduziert werden.

Abwasser: Mit Hilfe einer Vliesabdeckung oder baulichen Überdeckung kann die niederschlagsbedingte Sickerwasserbildung unterbunden werden. Durch die Zumischung von Erde und Kompost und das gezielte Einsprühen des Wassers während des Umsetzens fallen nur in Ausnahmefällen Prozesswässer an. Das anfallende Gemisch aus Prozess-, Sicker- und Oberflächenwasser wird an der technisch dichten Sohle erfasst und in den Sickerwasserbecken zwischengespeichert.

Staub: Durch die Feuchtigkeit von 55 bis 60 % ist aus den Mieten keine Staubeentwicklung zu erwarten. Lediglich bei trockenem Wetter kann bei verschmutztem Asphalt- oder Betonbelag Staub entstehen.

Pilzsporen: Durch Praxisversuche wurde festgestellt, dass durch das Einsprühen von Wasser über Düsen während des Umsetzprozesses der Pilzsporenflug sehr stark eingedämmt werden kann.

Klima: Die Abhängigkeit vom Niederschlagsgeschehen wird durch Vliesabdeckung vermindert, durch bauliche Überdachung ausgeschaltet.

Standort: Aufgrund der möglichen Geruchs- und Staubemissionen ist eine Belastung des unmittelbaren Anliegerbereiches zu erwarten. Die entsprechenden Mindestabstände (300 m) zu verbautem Gebiet sind einzuhalten. Anderenfalls ist ein Immissionsgutachten zu erstellen (siehe Kap. 6.2).

Hygienisierung: Die grundlegenden Anforderungen für die temperaturbedingte Reduktion von potenziell pathogenen Keimen (zB. > 55 °C über einen Zeitraum von 14 Tagen) können bei entsprechenden Umsetzhäufigkeiten (3 - 5 x) in dieser thermophilen Phase erfüllt werden. Durch die intensive Bearbeitung und Homogenisierung bei zugleich geringem Mietenquerschnitt ist eine explizite Nachrotte nach einer Gesamtrötzeit von 8 Wochen nicht erforderlich.

### **Bestehende Anlagen in Österreich:**

In Oberösterreich ca. 80 % der vorwiegend landwirtschaftlichen Kompostieranlagen (300 t bis 10.000 t a<sup>-1</sup>)

### **Bestehende Anlagen International:**

G. Schitter, Bitschwil, Frankreich	15.000 t a <sup>-1</sup>
A. Höllriegel, Thonhausen Amsberg, Deutschland	6.000 t a <sup>-1</sup>
Gerber, Gemüsebau Fehraltorf, Schweiz	8.000 t a <sup>-1</sup> + 3.000 t a <sup>-1</sup>
Vollenweider Grenchen div. Plätze	20.000 t a <sup>-1</sup>
Redelinghuys, Südafrika	20.000 t a <sup>-1</sup>
Herbert Ranch, Hollister, USA	40.000 t a <sup>-1</sup>



**Abbildung 9-21: Seitlich gezogenes Umsetzgerät mit Vorrichtung zum Auf- und Abwickeln von Kompostvlies**



**Abbildung 9-22: Mit Vlies abgedeckte Kompostmiete auf einer langgestreckten befestigten Fläche am Feldrand**

### 9.3.5.3 Klärschlammkompostierung

#### **Schema: Allgemeine Klärschlammkompostierung**

<b>Materialart</b>	Alle Materialien nach der Kompostverordnung Teil 1, 2 und 4			
<b>Mietenform</b>	Dreieck ✓	Tafel/Trapez ✓	Boxen ✓	Tunnel ✓
<b>Rotte-: körper</b>	<b>H:</b> < 1,5 m <b>B:</b> Dreieck: 3 m <b>L:</b> beliebig	>1,5 – 2,2 m Dreieck: bis 4 m beliebig	> 2,2	
<b>Vorbehandlung</b>	Variante 1 keine	Variante 2 Vergärung	Variante 3 mit SESO/EM/FKE	Variante 4 Mietenabdeckung mit Häckselgut
<b>Aufsetzen</b>	Radlader ✓	Miststreuer ✓	andere Geräte/Maschinen Förderschnecken	
<b>Homogenisieren</b>	Mietenwender ✓	Miststreuer ✓	Radlader	Mischgeräte ✓
<b>Wendetechnik</b>	Mietenwender ✓	Tafel M-Fräse ✓	Miststreuer ✓	Radlader
<b>Umsetzhäufig- keit</b>	7-2 x pro Woche ✓	1 x pro Woche ✓	seltener ✓	nie
<b>Sauerstoff- eintrag</b>	durch Wenden ✓	durch Belüftung ✓	Belüftung und Wen- den ✓	nie
<b>Rottedauer</b>	< 12 Wochen	12 – 24 Wochen ✓	länger ✓	

**Systembeschreibung am Beispiel der offenen Mietenkompostierung von anaerob stabilisiertem Klärschlamm ohne Zwangsbelüftung mit regelmäßigem Umsetzen**

System:	offenes, statisches Mietenrottesystem in Form von Dreiecksmieten mit periodischem Umsetzen. Überdachung ist jedenfalls von Vorteil.
Verfahrensprodukt:	Bei Einhalten des systembedingten Verfahrensablaufes weist der Kompost nach zumindest 4 - 6 Monaten praktisch keine Selbsterwärmungsfähigkeit mehr auf (= maximale Hauptrotteperiode).
Einsatzbereich:	Kompostierung von Klärschlämmen, die nach lt. KompostVo für die Kompostierung zugelassen sind.
Spezielle Anforderungen an den Klärschlamm:	<p>Der Klärschlamm muss ausreichend aerob oder anaerob stabilisiert sein. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für einen geruchsarmen Betrieb. Bei rein aerob stabilisierten Schlämmen ist eine Mindestverweildauer im Belebungsbecken von 20 Tagen erforderlich.</p> <p>Der Klärschlamm sollte einen TM-Gehalt von min. 25 bis 30 % aufweisen. Kalkstabilisierte Schlämme sind wegen des hohen pH-Wertes (= ca. 12) nur in untergeordneten Mengen [<math>&lt; 15 \% (v/v)</math>] geeignet. Hierdurch wird die Rotte stark verzögert.</p> <p>Als Zuschlagstoffe werden vorwiegend kohlenstoffreiche Materialien wie Baum- und Strauchschnitt, Siebüberlauf und Erde verwendet. Durch Beimischung von ca. 10 bis 15 % frischem Grünschnitt kann die mikrobielle Tätigkeit stark erhöht werden. Der Klärschlamm-Anteil soll 40 % nicht übersteigen.</p>
Kapazität:	Anlagen können erst ab einer Größe von ca. $1.000 \text{ t a}^{-1}$ Klärschlamm (30 % TM) wirtschaftlich betrieben werden. Einsatz von leistungsstarken Maschinen wie Radladern, Umsetzgeräten, Miststreuer ist notwendig.
Flächenbedarf:	Je nach Mietenform und Verfahreneinrichtung beträgt der Flächenbedarf zwischen $0,8$ und $1,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ ( $1,2$ bis $2,2 \text{ m}^2 \text{ t}^{-1}$ ) Input.
Betriebsweise:	Chargenbetrieb; Umsetzen der Mieten zumindest 2-wöchentlich; Bewässerung während des Umsetzvorganges aufgrund der hohen Hygroskopizität des Klärschlammes in der Regel nicht erforderlich.
Aufsetzen der Mieten:	mit Radlader und Aufsetzvorrichtung/Umsetzgerät. Beste Erfahrungen mit dem schichtweisen Aufsetzen der Mieten und 3-maligem Durchfahren mit dem Umsetzgerät.
Umsetzen der Mieten:	mit Dreiecksmietenumsetzer oder einer Tafelmietenfräse
Abtragen der Mieten:	mit Radlader oder Austragsvorrichtung
Belüftung:	natürliche Belüftung durch Konvektion bei ausreichender Materialstruktur und entsprechender Mietengeometrie. Regelmäßiges Umsetzen ist jedoch erforderlich.

**Steuerparameter für den Rotteprozess:**

Temperatur im Rottegut: Je nach Jahreszeit, Stabilisierungsgrad und Abbaubarkeit (Frische) des Strukturmaterials kommt es meist zu einer mehr oder weniger verzögerten Startphase. In der Folge Neigung zu anhaltend hohen Temperaturen ( $> 65 \text{ }^\circ\text{C}$ ); bei zu hohen Temperaturen kann durch Umsetzen, homogene Befeuchtung entsprechend dem Rottefortschritt und die Verbesserung der Struktur eine Wärmeabfuhr erreicht werden.

- Wasser- oder Perkolatzugabe: Durch den hohen Wassergehalt des Schlammes ist bei optimalem Mischungsverhältnis keine Wasserzugabe im Laufe der Rotte erforderlich. Bei Wasserzugabe ist sehr vorsichtig zu dosieren, da es aufgrund des pastösen Charakters des Klärschlammes leicht zur Vernässung und Verdichtung im Rottekörper kommen kann.
- Prozessablauf: Der Prozessablauf verläuft analog der beschriebenen Verfahren wie bei Dreiecksmieten für Bioabfallkompostierung. Als Unterschied ist zu beachten, dass der hohe Stickstoffgehalt, die meist hohe Feuchtigkeit und der schwache Strukturanteil im Klärschlamm durch kohlenstoff- und strukturreiche Materialien besonders homogen und sorgfältig ausgeglichen werden müssen.

**Emissionen und Standortabhängigkeit:**

- Geruch: Bei gut stabilisierten Schlämmen ist mit einem geringeren Geruchsemissionspotenzial als bei frischen biogenen Abfällen aus Haushalten zu rechnen.
- Abwasser: Bei fehlender Überdachung ist vorwiegend mit niederschlagsbedingtem, verunreinigtem Oberflächenwasser zu rechnen. In diesem Fall müssen die Mieten im Falle von Niederschlägen mit wasserableitendem Vlies abgedeckt werden.
- Staub: Der Wassergehalt des Materials ist sehr stark von der Anfangsfeuchte, der klimatischen Situation und der Prozesskontrolle durch den Betriebsleiter abhängig. Ein fallweises Austrocknen der Mieten und daraus resultierende Staubemissionen beim Umsetzen, ist bei der Klärschlammkompostierung unwahrscheinlich. Durch eine gezielte Austrocknung in der Nachrotte sind Staubemissionen beim Absieben des Materials unvermeidlich.
- Pilzsporen: Mit einem Auftreten von Pilzsporen im Fall der Bearbeitung trockenen Materials ist zu rechnen.
- Klima: Die Abhängigkeit vom Niederschlagsgeschehen kann durch bauliche Überdachung ausgeschaltet werden. Durch die in der Regel großen Mietenquerschnitte, ist die Klimaabhängigkeit des Prozessgeschehens jedoch geringer als in der Dreiecksmietenkompostierung.
- Standort: Aufgrund der möglichen Geruchs- und Staubemissionen ist eine Belastung des unmittelbaren Anliegerbereiches zu erwarten. Die entsprechenden Mindestabstände (300 m) zu verbautem Gebiet sind einzuhalten.
- Hygienisierung: Die grundlegenden Anforderungen für die temperaturbedingte Reduktion von potenziell pathogenen Keimen (zB > 55 °C über einen Zeitraum von 14 Tagen) können bei entsprechenden Umsetzhäufigkeiten (3 –5 x) in dieser thermophilen Phase erfüllt werden. Eine ausreichende Nachrotte bei optimal eingestellter Feuchtigkeit und periodischem Umsetzen ist zur biologischen Stabilisierung erforderlich.

**Bestehende Anlagen in Österreich (Beispiele):**

- |                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| Häusle, Vorarlberg         | 8.500 t a <sup>-1</sup> Klärschlamm |
| Reinholdungsverband Leoben | 3.500 t a <sup>-1</sup> Klärschlamm |

### 9.3.6 Offenes statisches Mietenrottesystem mit Zwangsbelüftung und regelmäßigem Umsetzen

#### Beispiel :Verfahren Seiringer Umwelttechnik

<b>Materialart</b>	Alle Materialien nach der Kompostverordnung Teil 1, 2 und 4				
<b>Mietenform</b>	Dreieck ✓	Tafel/Trapez ✓	Boxen/Container	Tunnel ✓	
<b>Rotte- körper</b>	<b>H:</b>	< 1,5 m	>1,5 – 2,2 m	> 2,2	
	<b>B:</b>		4 m - beliebig		
	<b>L:</b>		beliebig		
<b>Vorbehandlung</b>	keine	Vergärung	SESO/EM/FKE	Mietenabdeckung mit Häckselgut	
<b>Aufsetzen</b>	Radlader ✓	Miststreuer	andere Geräte/Maschinen Förderbänder		
<b>Homogenisieren</b>	Mietenwender	Miststreuer	Radlader ✓	Mischgeräte ✓	
<b>Wendetechnik</b>	Mietenwender Uni 4000	Tafel-Umsetzer Trac-Turn	Miststreuer ✓	Radlader ✓	keine
<b>Umsetzen</b>	7-2 x pro Woche	1 x pro Woche ✓	seltener ✓	nie	
<b>Sauerstoffeintrag</b>	durch Wenden	durch Belüftung Druck/Saugbel. $3-100 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ 1)	Belüftung und Wenden	nur Kaminzug	
<b>Hauptrottstufen</b>	einstufige Hauptrotte		zweistufige Hauptrotte		
<b>Rottedauer</b>	< 12 Wochen ✓	12 – 26 Wochen	länger		

1) Luftdurchsatz: in  $\text{m}^3$  Luft pro  $\text{m}^3$  Material und Stunde

### **Systembeschreibung**

System	zwangsbelüftetes, offenes, Rottesystem in Form von Dreiecks- und Tafelmieten. Wöchentliches Umsetzen mit TRAC-Turn (Seiringer) in der Hauptrotte, 14-tägiges Umsetzen in der Nachrotte.
Verfahrensprodukt:	Bei Einhalten des systembedingten Verfahrensablaufs weist das Material nach 5 Wochen Hauptrotte, 6 Wochen Nachrotte, und 6 Wochen Nachlagerung keine deutliche Selbsterwärmungsfähigkeit mehr auf.
Einsatzbereich:	Vor-, Haupt- und Nachrotte von biogenen Abfallstoffen mit entsprechendem Strukturmaterialanteil;
Kapazität:	Ab 2.000 t a <sup>-1</sup> ist jede Anlagengröße möglich; die Mietenhöhe soll 2 – 2,5 m nicht überschreiten, die Mietenbreite 4 – 6 m. Die Mietenlänge ist nicht begrenzt.
Flächenbedarf:	0,8 m <sup>2</sup> t <sup>-1</sup> Input
Betriebsweise:	Mischung des biogenen Materials mit einem Miststreuer,  Rottekontrolle erfolgt mit funkgesteuerten Sauerstoff- und Temperaturlanzen, die ihre Werte an das computergesteuerte Druckbelüftungssystem - Oxygen 3000 - liefern. Die Überwachung der Rotte läuft über spezielle Regelungsprogramme COMPOcontrol und COMPOreport.
Aufsetzen der Mieten:	Miststreuer, Radlader
Abräumen der Mieten:	mit Radlader
Belüftung:	zwangsweise, intermittierend drückende Belüftung über ein Rohrsystem.
Steuerparameter des Rotteprozesses:	Laufende Sauerstoff- und Temperaturmessung nach individuell einstellbarem Steuerungsprogramm
Prozessablauf:	Das aufbereitete Ausgangsmaterial wird mittels Miststreuer in 2 bis 2,5 m hohen Dreiecks- oder Tafelmieten auf die Rotteplatte aufgesetzt. Sodann erfolgt die zwangsweise drückende Belüftung. Nach 7 Tagen wird das Material mit Hilfe des "Trac-Turn"-Umsetzgerätes umgesetzt. Beim Umsetzvorgang wird den Erfordernissen entsprechend Wasser zugegeben. Dieser Umsetzvorgang erfolgt regelmäßig im 7-Tage-Rhythmus.

### **Emissionen und Standortabhängigkeit:**

Abwasser:	Das prozessbedingte Perkolat wird über die Belüftungsrohre abgeleitet und kann beim Umsetzvorgang wieder zugegeben werden.
Staub:	Der Rotteprozess läuft verfahrensbedingt bei einem hohen Wassergehalt ab, dadurch ist aus den Mieten keine Staubentwicklung zu erwarten. Lediglich bei trockenem Wetter kann bei verschmutztem Asphalt- oder Betonbelag Staub entstehen.
Pilzsporen:	Durch Praxisversuche wurde festgestellt, dass durch das Einsprühen von Wasser über Düsen während des Umsetzprozesses der Pilzsporenflug sehr stark eingedämmt werden kann.
Klima:	Die Abhängigkeit vom Niederschlagsgeschehen wird durch Vliesabdeckung vermindert, durch bauliche Überdachung ausgeschaltet.

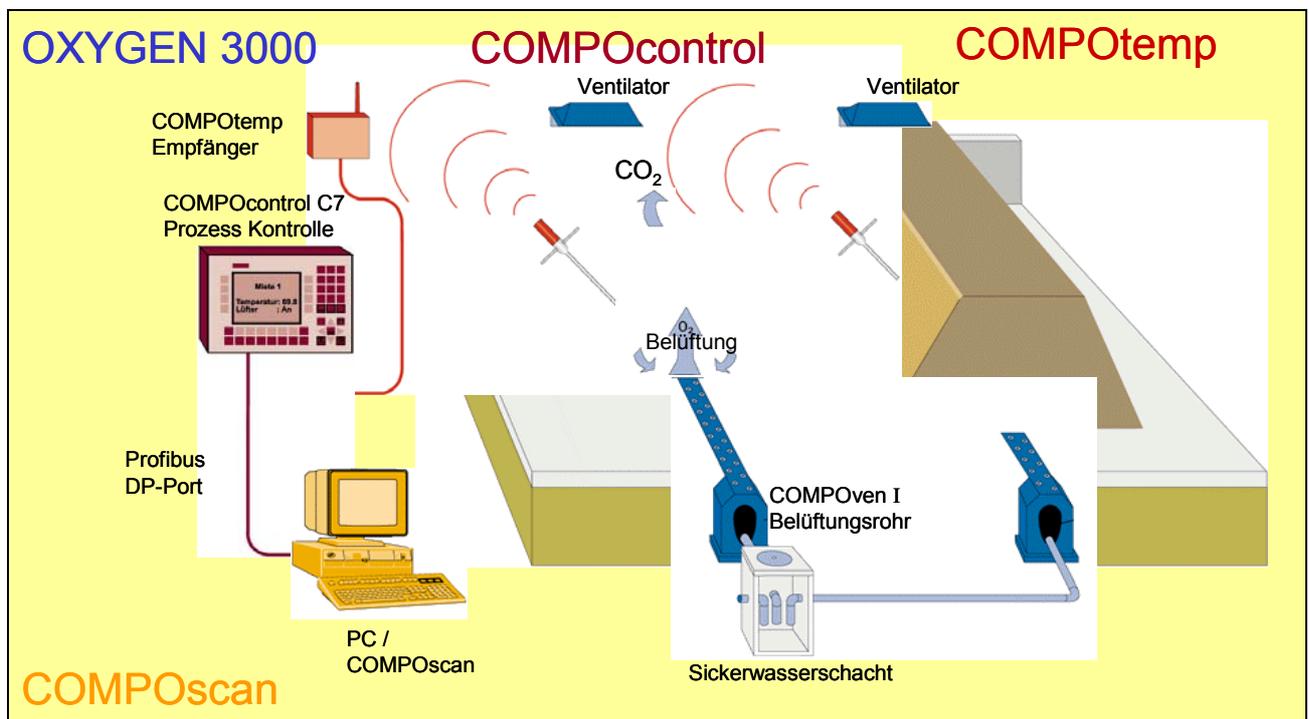
Standort: Aufgrund der möglichen Geruchs- und Staubemissionen ist eine Belastung des unmittelbaren Anliegerbereiches zu erwarten. Die entsprechenden Mindestabstände zu verbautem Gebiet sind einzuhalten.

Hygienisierung: Die grundlegenden Anforderungen für die temperaturbedingte Reduktion von potenziell pathogenen Keimen (zB > 55 °C über einen Zeitraum von 14 Tagen) können bei entsprechenden Umsetzhäufigkeiten in dieser thermophilen Phase erfüllt werden. Eine ausreichende Nachrotte bei optimal eingestellter Feuchtigkeit und periodischem Umsetzen ist zur biologischen Stabilisierung erforderlich.

**Bestehende Anlagen in Österreich: 17**

Beispiele:

Bregenz	ca. 10.000 t a <sup>-1</sup>
Klosterneuburg	ca. 12.000 t a <sup>-1</sup>
Radfeld	ca. 18.000 t a <sup>-1</sup>



**Abbildung 9-23: Das COMPOnent System mit temperaturgesteuerter Belüftungsregelung für die zwangsbelüftete offene Mietenrotte (Quelle: Seiringer [http://www.seiringer.at/umwelttechnik/umwelttechnik\\_d.html](http://www.seiringer.at/umwelttechnik/umwelttechnik_d.html))**

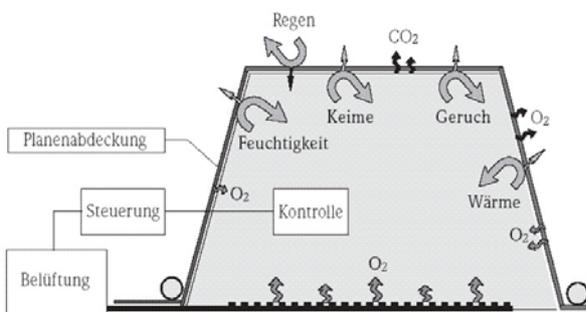
### 9.3.7 Kompostierung unter semipermeablen Membranen

Beispiel: Schema GORE™ Cover System, BIODEGMA®-Verfahren mit dem Laminat GORE™ Box Cover

<b>Materialart</b>	Alle Materialien nach der Kompostverordnung Teil 1, 2 und 4				
<b>Mietenform</b>	Dreieck	Trapez ✓	Boxen/Con- tainer	Tunnel/Zeilen ✓	
<b>Rotte- körper</b>	<b>H:</b>	< 1,5 m	>1,5 – 2,2 m	> 2,2	
	<b>B:</b>		beliebig	beliebig	
	<b>L:</b>		beliebig	beliebig	
<b>Vorbehandlung</b>	Variante 1 keine	Variante 2 Vergärung	Variante 3 mit SESO/EM/FKE	Variante 4 Mietenabdeckung mit Häckselgut	
<b>Aufsetzen</b>	Radlader ✓	Miststreuer ✓	andere Geräte/Maschinen Förderschnecken		
<b>Homogenisieren</b>	Mietenwender	Miststreuer ✓	Radlader ✓	Mischgeräte ✓	
<b>Wendetechnik</b>	Mietenwender	Tafel M-Fräse	Miststreuer	Radlader	keine ✓
<b>Umsetzhäufig- keit</b>	7-2 x pro Woche	1 x pro Woche	seltener ✓	nie ✓	
<b>Sauerstoff- eintrag</b>	durch Wenden ✓	durch Belüftung ✓	Belüftung und Wen- den ✓	nie	
<b>Hauptrotte- stufen</b>	einstufige Hauptrotte		zweistufige Hauptrotte		
<b>Rottedauer</b>	< 12 Wochen	12 – 26 Wochen	länger		

### Systembeschreibung

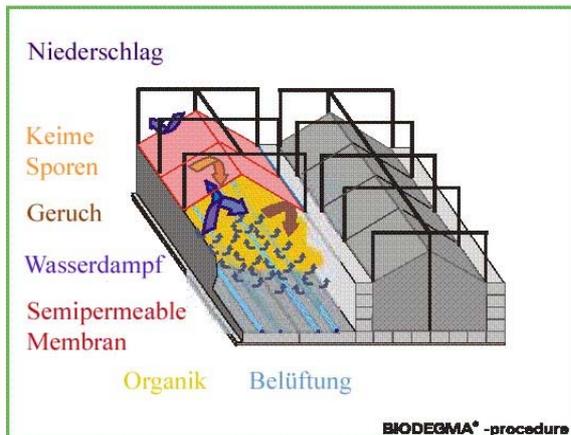
- System:** Beim GORE™ Cover System handelt sich es um ein 3-Lagen Laminat bei dem die mittlere Lage eine durchgehende Folie, eine expandierte PTFE Membrane ist. Es wird für die Mietenkompostierung und Biodegma Boxen mit Druckbelüftung eingesetzt. Eine automatisierte Temperatur- und/oder Sauerstoffregelung sowie eine manuelle oder automatisierte Parameterüberwachung ist möglich.
- Verfahrensprodukt:** Die Mietenform (Tafel-Trapezmieten) oder das Boxen-/Containersystem sind hauptsächlich für das Verfahrensprodukt verantwortlich. Dadurch ist mit Rottezeiten zwischen 7 Wochen und 6 Monaten zu rechnen. Die semipermeable Planenabdeckung dient primär dem geordneten Wasser- und Gasaustausch.
- Einsatzbereich:** Kompostierung von Grünabfällen mit geringem Anteil an sonstigen biogenen Abfallstoffen außerhalb geschlossener Siedlungsgebiete; es besteht keine Abhängigkeit des Systems von der Anlagengröße.
- Kapazität:** Anlagen < ca. 1.000 t a<sup>-1</sup> können nur mit Frontlader bzw. Miststreuer betrieben werden. Anlagen mit großen Tagesmengen erfordern spezifische, leistungsfähige Geräte und Einrichtungen.
- Flächenbedarf:** 0,8 m<sup>2</sup> t<sup>-1</sup> Input
- Betriebsweise:** Chargenbetrieb; Das zu kompostierende Material wird je nach Art der Prozessführung, mit Trapez-/Tafelmieten oder Boxen/Containersystem - abhängig von Materialeigenschaften - verfüllt und drückend belüftet. Es erfolgt keine Materialbewegung innerhalb des Reaktors.



**Abbildung 9-24: Verfahrenskomponenten und Prozessabläufe in einer abgedeckten und geregelten Miete (Kühner, 2001<sup>[PS232]</sup>)**



**Abbildung 9-25: Boxenversion mit Planenabdeckung (Kühner, 2001<sup>[PS233]</sup>)**



**Abbildung 9-26: Visualisierung des BIODEGMA®- Rottensystems (Quelle: BIODEGMA<sup>[PS234]</sup>®)**



**Abbildung 9-27: Rottemodule mit einer automatisierten Klappabdeckung (Kühner, 2001<sup>[PS235]</sup>)**

Aufsetzen oder Beschicken:  
mit Radlader

Abräumen oder Entleeren:  
mit Radlader

Belüftung zwangsweise, drückende Belüftung mit Frischluft bzw. in Abhängigkeit von der Rottephase auch Umluftbetrieb mit Frischluftzugabe. Die Frischluft wird erforderlichenfalls über Wärmetauscher vorgewärmt. Abluft fällt im Ausmaß der Frischluftzugabe an.

**Emissionen und Standortabhängigkeit:**

Abluft, Abwasser und Staub:

Abdeckung verhindert einerseits die Staubentwicklung an ruhenden Mieten und lässt andererseits auch durch die verminderte Abtrocknung der Mietenoberfläche eine geringere Staubentwicklung während der Umsetzungsvorgänge erwarten. Die Anfangsfeuchte bleibt größtenteils erhalten.

Geruch:

Eine semipermeable Planenabdeckung kann die Geruchsemissionen auf zwei Arten kontrollieren:

- Verhinderung von Anaerobie (Luftzutritt aber Niederschlagsabweisung)
- Kondensation auf der Innenseite der Abdeckung (geruchsrelevante Gase lösen sich teilweise im feinen, kondensierten Wasserfilm und tropfen zurück.)

Im Rahmen einer Arbeit von Kühner (2001<sup>[PS236]</sup>) wurde die Erfassung und Bewertung der Minderung von Geruchsemissionen durch die Planenabdeckung eingehend untersucht. Anhand der Messwerte konnten für die einzelnen Prozessschritte des neuen Verfahrens sichere Kennzahlen mit Vertrauensbereichen für die flächenspezifische Geruchsfracht und für die Hochrechnung auf die Gesamtemission einer Anlage aufgestellt werden. Es zeigte sich, dass durch den Einsatz der Planen eine Verminderung der Geruchsstoffkonzentration um 97 % erzielbar ist. Die ermittelte durchschnittliche Geruchsfracht liegt mit 1,1 GE/m<sup>3</sup>Input-s nahe der Emission eines gut funktionierenden Biofilters mit 0,9 GE/m<sup>3</sup>Input-s. Im Vergleich dazu werden bei einer offenen Mietenkompostierung in den ersten drei Rottewochen im Mittel 52 GE/m<sup>3</sup>Input-s emittiert. Im

Vergleich mit eingehausten Anlagen lag die Effizienz der Planenabdeckung für die Gesamtgeruchsfracht in einer ähnlichen Größenordnung wie die gezielte Ablufferfassung und -reinigung mittels Biofilter. Ein entscheidender Beitrag für die Gesamtfracht der Vergleichsanlagen liefert oftmals die unbelüftete Nachrotte oder Nachreife. Hier zeigte sich, dass trotz effizienter Emissionsminderungsmaßnahmen zu Beginn der Rotte durch fehlende einfache Minderungsmaßnahmen, wie eine aktive Belüftung oder kleinere Mieten, im weiteren Verfahrensablauf die positive Wirkung auf die Gesamtfracht der Anlage stark verringert wird. Die Kombination einer Abdeckung und Belüftung der Intensivrotte mit einer aktiven Belüftung der Nachrotte und der Nachreife ohne Abdeckung wurde ebenfalls untersucht. Es ergaben sich Emissionswerte, die einer Anlage mit Ablufferfassung und -reinigung bei unbelüfteter Nachrotte entsprechen. Bei den Untersuchungen wurden die zwei Textillamine GORE-TEX® und PLOUCQUET® eingesetzt. Bezüglich der Geruchsemissionen konnte kein Unterschied in der Wirkungsweise beider Lamine festgestellt werden (Kühner, 2001[PS237]).

- Keimemissionen: Kühner (2001[PS238]) zeigte in großtechnischen Versuchen, dass unabhängig von Inputmaterialien und meteorologischen Randbedingungen durch eine Planenabdeckung (GORE-TEX® oder PLOUCQUET®) und Belüftung eine deutliche Verminderung der Luftkeimkonzentration von 100 % oberhalb der Membran im Vergleich zur Konzentration unterhalb der Membran erzielt wurde. Die Ursache für diese Reduktion ist neben der geringen Porenweite der Membran eine Verhinderung der Freisetzung von Keimen durch einen Wasserfilm an der Planeninnenseite und Mietenoberfläche, der auf Kondensation von Wasserdampf zurückzuführen ist. Beim Einsatz von Abdeckungen über die ersten sechs Rotte-wochen konnten die Gesamtemissionen von drei der vier untersuchten Keimgruppen im Vergleich zu einer nicht abgedeckten Miete um 40 bis 66 % über den gesamten Rotteverlauf reduziert werden (Kühner, 2001[PS239]).
- Klima: Die Abhängigkeit vom Niederschlagsgeschehen und vom windbedingten Austrocknen der äußeren Schichten wird durch Planenabdeckung vermindert.
- Standort: Belastungen für den unmittelbaren Anliegerbereich sind für die Anlieferung, beim Aufsetzen und Abräumen der Mieten oder Boxen/Container zu berücksichtigen
- Hygienisierung: Die grundlegenden Anforderungen für die temperaturbedingte Reduktion von potenziell pathogenen Keimen (zB > 55 °C über einen Zeitraum von 14 Tagen) können bei entsprechenden Umsetzhäufigkeiten in dieser thermophilen Phase erfüllt werden. Eine ausreichende Nachrotte bei optimal eingestellter Feuchtigkeit und periodischem Umsetzen ist zur biologischen Stabilisierung erforderlich. Das GORE™ Cover System wird in der Baumuster-Hygieneprüfung unter Kategorie 7 als eingehauste Miete eingestuft.

**Bestehende Anlagen in Österreich (Beispiele):**

Firma Thöni Industriebetriebe GesmbH, Telfs: 4.000 t a<sup>-1</sup> Nachrotte Mietenversion  
 Kompostierung Weer: 2.500 t a<sup>-1</sup> nur Abdeckung Intensivrotte

Bestehende Anlagen im Ausland (Beispiele): - siehe (Kühner, 2001[PS240])

### 9.3.8 Geschlossenes / eingehautes statisches Mietenrottesystem mit Zwangsbelüftung und regelmäßigem Umsetzen

Prinzip der Hallenkompostierung mit Zwangsbelüftung: Eine vollständige Einhausung der Rottefläche kommt nur in zwangsbelüfteten Systemen (Rotteplatte, Schlitzböden) mit Trapez- und Tafelmieten in Betracht. Eingehaute Systeme bedingen die Desodorierung der Abluft über eine Biofilteranlage und die korrosionsbeständige Ausführung der Konstruktionsteile der Halle.

**Beispiel: Schema beschrieben anhand der Kompostanlagen Zell am See (ZEMKA) (KKU 180; Fa. Koch mit Kettenbecherwerk) und VKW-Bühler-Häusle Wendelin-Kompostierung:**

<b>Materialart</b>	Alle Materialien nach der Kompostverordnung Tab 1 Teil 1 bis 4			
<b>Mietenform</b>	Dreieck	Tafel/Trapez ✓	Boxen	Tunnel
<b>Rotte- körper</b>	<b>H:</b> <b>B:</b> <b>L:</b>	< 1,5 m	>1,5 – 2,2 m Hallenbreite - beliebig Hallenlänge - beliebig	> 2,2
<b>Vorbereitung</b>	Variante 1 keine	Variante 2 Vergärung	Variante 3 Mit SESO/EM/FKE	Variante 4 Mietenabdeckung mit Häckselgut
<b>Aufsetzen</b>	Radlader ✓	Miststreuer	andere Geräte/Maschinen Förderschnecken	
<b>Homogenisieren</b>	Mietenwender Wendelin	Miststreuer	Radlader	Mischgeräte
<b>Wendetechnik</b>	Mietenwender	Tafel M-Fräse Wendelin	Miststreuer	Radlader keine
<b>Umsetzhäufig- keit</b>	7-2 x pro Woche	1 x pro Woche ✓	seltener ✓	nie
<b>Sauerstoff- eintrag</b>	durch Wenden	durch Belüftung	Belüftung und Wen- den ✓	nie
<b>Hauptrottestufen</b>	einstufige Hauptrotte ✓		zweistufige Hauptrotte	
<b>Rottedauer</b>	< 12 Wochen Zemka: HR: 4 Wo + NR: 6 Wo	12 – 26 Wochen	länger Häusle: HR: 6 Wo + NR: 26 Wo	

### **Systembeschreibung**

System:	zwangsbelüftetes, offenes, statisches Rottesystem in Form von Tafelmieten mit periodischem Umsetzen
Verfahrensprodukt:	Bei Einhalten des systembedingten Verfahrensablaufs weist das Material nach 10 Wochen Rottedauer und einer Nachrotte von ca. 10 Wochen keine deutliche Selbsterwärmungsfähigkeit mehr auf. Zur Sicherstellung der Pflanzenverträglichkeit ist eine Nachreife erforderlich.
Einsatzbereich:	Vor- und Hauptrotte von biogenen Abfallstoffen mit entsprechendem Strukturmaterialanteil; die verfahrensspezifische Aufenthaltszeit beträgt 8 - 10 Wochen.
Kapazität:	Ab $5.000 \text{ t a}^{-1}$ ist jede Anlagengröße möglich; die Mietenhöhe soll 2 m nicht überschreiten, die Mietenbreite kann bis zu 20 m betragen. Die Mietenlänge ist nicht begrenzt.
Flächenbedarf:	(Firma Häusle/Vibg.): für $10.000 \text{ t a}^{-1}$ bei einer Aufenthaltszeit von 8 bis 9 Wochen beträgt die Größe der Halle ca. $1.200 \text{ m}^2$ .
Betriebsweise:	Durchlaufbetrieb in Form einer Wandermiete; das frische Material wird im Bereich des ersten Feldes eingetragen und von dort in wöchentlichen Zeitabständen mit Hilfe des "Wendelin"-Umsetzgerätes in Längsrichtung der Tafelmiete umgesetzt. Nach acht- bis neunmaligem Umsetzen wird das Material mit Hilfe des letzten Umsetzvorganges oder des Radladers aus dem Tafelmietenbereich ausgetragen.
Beschicken der Tafelmiete:	mit Hilfe eines Förderbandes oder Radladers
Abräumen der Tafelmiete:	mit Radlader
Belüftung:	Häusle: zwangsweise, intermittierend drückende Belüftung über ein Kiesbett. Die Mietenfläche ist in Belüftungsabschnitte unterteilt, damit kann die Belüftung dem Rottefortschritt angepasst werden.  Zemka: Saugbelüftung über Luftwäscher und Rottefilter bei individueller Einstellung für jede Miete mittels 3 Radialventilatoren mit einem gesamten Luftdurchsatz von $5400 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ .

### **Steuerparameter für den Rotteprozess:**

	Durch eine starre, auf Erfahrung beruhende Vorgabe einer unterschiedlichen Zuluftmenge in den einzelnen Rotteplatteabschnitten kann die Belüftung dem Rottefortschritt angepasst werden.
Prozessablauf:	Das aufbereitete Ausgangsmaterial wird mittels Förderband als etwa 2 m hohe Tafelmiete auf die Rotteplatte aufgesetzt. Sodann erfolgt die zwangsweise drückende Belüftung. Nach 7 Tagen wird das Material mit Hilfe des "Wendelin"-Umsetzgerätes - eine Kombination von Schaufelrad und Förderband bzw. KKU 180 Fa. Koch mit Kettenbecherwerk - in Längsrichtung der Tafelmiete umgesetzt. Beim Umsetzvorgang wird den Erfordernissen entsprechend Wasser zugegeben. Dieser Umsetzvorgang erfolgt regelmäßig im 7- bzw. 8-Tage-Rhythmus. Beim Wendelin System hat das Material nach maximal 10 Wochen das andere Ende der Rotteplatte erreicht und wird von dort ausgetragen. Der durch den Abbau hervorgerufene Materialverlust wird vom Wendelin-Mietenumsetzgerät automatisch kompensiert, d.h. die Mietenhöhe beträgt immer 2,0 m. Bei Zemka beträgt die Hauptrotte ca. 4 Wochen, die Nachrotte ca. 6 Wochen. Die Durchsatzleistung des Kettenbecherwerks beträgt ca. $90-100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ .

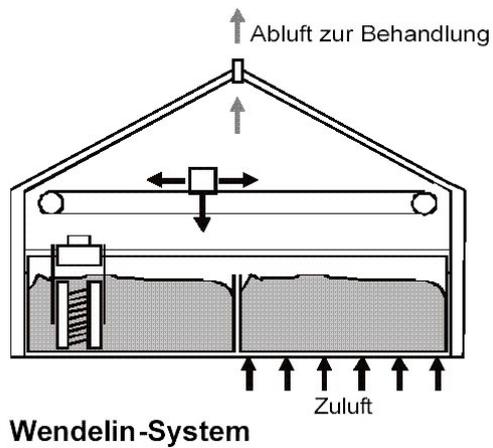


Abbildung 9-28: Eingehaustes Rottesystem - Wendelin (Binner, 2003b[A241])

Abbildung 9-29: Bühler-Umschichtmaschine Wendelin (Quelle: Kompotec, . [http://www.kompotec.de/ko\\_werk.htm](http://www.kompotec.de/ko_werk.htm) (2003/07/03))



Abbildung 9-30: Koch Kompost-Wandermietenumsetzer Calw, Deutschland (Quelle: <http://www.kochtrans.de/home.asp> (2003/07/03))

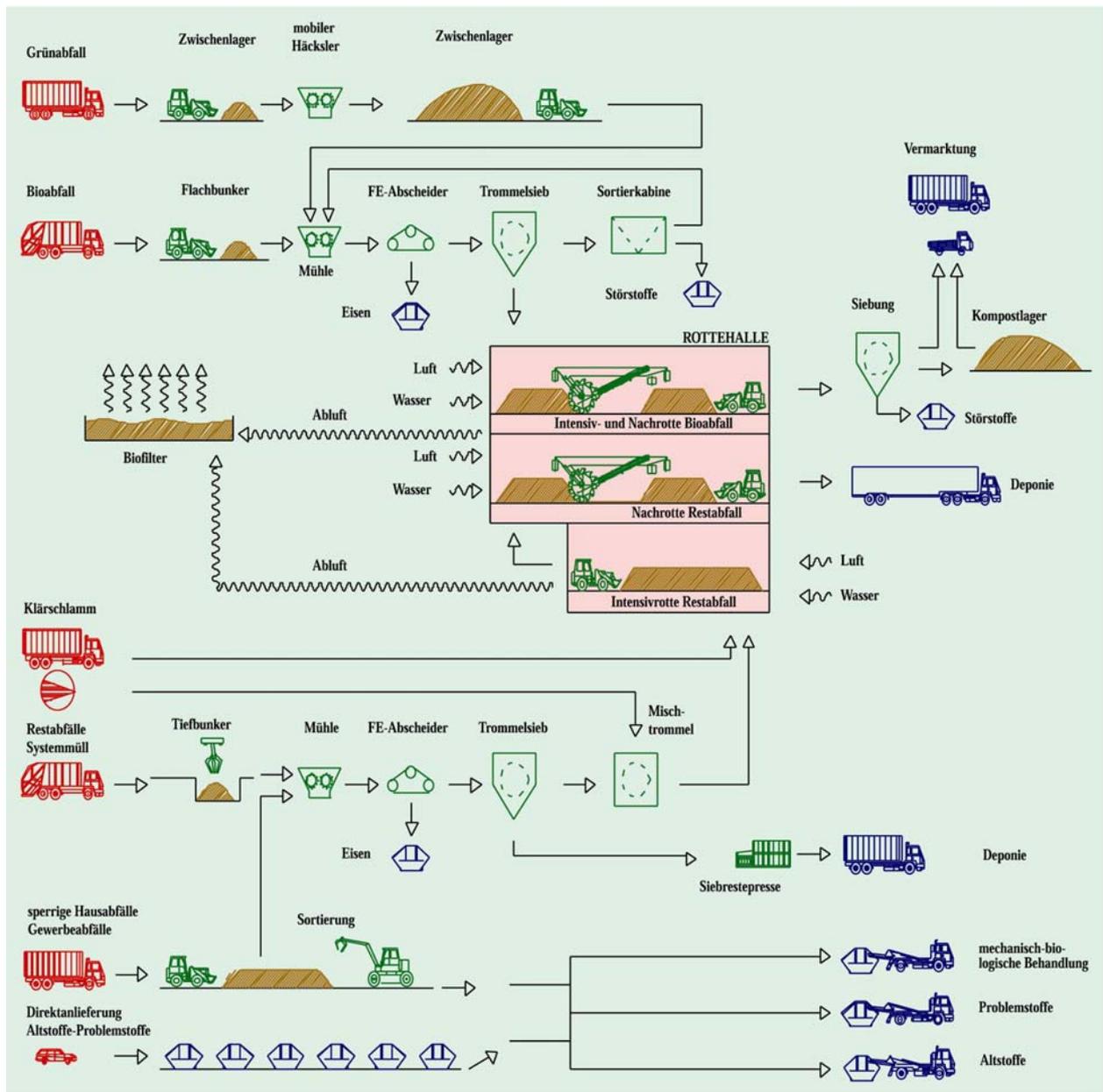


Abbildung 9-31: Fließschema der ZEMKA Gesellschaft m. b. H. (Zentrale Müllklärschlammverwertungsanlagen) (Quelle: Zemka)

**Emissionen und Standortabhängigkeit:**

- Abluft: Die Rotteabluft kann nur im Fall einer vollständigen Einhausung der Rotteplatte erfasst werden. Aufgrund des zwangsläufig großen Hallenvolumens und der hohen erforderlichen Luftwechselzahl müssen sehr große wasserdampfgesättigte Abluftmengen entsorgt werden.
- Abwasser: Das prozessbedingte Perkolat kann beim Umsetzvorgang wieder zugegeben werden.
- Staub: Der Rotteprozess läuft verfahrensbedingt bei einem hohen Wassergehalt ab (Zemka: HR: 55-65 %, NR: 40-50 %). Vor dem Austrag wird der Wassergehalt des Materials auf etwa 40 - 45 % abgesenkt. Bei diesem Wassergehalt treten in der Regel keine Staubemissionen auf.

- Pilzsporen: Aufgrund der zu "Abluft", "Abwasser" und "Staub" gemachten Ausführungen ist ein Freisetzen von Pilzsporen nicht zu erwarten. Keimemissionen können jedoch besonders bei (teilweise) Trockenfallen des Biofilters auftreten (siehe hierzu Abschnitt 7.5.5).
- Klima: Das Verfahren ist von klimatischen Randbedingungen nur im Fall einer vollständigen Einhausung weitgehend unabhängig. Die Atmosphäre innerhalb der Halle hängt aufgrund der hohen Luftwechselzahl und der in der Regel nicht vorhandenen Isolierung auch von der außerhalb herrschenden Witterungssituation ab.
- Standort: Das Verfahren ist nur bei vollständiger Erfassung und Desodorierung der Hallenluft standortunabhängig.
- Hygienisierung: Die grundlegenden Anforderungen für die temperaturbedingte Reduktion von potenziell pathogenen Keimen (zB > 55 °C über einen Zeitraum von 14 Tagen) können bei entsprechenden Umsetzhäufigkeiten (3 –5 x) in dieser thermophilen Phase erfüllt werden. Eine ausreichende Nachrotte bei optimal eingestellter Feuchtigkeit und periodischem Umsetzen ist zur biologischen Stabilisierung erforderlich.

**Bestehende Anlagen in Österreich**

- Firma Häusle/Lustenau: 10.000 t a<sup>-1</sup>
- Zemka, Zell am See 6.000 t a<sup>-1</sup>

### **9.3.9 Geschlossenes, zwangsbelüftetes System (= Reaktorsystem; Boxen-, Tunnelkompostierung) im Chargenbetrieb ohne regelmäßiges Umsetzen/Umwälzen**

**Prinzip der Kompostierung in Rotteboxen oder Rottetunneln:** Geschlossenes Intensivrottesystem (erste Stufe der Hauptrotte) im Chargenbetrieb. Das abgemischte Rohmaterial wird über einen Zeitraum von 7 - 21 Tagen in einer Schichthöhe von ca. 2 bis max. 3 m einem intensiven und über Sensoren ( $\text{CO}_2/\text{O}_2$ ;  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $^\circ\text{C}$ ) gesteuerten Abbau unterzogen. Das verfahrensbedingte Endprodukt sollte zum Zeitpunkt des Austrags die temperaturbedingte Hygienisierung abgeschlossen haben. Geruchsbildende Substanzen wie niedermolekulare Fettsäuren sollten weitgehend abgebaut sein. Die Dauer der anschließenden zweiten Stufe der Hauptrotte bzw. der Nachrotte ist von der Materialzusammensetzung und der richtigen Einstellung der Regelparameter abhängig.

### 9.3.9.1 Boxenkompostierung

**Beispiel: Schema für Rottebox nach dem HERHOF-System für 1.250 bis ca. 10.000 t a<sup>-1</sup>**

<b>Materialart</b>	Alle Materialien nach der Kompostverordnung Tab 1 Teil 1 bis 4				
<b>Mietenform</b>	Dreieck	Tafel/Trapez	Boxen/Con- tainer >7x3-5x	Tunnel	
<b>Rotte- körper</b>	<b>H:</b>	< 1,5 m	>1,5 – 2,2 m	> 2,4 – 3 m	
	<b>B:</b>			3 – 5 m	
	<b>L:</b>			> 7 m	
<b>Vorbehandlung</b>	keine ✓	Vergärung ✓	SESO/EM/FKE	Mietenabdeckung mit Häckselgut	
<b>Aufsetzen</b>	Radlader ✓	Miststreuer	andere Geräte/Maschinen Förderschnecken		
<b>Homogenisieren</b>	Mietenwender	Miststreuer	Radlader ✓	Mischgeräte ✓	
<b>Wendetechnik</b>	Mietenwender	Tafel-Umsetzer	Miststreuer	Radlader	keine Boxen
<b>Umsetzhäufigkeit</b>	7-2 x pro Woche	1 x pro Woche	seltener	nie ✓	
<b>Sauerstoffeintrag</b>	durch Wenden	durch Belüftung Druck/Saugbel. 8-72 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> *h <sup>-1</sup> 1)	Belüftung und Wen- den	nur Kamin- zug	
<b>Hauptrottestufen</b>	einstufige Hauptrotte		zweistufige Hauptrotte Box: 7-10 Tage anschließend Mietenrotte ± Belüftung		
<b>Rottedauer</b>	< 12 Wochen	12 – 26 Wochen ✓	länger		

<sup>1)</sup> Luftdurchsatz: in m<sup>3</sup> Luft pro m<sup>3</sup> Material und Stunde

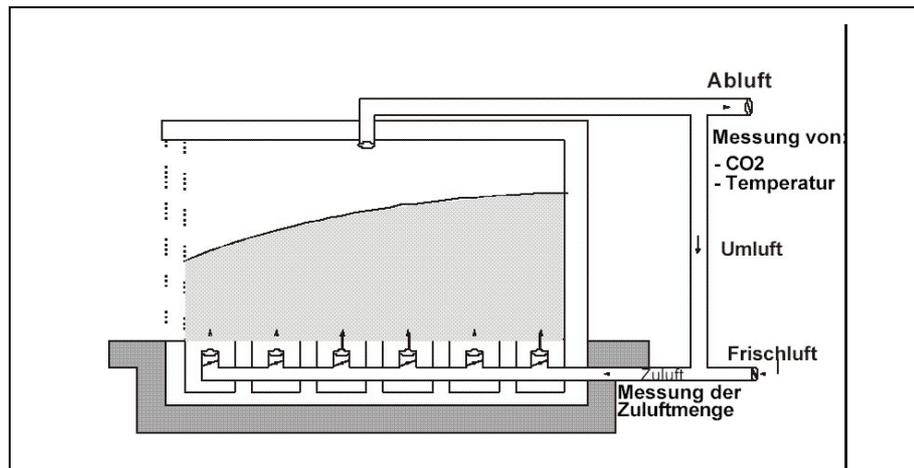
### **Systembeschreibung**

System:	zwangsbelüftetes, geschlossenes, statisches Rottesystem; es handelt sich um ein Reaktorsystem in Boxenform mit einer gesteuerten, zwangsweise drückenden bzw. saugenden Belüftung.
Verfahrensprodukt:	<p>Das Material weist in Abhängigkeit von der Verweildauer (meist 7 – 10 Tage) eine deutliche Selbsterwärmung auf; ein Nachrotte- und Nachreifeprozess sind jedenfalls erforderlich.</p> <p>Die Auslagerung des Rottegutes nach einer Intensivrottezeit von nur 7 – 10 Tagen auf eine offen Nachrottefläche ist hinsichtlich der erforderlichen Stabilisierung (Abbau von Geruchsstoffen, Reduktion der luftgetragenen Keimemissionen) als kritisch einzustufen. Eine Mindestverweildauer im geschlossenen Rottreaktor von 14 bis 21 Tagen in Abhängigkeit der Rohstoffmischung sollte jedenfalls vorgesehen werden, um eine ausreichende Geruchsneutralität beim Austrag und für die Nachrotte zu gewährleisten. Vorschläge zu einem Parameter als Mindestanforderung für das Verfahrensprodukt aus geschlossenen Hauptrottereaktoren siehe Abschnitt 9.3.1.</p>
Einsatzbereich:	intensive Rottephase der Kompostierung von biogenen Abfallstoffen mit entsprechendem Strukturmaterialanteil; für Anlagengrößen von 1.250 bis ca. 10.000 t a <sup>-1</sup> .
Kapazität:	Boxengröße L x B x H ca. >7 m x 3 m x 3 m; die Füllhöhe kann bis zu 2,8 m betragen. Durch modulares Aneinanderreihen der standardisierten Einheiten ist eine gute Anpassung an die jeweilige Ausbaugröße möglich. Die Aufenthaltszeit im Reaktor soll 7 bis 10 Tage betragen.
Flächenbedarf:	Beispiel: für 2.000 t/a bei einer Aufenthaltszeit von 10 Tagen ca. 1.500 m <sup>2</sup> , einschließlich der Aufbereitungs-, Aufgabe- und Entnahmebereiche sowie der erforderlichen Sozialräume, jedoch ohne Nachrotte- und Nachreifeflächen.
Betriebsweise:	Chargenbetrieb; die wärmeisolierten Rotteboxen werden mit dem zu kompostierenden Material in einer Schichtstärke bis etwa 2,8 m - abhängig von Materialeigenschaften - verfüllt und drückend bzw. im Wechsel saugend belüftet. Es erfolgt keine Materialbewegung innerhalb des Reaktors.
Befüllen der Rottebox:	mit Radlader oder mit automatischer Fördertechnik
Entleeren der Rottebox:	mit Radlader oder mit automatischer Fördertechnik
Belüftung	zwangsweise drückende bzw. saugende Belüftung mit Frischluft bzw. in Abhängigkeit von der Rottephase auch Umluftbetrieb mit Frischluftzugabe. Die Frischluft wird erforderlichenfalls über Wärmetauscher vorgewärmt. Abluft fällt im Ausmaß der Frischluftzugabe an. Die Belüftung erfolgt abschnittsweise über Schlitze im Stahllochboden.

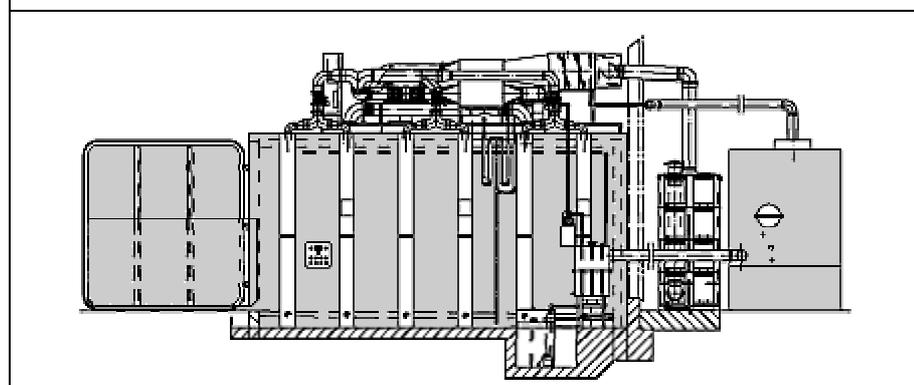
### **Steuerparameter für den Rotteprozess:**

CO <sub>2</sub> -Gehalt in der Abluft:	angestrebt wird ein solcher von 1,0-1,5 % (v/v).
Temperatur im Rottegut:	Programmvorgabe; zum Austrag wird meist auf < 55 °C durch die Belüftungssteuerung abgekühlt. Die Temperatur wird in der Abluft durch Sensoren gemessen.
Prozessablauf:	Der Wassergehalt des Startmaterials soll etwa 55 bis maximal 65 % betragen. Es erfolgt keine Wasserzugabe - weder zu Beginn noch während der Verweilzeit im Reaktor. Die anfallenden Prozesswässer werden laufend wieder in die Reaktoren eingesprüht. Der Materialeintrag erfolgt mittels Radlader. Die Prozessführung erfolgt entweder individuell von Hand oder nach einem fixen Programm: Vorerst wird über einen von der Außentemperatur abhängigen Zeitraum von 2 Stunden bis 2 Tagen mit einer konstanten Luftmenge im Umluftbe-

trieb belüftet. Die anschließende "Exponentialphase" in der Dauer von etwa 4 Tagen wird über Temperatur- und CO<sub>2</sub>-Messung gesteuert. In der folgenden Hygienisierungsphase werden Temperaturen von mehr als 65°C über 3 Tage angestrebt. Die abschließende Trocknung bzw. Abkühlung in der Dauer von 1 Tag wird durch stufenweises Erhöhen der Luftleistung erreicht. Die Vorwärmung der Frischluft geschieht mittels Luft/Luft-Wärmetauscher. Nach 7-10 Tagen wird das Material mit Hilfe eines Radladers aus der Rottebox ausgetragen. In Abhängigkeit von der Verweilzeit, der Materialzusammensetzung sowie der Homogenität des Rottefortschritts im gesamten Rottekörper (Verteilung der Feuchtigkeit, des freien Luftporenvolumens und des Luftstroms) unterliegt das Material noch einer mehr oder weniger intensiven Selbsterwärmung.



**Abbildung 9-32: Geschlossenes System - Rottebox (Binner, 2003b[A242])**



**Abbildung 9-33: Skizze Herhof Rottebox (Quelle: Herhof . <http://www.herhof.de/inhalt/3100.htm#3> (2003/07/03))**



**Abbildung 9-34: Herhof Rottebox (Quelle: Biokomp <http://www.biokomp.de/rotte.html> (2003/07/03))**



**Abbildung 9-35: Befüllung Herhof Rottebox (Quelle: Herhof . <http://www.herhof.de/inhalt.html> (2003/07/03))**

### **Emissionen und Standortabhängigkeit:**

- Abluft:** Die Reaktorabluft wird über die Abluftreinigungsanlage, bestehend aus Luft/Luft-Wärmetauscher, Luft/Wasser-Wärmetauscher, Kühlturm und biologischem Geruchsfilter, entsorgt. Im Freiraum oberhalb des Rottegutes wird abgesaugt und damit beim Befüllen und Entleeren des Reaktors ein Unterdruck angelegt.
- Abwasser:** Das prozessbedingte Perkolat wird zum Zweck der Verdunstung auf den freien Bereich der Reaktorinnenwände versprüht; Kondensat aus der Abluftbehandlung in der Größenordnung von etwa  $0,3 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  FM muss entsorgt werden.
- Pilzsporen:** Ein Freisetzen von Pilzsporen ist dann zu erwarten, wenn keine ausreichende biologische Stabilisierung oder eine Trockenstabilisierung zum Zeitpunkt des Auslagerns erfolgte. Keimemissionen können auch bei (teilweise) Trockenfallen des Biofilters auftreten (siehe hierzu Abschnitt 7.5.5).
- Klima:** Das geschlossene Verfahren ist von klimatischen Randbedingungen unabhängig.
- Standort:** Die Intensivrotte verläuft über einen Zeitraum von 6-9 Tagen innerhalb eines Reaktors. Diese Prozessphase ist bei entsprechender Funktionsfähigkeit des Biofilters immissionsneutral. Der Aufgabebereich und der Entnahmebereich befinden sich im Freien. Aus diesen Verfahrensschritten ist im Fall eines zu geringen Wassergehalts des Reaktormaterials bei dessen Austrag eine Immissionsbelastung (Staub, Pilzsporen) des direkten Anrainerbereiches möglich. In Abhängigkeit von der Verweilzeit im Reaktor (deutliche Selbsterwärmungsfähigkeit des Reaktormaterials - Herstellerangabe:  $60^\circ\text{C}$ ) treten bei der Nachbehandlung des Verfahrensproduktes - Nachrotte, Nachreife - noch mehr oder weniger intensive Stoffwechselreaktionen auf. Für den Anrainerbereich können daraus Beeinträchtigungen (Geruch, Staub, Pilzsporen) entstehen. Das Verfahren ist daher nur bedingt standortunabhängig.
- Hygienisierung:** Die Anforderungen für die temperaturbedingte Reduktion von potenziell pathogenen Keimen (in diesem Fall  $> 60 - 65^\circ\text{C}$  über einen Zeitraum von zumindest 7 Tagen) werden erfüllt.
- Zur Problematik der Trockenstabilisierung bzw. der Belüftungssteuerung (Einblasen von zu kalter Luft) hinsichtlich einer effektiven Hygienisierung siehe Abschnitt 5.1.3.
- Eine ausreichende Nachrotte bei optimal eingestellter Feuchtigkeit und periodischem Umsetzen ist zur biologischen Stabilisierung jedenfalls erforderlich.

### **Bestehende Anlagen in Österreich (Beispiele):**

- Stadt Stockerau/NÖ.:	$10.000 \text{ t a}^{-1}$
- Gemeinde Judenburg/Stmk.:	$4.200 \text{ t a}^{-1}$
- Spittal a. d. Drau	$5.600 \text{ t a}^{-1}$
- St. Veit a. d. Glan	$8.400 \text{ t a}^{-1}$

### 9.3.9.2 Tunnel-Kompostierung

**Dieses System wird am Beispiel des LINDE KCA- Verfahrens, Bioabfallkompostieranlage Wiener Neustadt erläutert.**

<b>Materialart</b>	Alle Materialien nach der Kompostverordnung Teil 1, 2 und 4				
<b>Mietenform</b>	Dreieck	Tafel/Trapez	Boxen/Container	Tunnel ✓	
<b>Rotte- körper</b>	<b>H:</b>	< 1,5 m	1,7 – 2,2 m	> 2,2	
	<b>B:</b>		2,5 – 3 m		
	<b>L:</b>		14 – 25 m		
<b>Vorbehandlung</b>	keine	Vergärung	SESO/EM/FKE	Mietenabdeckung mit Häckselgut	
<b>Aufsetzen</b>	Radlader ✓	Miststreuer	andere Geräte/Maschinen Teleskop-Förderband		
<b>Homogenisieren</b>	Mietenwender	Miststreuer	Radlader ✓	Mischgeräte ✓	
<b>Wendetechnik</b>	Mietenwender	Tafel-Umsetzer Wendelin	Miststreuer	Radlader	keine ✓
<b>Umsetzen</b>	7-2 x pro Woche	1 x pro Woche	seltener Rotteschwund ausgleichen	nie ✓	
<b>Sauerstoffeintrag</b>	durch Wenden	durch Belüftung Druck/Saugbel. 3-100 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup> <sup>1)</sup>	Belüftung und Wenden	nur Kaminzug	
<b>Rottedauer</b>	< 12 Wochen Box: 10 Tage	12 – 26 Wochen ✓	länger		

<sup>1)</sup> Luftdurchsatz: in m<sup>3</sup> Luft pro m<sup>3</sup> Material und Stunde

### **Systembeschreibung**

Linde-KCA-Dresden GmbH ist der rechtliche Nachfolger des Bereiches Mechanisch/biologische Abfallbehandlung der AUSTRIAN ENERGY & ENVIRONMENT GmbH, vormals VOEST-ALPINE Maschinenbau. Dieses System wird am Beispiel der Bioabfallkompostieranlage Wiener Neustadt erläutert.

System:	zwangsbelüftetes, geschlossenes, statisches Rottesystem; Reaktorsystem in Boxenform mit einer gesteuerten, zwangsweise drückenden bzw. saugenden Belüftung.
Verfahrensprodukt:	Hygienisierter Frischkompost (nach 10 Tagen), Abbau oTM ca. 30% am Ausgang der Tunnel; zur Herstellung von Fertigkompost sind ein Nachrotte- und Nachreifeprozess jedenfalls erforderlich.  Die Auslagerung des Rottegutes nach einer Intensivrottezeit von nur 10 Tagen auf eine offen Nachrottefläche ist hinsichtlich der erforderlichen Stabilisierung (Abbau von Geruchsstoffen, Reduktion der luftgetragenen Keimemissionen) als kritisch einzustufen. Eine Mindestverweildauer im geschlossenen Rotteaktor von 14 bis 21 Tagen in Abhängigkeit der Rohstoffmischung sollte jedenfalls vorgesehen werden, um eine ausreichende Geruchsneutralität beim Austrag und für die Nachrotte zu gewährleisten. Vorschläge zu einem Parameter als Mindestanforderung für das Verfahrensprodukt aus geschlossenen Hauptrotteaktoren siehe Abschnitt 9.3.1.
Einsatzbereich:	Bioabfälle aus der getrennten Sammlung, Restmüll (Kompostierung, biologische Trocknung, Stabilisierung), unsortierter Hausmüll, biogene Gewerbeabfälle  Anlagen/Durchsatzgrößen: unbegrenzt, zB, Barcelona ca. 100.000 t a <sup>-1</sup> Gärrest aus Nassvergärungsanlage.
Kapazität:	Tunnelkompostierungsanlagen ab ca. 5.000 t a <sup>-1</sup> Verweilzeit Intensivrotte im Tunnel: 6 –10 Tage Verweilzeit auf Nachrottefläche: ca. 3 Monate
Flächenbedarf:	Wels: 8000 m <sup>2</sup> bei einer Anlagenkapazität von 15.000 t a <sup>-1</sup>
Betriebsweise:	Chargenbetrieb; 3 Rottetunnel 14 x 3 m, Beschickung und Entleerung erfolgt mit Radlader, Füllhöhe ca. 2,3 m, Nachrotte zB in Dreiecksmieten mit regelmäßigem Umsetzen im Freien,
Befüllen der Rottebox:	mit Radlader
Entleeren der Rottebox:	mit Radlader
Belüftung:	Jeder Tunnel verfügt über einen eigenen Ventilator (9.000 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ), der frequenzgeregelt wird und den Tunnel belüftet. Über die Frischluft- und Umluftklappe wird die für die entsprechende Prozessstufe erforderliche Mischung aus Frisch- und Abluft automatisch eingestellt.
Bewässerung:	Jeder Tunnel verfügt über ein eigenes Bewässerungssystem und das Material wird zeitgesteuert entsprechend der jeweiligen Prozessstufe bewässert. Es kann umgeschaltet werden zwischen Bewässerung mit Prozesswasser und Brauchwasser.

### **Steuerparameter für den Rotteprozess:**

Parameter und Funktionsweise: Bei der Linde-Tunnelkompostierung wird der Prozess über die Temperatur, den Sauerstoffgehalt und den Druck geregelt. Optional können noch Luftfeuchtigkeit und Luftmenge für die Regelung eingesetzt werden. Zur Prozesskorrektur stehen der Ventilator, die Luftklappen und das Prozesswassersystem zur Verfügung.

Nachfolgend ein Beispiel aus der Visualisierung einer bestehenden Anlage.

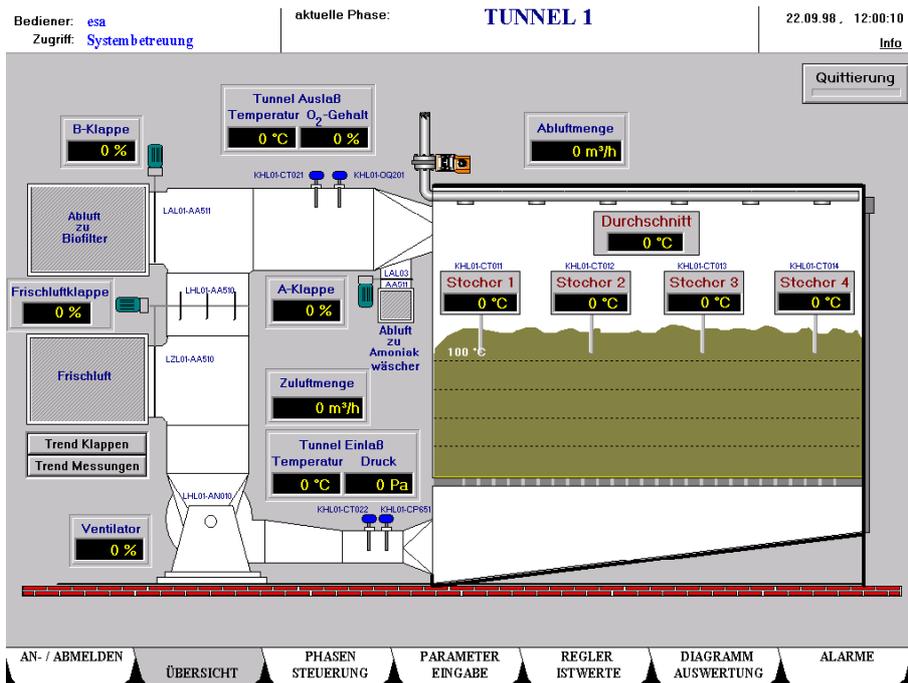
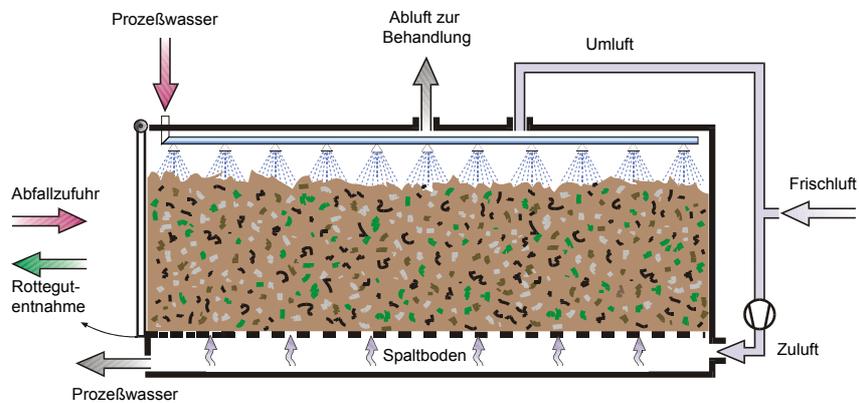


Abbildung 9-36: Visualisierung der Prozessregelung bei der Linde-Tunnelkompostierung (Quelle: Linde-KCA-Dresden)

### Tunnelrotteverfahren



LINDE-KCA-DRESDEN GMBH

1  
 KKK-W / VIII / 8\_2\_FO.PPT / 994

Abbildung 9-37: Schema des Linde-Tunnelrotteverfahrens (Quelle: Linde-KCA-Dresden)

### **Emissionen und Standortabhängigkeit:**

Abluft:	Abluftbehandlung erfolgt in einem konventionellen Biofilter
Abwasser:	Anlage arbeitet abwasserfrei
Pilzsporen:	Ein Freisetzen von Pilzsporen ist dann zu erwarten, wenn keine ausreichende biologische Stabilisierung oder eine Trockenstabilisierung zum Zeitpunkt des Auslagerns erfolgte. Keimemissionen können auch bei (teilweise) Trockenfallen des Biofilters auftreten (siehe hierzu Abschnitt 7.5.5).
Klima:	Das Verfahren ist von klimatischen Randbedingungen unabhängig.
Standort:	Die Intensivrotte verläuft über einen Zeitraum von 6-9 Tagen innerhalb eines Tunnelreaktors. Diese Prozessphase ist bei entsprechender Funktionsfähigkeit des Biofilters immissionsneutral. Der Aufgabebereich und der Entnahmebereich befinden sich im Freien. Aus diesen Verfahrensschritten ist im Fall eines zu geringen Wassergehalts des Reaktormaterials bei dessen Austrag eine Immissionsbelastung (Staub, Pilzsporen) des direkten Anrainerbereiches möglich. In Abhängigkeit von der Verweilzeit im Reaktor (deutliche Selbsterwärmungsfähigkeit des Reaktormaterials - Herstellerangabe: 60°C) treten bei der Nachbehandlung des Verfahrensproduktes - Nachrotte, Nachreife - noch mehr oder weniger intensive Stoffwechselreaktionen auf. Für den Anrainerbereich können daraus Beeinträchtigungen (Geruch, Staub, Pilzsporen) entstehen. Das Verfahren ist daher nur bedingt standortunabhängig.
Hygienisierung:	<p>Die Anforderungen für die temperaturbedingte Reduktion von potenziell pathogenen Keimen (in diesem Fall &gt; 60 -65°C über einen Zeitraum von zumindest 7 Tagen) werden erfüllt.</p> <p>Zur Problematik der Trockenstabilisierung bzw. der Belüftungssteuerung (Einblasen von zu kalter Luft) hinsichtlich einer effektiven Hygienisierung siehe Abschnitt 5.1.3 und 7.4.2.</p> <p>Eine ausreichende Nachrotte bei optimal eingestellter Feuchtigkeit und periodischem Umsetzen ist zur biologischen Stabilisierung jedenfalls erforderlich.</p>

### **Bestehende Anlagen in Österreich (Beispiele):**

- Linz	20.000 t a <sup>-1</sup>	Biotonne
- Wels	21.000 t a <sup>-1</sup>	Biogene Gewerbe-, Speiseabfälle, Lebensmittel
- Wiener Neustadt	7.500 t a <sup>-1</sup>	Biotonne

## 9.4 Nachrotte

Die Nachrotte wird als jener Rotteabschnitt definiert, in dem im Anschluss an die Hauptrotte die Stabilisierung bzw. Humifizierung zum Reif- oder Fertigkompost erfolgt.

Die Hauptrotte kann als abgeschlossen gelten, wenn als Indikator die Temperatur dauerhaft 40 °C nicht mehr übersteigt. Die Nachrotte verläuft demnach im rein mesophilen bis psychrophilen Temperaturbereich < 40 °C, da nach erfolgter Umwandlung der leicht abbaubaren organischen Stoffe der Sauerstoffbedarf und die Energiefreisetzung deutlich reduziert sind.

Die Nachrotte beginnt somit definitionsgemäß – v.a. hinsichtlich der von der Hauptrotte abzugrenzenden Anforderungen an den Stand der Technik – im Anschluss an die 1 – 2-stufig geführte 5 – 10-wöchige Hauptrotte.

Je nach Art und Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien (i.w. Strukturanteil und C/N-Verhältnis), der Intensität der Hauptrotteführung, der Bearbeitungsintensität in der Nachrotte und der gewünschten Kompostqualität sind unterschiedliche Nachrottezeiten erforderlich<sup>35</sup>. Als Maß für eine ausreichende Stabilisierung kann für die Praxis ein dauerhaftes Unterschreiten von 30 °C angegeben werden<sup>36</sup>.

### 9.4.1 Wesentliche Funktionen

- Ab- und Umbau von schwerer abbaubaren Substanzen (vorwiegend Zellulose und Lignin), unter meso- bis psychrophilen Bedingungen
- Aus dem Ligninabbau durch die Pilzflora und Eiweißbestandteilen erfolgt die Synthese von Lignoproteiden, den Bausteinen für die Polymerisierung zu Huminstoffen bzw. den Aufbau des Tonmineralhumuskomplexes.
- Stabilisierung durch intensiven Abbau der mikrobiellen Biomasse, auch von seuchenhygienisch relevanten pathogenen Keimen (siehe Abschnitt 7.4.2)
- Vorbereitung bzw. Herstellung eines emissionsneutralen, qualitativ hochwertigen, für den jeweiligen Anwendungsbereich verwendungsreifen Produktes bis zur Feinaufbereitung

### 9.4.2 Mögliche Emissionen

- Geruch

Art und Menge der Emissionen werden in der Nachrotte im wesentlichen von folgenden Faktoren beeinflusst (VDI 3475, 2003[PS243]):

- Reifestadium des Komposts
  - Wenn die Dauer bzw. Intensität der Hauptrotte in bezug auf Stoffumsatz und Dauer unzureichend war (zB Trockenstabilisierung in geschlossenen Reaktoren), können die Geruchsstoffemissionen aus der Nachrotte beträchtlich sein. Dies gilt insbesondere bei verkürzter Hauptrotte bei vorübergehender oder dauerhafter Unterdimensionierung der Anlage.
- Feinkornanteil, Wassergehalt und Temperatur des Komposts, Art des Behandlungsschrittes (Zerkleinerung, Bewegung des Materials)
- gegebenenfalls Belüftung

---

<sup>35</sup> Zum Vergleich: in Deutschland wird gemäß VDI 3475 (2003) die Dauer der Nachrottezeit bestimmt durch den in der Intensiv- oder Hauptrotte erzielten Rottegrad (Selbsterhitzung) und kann ca. drei bis zehn Wochen dauern, um Rottegrad V nach dem Selbsterhitzungstest zu erreichen.

<sup>36</sup> Zu Beachten ist, dass niedrige Außentemperaturen (< 0 °C) diesen Orientierungswert für die Kompostreife verfälschen können.

- Sonstige gasförmigen Emissionen; siehe hierzu Abschnitt 7.6
- flüssige Emissionen (Kondenswasser im Zuge der Ablufführung bei einer evtl. zwangsbelüfteten Nachrotte)
  - Mit prozessbedingtem Sickerwasser ist in der Regel nicht zu rechnen. Bei Überschreitung der Wasserkapazität des Materials bei gleichzeitig verringertem Vermögen, Wasser zu verdunsten, kann niederschlags- oder bewässerungsbedingtes Sickerwasser auftreten.
- Staub- und Keimemissionen bei zu geringem Wassergehalt des Kompostes während des Umsetzens bzw. im Bereich der Fahr- und Manipulationsflächen
- Lärm durch Belüftungs- und Umsetzaggregate
- Verfrachtung von Feinteilen durch Wind bei nicht abgedeckten Mieten

### 9.4.3 Baulich-technische Ausstattung

Die Nachrotte erfolgt meist in Dreiecks-, Trapez- oder Tafelmieten, teilweise auch in offenen Boxen oder geschlossenen Hallen. Die bauliche Ausführung bzw. die maschinelle Ausstattung der Nachrotte ist in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit der Hauptrotte auszulegen.

Auch wenn der Sauerstoffbedarf während der Nachrotte deutlich reduziert ist, ist auf einen ausreichenden Gasaustausch zu achten und eine Vernässung durch Bewässerungs- oder Niederschlagswasser zu vermeiden. Aus diesem Grund und unter Hinweis auf die Tatsache, dass in der Nachrotte die Strukturstabilität bereits nachgelassen hat, werden natürlich belüftete Trapez- und Tafelmietensysteme mit Schütthöhen von > 2,50 m ohne Zwangsbelüftung nicht empfohlen.

#### **Die Mindestausstattung umfasst:**

- Maschinenteknik für Beschickung und Entnahme
- Einrichtungen zur Temperaturmessung
- Einrichtungen zur Regulierung und Sicherstellung des erforderlichen Wassergehaltes
- Nachrotte auf offenem Mutterboden
  - Zur Erfüllung der hier angeführten Standardvoraussetzungen ist eine hydrogeologische Beurteilung über die Eignung des Standortes vorzunehmen.
  - Grundsätzlich gelten folgende Anforderungen an den Standort
    - ⇒ Das Gelände soll eine leichte Neigung aufweisen (ca. 3 %) keine Mulde
    - ⇒ Mindestabstand vom nächsten Oberflächengewässer: > 50 m unter Beachtung der hydrogeologischen Situation
    - ⇒ Mindestabstand von nächster Quell/Brunnenfassung: > 50 m unter Beachtung der hydrogeologischen Situation
    - ⇒ Nicht innerhalb des HQ-30 Bereiches von Vorflutern
    - ⇒ Auf Standorten mit einer geringen Bindigkeit bzw. hohen Durchlässigkeit ist ein jährlicher Standortwechsel erforderlich,
    - ⇒ Nicht auf Standorten mit leichten Böden (Tongehalt < 15%)
    - ⇒ Nicht in Wasserschutzgebieten (§34 Abs.1 WRG)
    - ⇒ Nicht in Grundwassersanierungsgebieten hinsichtlich Nitrat; bei einem geplanten Standort im Schongebiet gelten die jeweiligen Schongebietsverordnungen; nicht in Gebieten entsprechend einer wasserwirtschaftlichen Rahmenverfügung zum Schutze des Grundwasservorkommens gemäß § 54 (1, 2) WRG (BGBl. Nr. 215/1959, in der Fassung BGBl. I Nr. 142/2000).
    - ⇒ Nicht in Karstgebieten
    - ⇒ Nicht auf Standorten mit Staunässegefahr

- ⇒ Nicht auf Standorten mit einem rechnerisch höchsten Grundwasserstand von weniger als 2 m unter Geländeoberkante
- Werden diese Voraussetzungen nicht erfüllt, muss die Nachlagerungsfläche entweder überdacht werden oder es ist eine flüssigkeitsdichte Basisabdichtung der Nachlagerungsfläche vorzunehmen, die eine Erfassung und geordnete Verwertung oder Beseitigung des Oberflächen- und Sickerwassers zulässt. Dies gilt für sämtliche Kategorien an verarbeiteten Ausgangsmaterialien.
- Vliesabdeckung oder Überdachung
  - bei Mietenhöhen kleiner oder gleich 1,5 m, ab einem Jahresniederschlag von mehr als 1000 mm<sup>37</sup>
  - bei Mietenhöhen größer als 1,5 m und dem gleichzeitigen Zutreffen der Kriterien:
    - ⇒ ab einem Jahresniederschlag von mehr als 1.300 mm und
    - ⇒ einem Gesamtjahresdurchsatz von mehr als 3.000 t

#### 9.4.4 Anforderungen an die Betriebsführung und Dokumentation

##### Anforderungen an die Betriebsführung:

- Schaffen der Rahmenbedingungen für den weitergehenden Ab- und Umbau der organischen Substanz über die
  - Sicherstellung des erforderlichen Gasaustausches durch
    - ⇒ regelmäßiges Umsetzen mit oder ohne Zwangsbelüftung (ca. alle 2 – 4 Wochen)
    - Bei mechanischen Umsetzvorgängen (Schaffung neuer Oberflächen) können Ab- und Umbauvorgänge kurzfristig neuerlich aktiviert werden, wobei auf den dadurch allenfalls erforderlichen Sauerstoffbedarf Rücksicht zu nehmen ist.
    - In den Wintermonaten bei Temperaturen um den Gefrierpunkt und darunter kann aufgrund der reduzierten biologischen Aktivität in der Nachrotte die Umsetzhäufigkeit deutlich reduziert werden. Mieten mit einer Mietenhöhe von < 1,50 m sollen in dieser Zeit jedenfalls mit Vlies abgedeckt werden, um eine Vernässung durch Schneeschmelze oder Niederschläge zu vermeiden.
    - ⇒ Erhaltung der erforderlichen Strukturstabilität
  - Einstellung der optimalen Materialfeuchtigkeit (ca. zwischen 45 und 55 % i.d. FM)
  - Vermeidung von Trockenstabilisierung bzw. Vernässung.
- Im Sinne der Erhaltung eines überwiegend oxidativen Milieus können Mietenhöhen über 2 m in der Nachrotte nur unter Einhaltung von optimalen Rottebedingungen (Umsetzhäufigkeit, Wassergehalt etc.) befürwortet werden.
- Einstellung der Endfeuchtigkeit auf die nachfolgenden Verwendungs- oder Verarbeitungsschritte (Feinaufbereitung, Nachlagerung, Absackung, Ausbringung u.a.m.).

##### Anforderungen an die Dokumentation:

Im Betriebstagebuch sind folgende Maßnahmen und Daten – falls durchgeführt respektive erhoben – unter Angabe des Datums zu vermerken:

- Temperaturmessung
- Feststellen des Feuchtigkeitsgehaltes (es genügt die visuelle Einschätzung oder *Faustprobe*)
- Bewässerungsmaßnahmen
- Umsetzzeitpunkte

<sup>37</sup> Die Rotte muss gegen das Endstadium hin wegen der abnehmenden Wasserkapazität und dem geringeren Luftporenvolumen trockener gefahren werden. Neben der Frage der besseren Manipulierbarkeit (Sieben) sollen aber auch Nährstoffauswaschungen aus dem zunehmend mineralisierten Substrat vermieden werden.

- Belüftungsmaßnahmen
- allfällige andere Maßnahmen wie zB Mietenabdeckung, Siebung

## 9.5 Feinaufbereitung

Die Kompostaufbereitung erfolgt in der Regel im Anschluss an die Nachrotte. Sie kann jedoch zumindest teilweise auch während anderer Rottephasen durchgeführt werden, wobei auf die entsprechende Bearbeitbarkeit (Wassergehalt, Struktur, Geruchspotenzial) zu achten ist.

Die Feinabsiebung bei Maschenweiten < 15 mm zu einem Zeitpunkt, bei dem die Selbsterwärmung noch nicht unter 40 °C gehalten werden kann, ist aufgrund des Verlustes an Strukturstabilität und freiem Luftporenvolumen im Falle einer nachfolgenden Nachlagerung nicht zu empfehlen. Es besteht die Gefahr des Aufbaus großvolumiger reduzierender Bedingungen, die die Stabilisierung bzw. Humifizierung verzögern und zur Denitrifizierung und damit zur Bildung von Ammonium, Ammoniak und zusätzlichen Lachgasemissionen führen können.

### 9.5.1 Wesentliche Funktionen

#### Hauptfunktionen der Feinaufbereitung sind:

- (A) Die Herstellung von Feinkompost mit einer für den jeweiligen Anwendungszweck günstigen Körnung, wobei vor allem der noch nicht humifizierte Anteil an verholztem Strukturmaterial abgetrennt wird.
- (B) Die Abtrennung der im Kompost noch vorhandenen Störstoffe, insbesondere Plastik und Metallteile, vor allem bei Komposten aus getrennt gesammelten biogenen Abfällen aus Haushalten (Biotonne).

#### Wesentliche Maßnahmen:

- Mechanische Abtrennung von Überkornanteilen (Siebung)
- Auslese von Störstoffen (Siebung, Hart- bzw. Leichtstoffsichtung)
- Nachzerkleinerung
- Evtl. Einstellung des Wassergehaltes (um einen günstigen Feuchtigkeitsgehalt für die weitere Feinaufbereitung bzw. Nachlagerung zu erhalten)

### 9.5.2 Mögliche Emissionen

- Geruch (insbesondere dann, wenn die Feinaufbereitung von noch nicht stabilisiertem, ausgereiftem Kompostmaterial erfolgt)
- Staub- und Keimemissionen
- Lärm
- Materialverfrachtung von Leichtstoffen (zB Feinkompost, Plastikfolien)

### 9.5.3 Technisch-bauliche Ausstattung

#### Mindestanforderungen:

- Stationäre oder mobile Siebanlage
- Erfassung und getrennte Lagerung der Siebreste
- Im Falle der Wiederverwendung der Siebreste in der Kompostierung von Bioabfällen aus Haushalten bei zu hohem Plastikanteil: Windsichter zur Abtrennung der Leichtfraktion

- Abluftentstaubung im Falle der Absiebung in geschlossenen Hallen

**Optionale Zusatzausstattung:**

- Eisenmetallabscheider (kann sowohl für die Feinfraktion als auch für den Siebüberlauf eingesetzt werden)
- Hartstoffabscheider
- Wirbelstromabscheider für Nichteisenmetalle
- Verlade- und Absackeinrichtung (Dosier- und Mischeinrichtungen zur Beigabe von Zuschlagstoffen bei der Herstellung von Kulturerden aus Kompost)
- Überdachung bzw. Einhausung

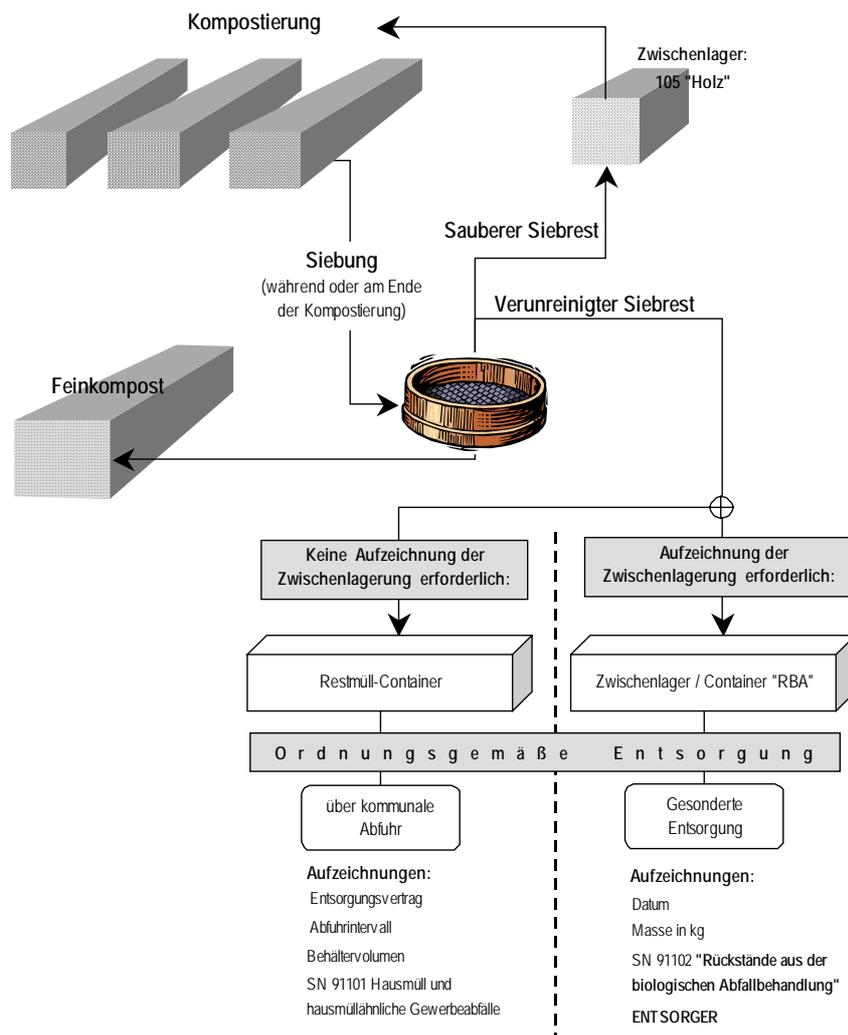
#### **9.5.4 Anforderungen an die Betriebsführung und Dokumentation**

**Qualitätskonstanz:**

- In Abhängigkeit vom Anwendungsbereich hat eine weitgehende Abtrennung von Störstoffen (zB Glas, Metalle, Steine, Kunststoffe, Überkorn) und die Einstellung des Maximalkorns (Siebfraktion) zu erfolgen.
- Einstellung des Wassergehalts
  - Dieser muss entsprechend des Siebungsgrades und der Wasserkapazität auf die Lager- und Transportfähigkeit des Kompostes hin eingestellt werden.
  - Es ist ausschließlich Frischwasser, getrennt gesammeltes Abwasser von Dachflächen oder aus der Nachrotte zur Befeuchtung zu verwenden.
- Zusammenlegung mehrerer Kompostchargen im Zuge der Feinaufbereitung
  - ausreichende Homogenisierung und gute Durchmischung, um eine konstante Qualität hinsichtlich Nährstoffe und Qualitätsklasse gemäß KompostVo zu gewährleisten
  - Vergabe einer neuen eindeutigen Chargen-Nummer

**Störstoffentsorgung, geordnete Lagerung:**

- Eindeutig gekennzeichnete Zwischenlagerung (Restmüllbehälter/Container) und nachvollziehbar dokumentierte Entsorgung der abgetrennten Störstoffe
- Vermeidung von Sekundärverunreinigungen vor allem durch Verschleppung von Rohkompost mit den Maschinen (Radlader) bzw. Befeuchtung mit Prozesswasser aus dem Übernahme- oder Hauptrottebereich



Beim Absieben von Komposten können je nach Verunreinigungsgrad unterschiedliche Qualitäten an Siebrückständen anfallen; daher stehen für die Aufzeichnungen zwei Bezeichnungen zur Verfügung.

*Fall 1* → Die Siebreste bestehen fast ausschließlich aus verholzten Bestandteilen. Ein Wiedereinbringen in neue Kompostausgangschargen ist zur Herstellung von Komposten hoher Qualität bedenkenlos möglich

Tag/Zeitraum	Code	Bezeichnung	Menge [kg]	Verbleib im Betrieb *)	Anmerkungen
April 2002	105	Holz	2.300	Zwischenlager: (4) Siebrest <input checked="" type="checkbox"/> Chargen-Nr.: <input type="checkbox"/>	Siebrest nach Windsichtung

*Fall 2* → Die Siebreste sind mit Plastikresten u.ä. stark verunreinigt. Ein Wiedereinbringen in neue Kompostausgangschargen ist mit vertretbarem Reinigungsaufwand nicht möglich

Tag/Zeitraum	Schl.Nr. S 2100	Bezeichnung	Menge [kg]	Verbleib im Betrieb *)	Anmerkungen
Mai 2002	91102	Rückstände aus der biologischen Abfallbehandlung	3.500	C1-RBA: <input checked="" type="checkbox"/>	Siebrest - stark verunreinigt

\*) Zur Entsorgung der Rückstände und die Aufzeichnungen hierüber siehe BMLFUW, 2002.

### **Emissionsarmer Betrieb, Arbeitnehmerschutz**

- Geruch
  - ist nur dann zu erwarten, wenn die Aufbereitung von noch nicht stabilisiertem, unausgereiftem Kompostmaterial erfolgt.
  - In diesem Fall sind die in Abschnitt 7.2 besprochenen Vorkehrungen zu treffen, insbesondere Beachtung der kleinklimatischen Bedingungen (Windrichtung, Inversionswetterlage etc. in Abhängigkeit des Anlagenstandortes).
- Arbeitnehmerschutz; Staub- und Keimemissionen
  - Der hohe Anteil an Feinmaterial kann bei geringem Wassergehalt eine hohe Staubentwicklung und dadurch eine entsprechende staubgebundene Emission an Pilzsporen verursachen. Das Material sollte daher einen für die Siebung günstigen Feuchtigkeitsgehalt aufweisen.
  - Die Siebung von unausgereiftem, trockenstabilisiertem Material (evtl. sichtbare Schimmelpilzschichten) sollte jedenfalls unterbleiben.
  - Bei starker Staubentwicklung Staubschutzmaßnahmen (P3-Maske oder Fahrzeugkabine mit Zuluftkonditionierung und Klimaanlage)
- Lärmschutz
  - Durchführung der vorgeschriebenen Überprüfung der zulässigen maximalen Lärmpegel der eingesetzten Maschinen
  - Tragen von Ohrenschutz im Falle von nicht geschlossenen Dauerarbeitsplätzen (zB bei Fehlen von verschließbaren Fahrerkabinen)
- Materialverfrachtung von Leichtstoffen (zB Feinkompost, Störstoffe)
  - Bei windgeneigten, ausgesetzten Standorten sind zur Vermeidung der Verfrachtung insbesondere von Folien Windschutzvorkehrungen zu treffen:
    - ⇒ Errichtung von Dämmen mit Windschutzbepflanzung oder Windschutzmauern

## **9.5.5 Technisch-bauliche Varianten**

### **9.5.5.1 Siebung**

Die Absiebung erfolgt vorwiegend mit Trommelsieben, bei Großanlagen mit Spannwellensieben bei einer Lochung von 10 mm für den Substratbereich, 10 - 25 mm für die Anwendung in der Landwirtschaft und 40 mm für den Einsatz als Mulchmaterial.

Der Anteil des Siebüberlaufes ist naturgemäß vom Material selbst und von der gewählten Maschenweite abhängig und schwankt in einem sehr weiten Bereich. Die Angaben in Tabelle 9-9 beziehen sich auf die gesiebte Charge, bezogen auf den Gesamtinput der Anlage verringert sich der Anteil des Siebüberlaufes, da das Material teilweise wieder in den Prozess eingeschleust wird. Die gewählte Maschenweite beeinflusst auch die Durchsatzleistung des häufig nachgeschalteten Windsichters.

**Tabelle 9-9: Maschenweiten, Anteil des Siebüberlaufes und Leistung des Windsichters im Zuge der Feinaufbereitung**

	Maschenweite			
	10 mm	15 mm	20 mm	40 mm
<b>Siebüberlauf</b>	10 – 70 % (v/v) < 10 – 45 % (m/m)	< 10 – 25 % (v/v) < 10 – 25 % (m/m)	k.A.	k.A.
<b>Durchsatzleistung Windsichter</b>	30 - 45 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	40 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	50 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	k.A.

**Tabelle 9-10: In der Kompost-Feinaufbereitung eingesetzte Siebtypen**

Typ	Beschreibung	Bemerkung
<b>Trommelsiebe</b>	gelochte Trommeln, deren Durchsatz und Siebcharakteristik über Lochgröße, Drehzahl, Einbauten und Neigungswinkel eingestellt werden	meist verbreitet, v.a. als mobiles Aggregat
<b>Spannwellensieb</b>	gegenläufiges Schwingen von ineinander versetzten Siebkästen mit Kurbelantrieb; Variation der Trennleistung durch Maschenweite und Neigungswinkel	Vorwiegend stationär in Großanlagen eingesetzt
<b>Vibrationssiebe</b>	geneigte Siebkästen; Siebvariation nach: Lochform, Lochgröße, Frequenz, Schwingungsausschlag	meist vorzerkleinertes Material verwendet

Für einen störungsfreien Siebvorgang sollte Reifkompost einen Trockensubstanzgehalt von ca. < 55 % i.d.FM aufweisen. Der Siebrest beträgt bei einer Lochung von 25 mm ca. 30 - 40% des Reifkompostes oder 20 % des Rohmaterials[A244].

### **Trommelsiebe**

[Zusammengestellt aus Firmenangaben Doppstadt Baureihe SM; Komptech-Farwick; Sandberger S 5-2, Jenz Twister und Prof. Dr.-Ing. Th. Pretz, Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe, RWTH Aachen]

Die Trommelsiebmaschinen bieten ein breites Anwendungsspektrum bei der Absiebung und Klassifizierung von Kompost:

- Rotierende Siebtrommel mit Selbstreinigung durch mitlaufende Bürste
- Absiebung von 2 – 4 Fraktionen, zB zwei gegenläufige Siebtrommeln zum Absieben von 3 Fraktionen - innenlaufende Siebtrommel zur Auflockerung und Grobabscheidung (80mm) mit Austrag nach hinten, außenlaufende Trommel für Fein- und Mittelfraktion mit links- und rechtsseitigem Bandaustrag
- Art des Antriebs: Zahnkranz, Gummibereifung und Laufring, Reibrolle mit Gummierung und abgedrehtem Laufring, hydraulisch angetriebene Laufrollen
- Siebelag: geschraubte Siebsegmente, einzeln austauschbar, tragender Siebkorb, nur als Ganzes austauschbar;
- Siebkorb: tragender Siebkorb, Stahlskelett rund, Stahlskelett polygon; Niro-Krippgitter
- Siebneigung: Normalerweise fest eingestellt; variable Ausführungen bedeuten einen sehr großen Aufwand, da sich die Anschlüsse im Ein- und Auslauf verändern; Materialvortrieb einerseits durch die Neigung andererseits durch Transportschnecke im vorderen Teil der Trommel; höhere Neigung bei trockenem, grobem Material, geringere Neigung bei feuchtem, feinerem Material.

- Trommeldrehzahl:  $9 \text{ min}^{-1}$  bis  $14 \text{ min}^{-1}$

Weiters wesentlich für die Praxis:

- einfacher Trommelwechsel
- lastabhängig geregelte Materialzufuhr
- kurze Rüstzeiten durch hydraulisch klappbare Austragsbänder
- verschiedene Lochungstypen je nach Anwendungsbereich (Quadratlochung, Raute, Quadrat versetzt, Rundlochung), Maschenweite 5 - 100 mm (große Maschenweiten > 40 nur für Rohmaterialaufbereitung)
- optional: Kombination der Trommelsiebmaschine mit einem vollintegrierten Störstoffabscheider, um Störstoffe wie Folien, Eisen-Metalle und Steine aus dem Siebüberlauf zu entfernen

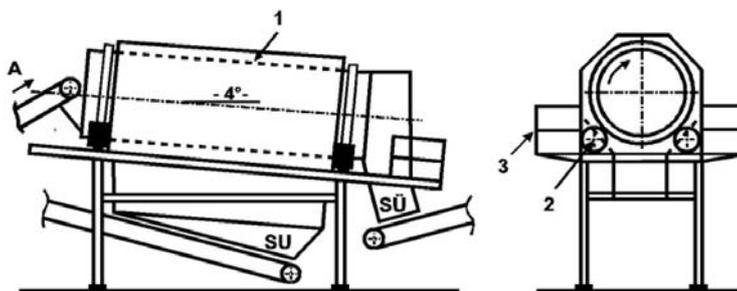


Abbildung 9-38: Funktionsskizze und Foto eines Trommelsiebs (Quelle: Pretz, 2002)

Spannwellensiebe

Die elastisch eingebauten Siebböden werden „siebkasternerregt“ in Stauch- und Spannbewegung versetzt. Das Siebgut wird Beschleunigungen von bis zu  $50 \text{ g}$  unterworfen. Steckkorn wird aus den Siebmaschen befreit und Materialanhaftungen an den Siebböden werden gelöst. Das Siebgut erfährt durch den Trampolineffekt eine hohe Auflockerung, die Siebung wird dadurch wesentlich erleichtert.

Weitere Merkmale von Spannwellensieben:

- Einsatz v.a. für den stationären Betrieb in Großanlagen
- geringer Energiebedarf
- scharfe bis sehr scharfe Siebung, dadurch vor allem auch für besonders hohe Anforderungen an die Trennschärfe ( $\rightarrow$  Substratkomposte, Feinkomposte < 10 bis 6 mm) gut geeignet

- Besser geeignet für feucht-klebendes Siebgut, nicht für faserige Abfälle (Umwicklung der Siebstege!!)
- Zwei Schwingensysteme
  - Linearschwinger
  - Kreisschwinger
- Siebeinbauten: Hebeleisten, im Winkel verstellbar, Aufreißmesser im Einlauf, Umwicklungschutz auf den Siebbelägen

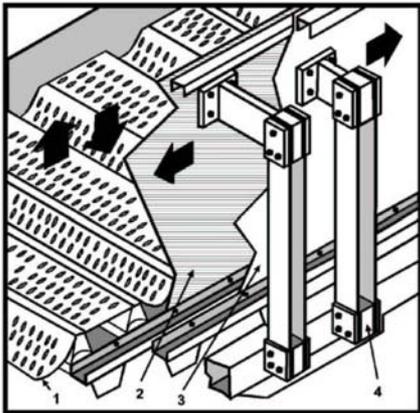


Abbildung 9-39: Funktionsskizze und Foto eines Spannwellensiebs (Quelle: Pretz, 2002)

### Scheibensiebe

Aufbereitung und Absiebung erfolgt verstopfungsfrei durch rotierende, runde oder mehreckige, speziell legierte Stahlscheiben. Durchsatzleistungen sind höher als bei herkömmlichen Siebtechniken.

Weitere Merkmale von Scheibensieben:

- Einsatz v.a. für den stationären Betrieb in Großanlagen
- optimal für sehr feuchten Kompost

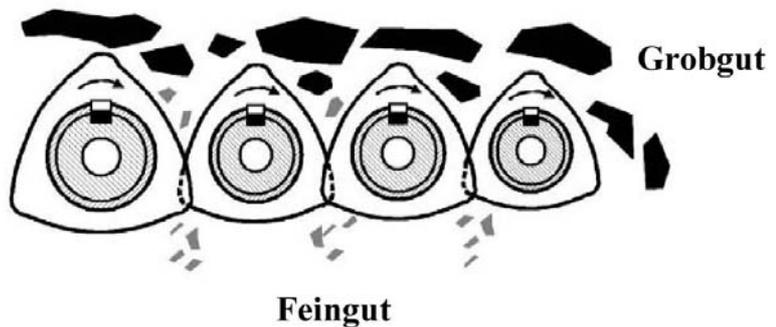


Abbildung 9-40: Funktionsskizze und Foto eines Scheibensiebs (Quelle: Pretz, 2002)

## 9.5.6 Störstoffabscheidung im Zuge der Feinaufbereitung

### 9.5.6.1 Windsichtung

Windsichter werden in der Kompostproduktion erst seit Mitte der 90er Jahre vermehrt eingesetzt. Sie dienen vorwiegend der Abtrennung der leichten Plastikfolien aus dem Siebüberlauf, damit dieser als Impf- und Strukturmaterial wieder in die Kompostierung zurückgeführt werden kann. Ohne diese Maßnahme käme es zu einer kontinuierlichen Anreicherung von Plastikfolien, die im Zuge der wiederholten Bearbeitung zerkleinert und dadurch auch vermehrt in der Feinfraktion auftreten würden.

Wesentliche Vorteile sind:

- wenige bewegte und daher verschleißanfällige Teile,
- gute Trennschärfe, hohe Volumendurchsätze (Sichterbeladung: 0,05 bis max. 0,35 kg m<sup>-3</sup> Luft)
- Kombinationsanbau an Siebanlagen
- stationär und mobil einsetzbar

Mögliche Nachteile:

- nur Teilumluft möglich,
- evtl. Staubbildung bei trockenem Feinmaterial

### **Technische Varianten und Bauarten**

Typ	Beschreibung	Bemerkung
Rotationswindsichter	bestehend aus rotierender geneigter Trommel, Absetzkammer, Druckluftsystem	Einsatz für Hausmüll und zur Nachsortierung von Kompost
Zick-Zack-Windsichter	senkrechter zick-zack-förmiger Sichterkanal von Luft von unten nach oben durchströmt; Trennungsgrad hauptsächlich über Luftstrom regelbar; für hohe Trenngenaugigkeit mehrere Sichterstufen	Einsatz für Hausmüll und zur Nachsortierung von Kompost

### **Zick-Zack-Sichter**

Luftstrom wird zickzackförmig geführt, bei jedem Richtungswechsel erfolgt Nachreinigung. Der Zick-Zack-Sichter zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Flexible Einsatzgebiete
- hohe Trennschärfe
- Nachteile:
  - geringer Durchsatz
  - große Bauhöhe
  - aufwendige Luftführung

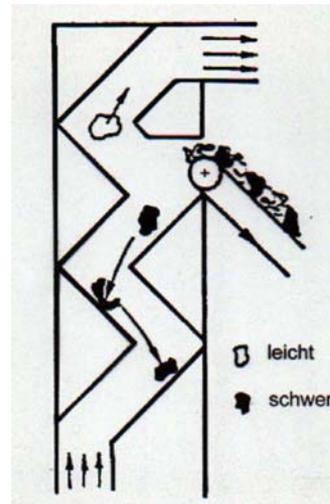
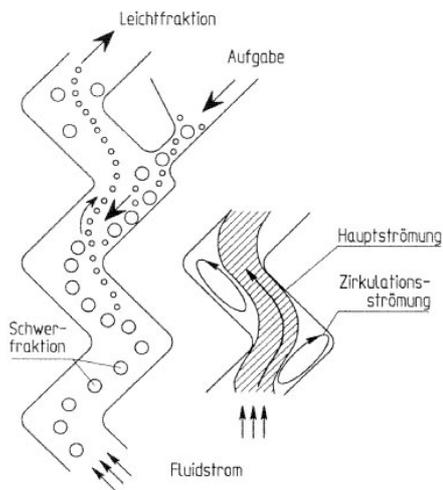


Abbildung 9-41: oben: Funktionsskizze von Zick-zack-Windsichtern; unten: Fotos einer stationären und einer mobilen, am Siebüberlaufband angebrachten Windsichteranlage. (Quellen: Pretz, 2000; Foto rechts: ©Amlinger)

### Druck-Umluft Windsichter (an den Beispielen der mobilen Windsichter der Firmen Doppstadt und Komptech/Farwick)

#### Beispiel 1) Doppstadt

- Ein Längsgebläse wirft die zu sichtenden, leichten Teile auf die schweren Bestandteile, wodurch sie für den anschließenden Trennvorgang besser zugänglich sind.
- Individuelle Anpassung an das Aufgabematerial durch Einstellung der Luftströme. Die störenden Leichtstoffe werden von dem querströmenden Luftstrom erfasst und durch den Sichraum in einen seitlich angestellten Sammelcontainer abgeworfen. Gereinigtes Grobmaterial durchläuft den Windsichter und wird durch Austragsband ausgegeben.
- Separierte Teile werden unmittelbar abgeworfen, werden nicht durch weitere Strömungskanäle gefördert.
- Mechanische Klappen ermöglichen die Anpassung der Strömungsrichtung an Zustand und Art des jeweiligen Materials.
- Zur Minimierung von Staubbelastungen im Umfeld der Maschine arbeitet der Windsichter im Umluftverfahren. Nach dem Abwerfen der Störstoffe wird die staubhaltige Luft wieder angesaugt, wodurch auf zusätzliche Entstaubungseinrichtungen verzichtet werden kann.
- Materialvorbehandlung: Schwingrinne - Vereinzelung durch Rüttelmechanismus, Längsgebläse (max.  $1,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , Vorseparation), Rüttelrollen (2. Stufe der Vorseparation) variabel zuschaltbar,

Hauptgebläse mit 3 mechanischen Verstelldüsen und einem Volumendurchsatz von max. 4,5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> Durchsatz. m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> ca. 20 – 40? (abhängig von Material und Befüllung)

**Beispiel 2) Hurrikan von Komptech/Farwick**

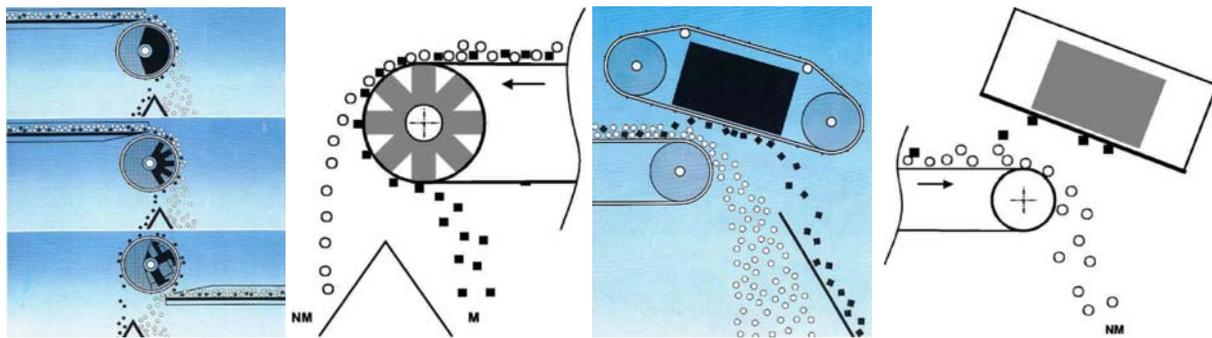
- mobiler Hochleistungswindsichter mit patentiertem „Druck-Saug“- Prinzip
- Durchsatzleistung bis 40 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> mit Trennschärfe über 90% durch Einstellmöglichkeit auf verschiedene Materialeigenschaften
- Abtrennung von
  - Folienplastik durch Absaugung,
  - Metallen durch optionale Permanentmagnetrolle,
  - Steinen, Glas (schwere Rundkörper) durch optionale Steinfaller
- Entsorgung der Störstofffraktionen in jeden handelsüblichen, bis zu 40 m<sup>3</sup> großen Container mit hoher Verdichtung
- maximale Mobilität durch Aufbau auf 80 km/h Fahrgestell mit ABS und Standort unabhängiger Betrieb durch integriertes Dieselaggregat
- Kombination mit nahezu jeder handelsüblichen Siebmaschine möglich

**9.5.6.2 Magnetabscheidung**

Die Magnetabscheidung dient der Abtrennung der Eisenmetalle und wird in der Regel mit einem Windsichter am Ende des Austragsbandes der Schwerfraktion zur Reinigung des Siebüberlaufes kombiniert. Einsatz, Anordnung und Bauweise der Magnetabscheider sind flexibel und können an die Betriebsverhältnisse angepasst werden.

**Tabelle 9-11: Typen der in der Kompostierung eingesetzten Magnetabscheider**

Typ	Beschreibung	Bemerkung
Trommelmagnetabscheider	magnetische Trommeln als Bandumlenkrollen zum Umlenken oder Ausheben von ferromagnetischen Teilen aus dem Strom, abwerfende oder aushebende Betriebsweise; Scheiben- oder Querpolanordnung	in der Hausmüll- und Kompostaufbereitung sehr verbreitet
Bandmagnetabscheider	Überbandmagnete; Magnete mit Endlosband transportieren magnetische Teile quer oder längs aus dem Förderstrom; abwerfende Betriebsweise; Scheiben- oder Querpolanordnung, mit Permanent- oder Elektromagneten	in der Hausmüll- und Kompostaufbereitung sehr verbreitet



**Abbildung 9-42: Trommel- und Überband-Magnetabscheider (Quelle: Pretz, 2002)**

### 9.5.6.3 Hartstoffabscheidung

Zur Eliminierung von Glas-, Steingut- und anderen Scherben mit relativ hohem spezifischen Gewicht werden in Großanlagen Windsichter und Luftsetzmaschinen eingesetzt. Ballistische Separatoren haben sich auf Dauer nicht durchgesetzt. An neueren Entwicklungen wurden Zick-Zack-Windsichter, Schwebewindsichter und Steinausleser (Setzmaschinen) eingesetzt (Ehrig, 2003[A245]).

Prallscheider sortieren nach elastischen Eigenschaften d.h. mit der unterschiedlichen Elastizität bzw. Verformbarkeit als Trennmerkmal. Einzelkörner fallen auf eine geneigte Fläche und prallen mit unterschiedlicher Flugbahn ab.

- Voraussetzung: enges Körnungsband → daher am besten für homogenen Feinkompost geeignet
- Trennleistung: in mineralischen Produkten können bis ca. 85 % der Steine abgetrennt werden

Sortierung nach elastischen Eigenschaften: Ausnutzung von Härteunterschieden der Materialien		
Kaskaden-Hartstoff-Abscheider	Aufgabevorrichtung befördert Sortierstrom auf Prallrotoren, die elastische Materialien mitziehen und Hartstoffe abscheiden	Aufbereitung von Rohkompost zur Abtrennung harter, anorganischer Bestandteile

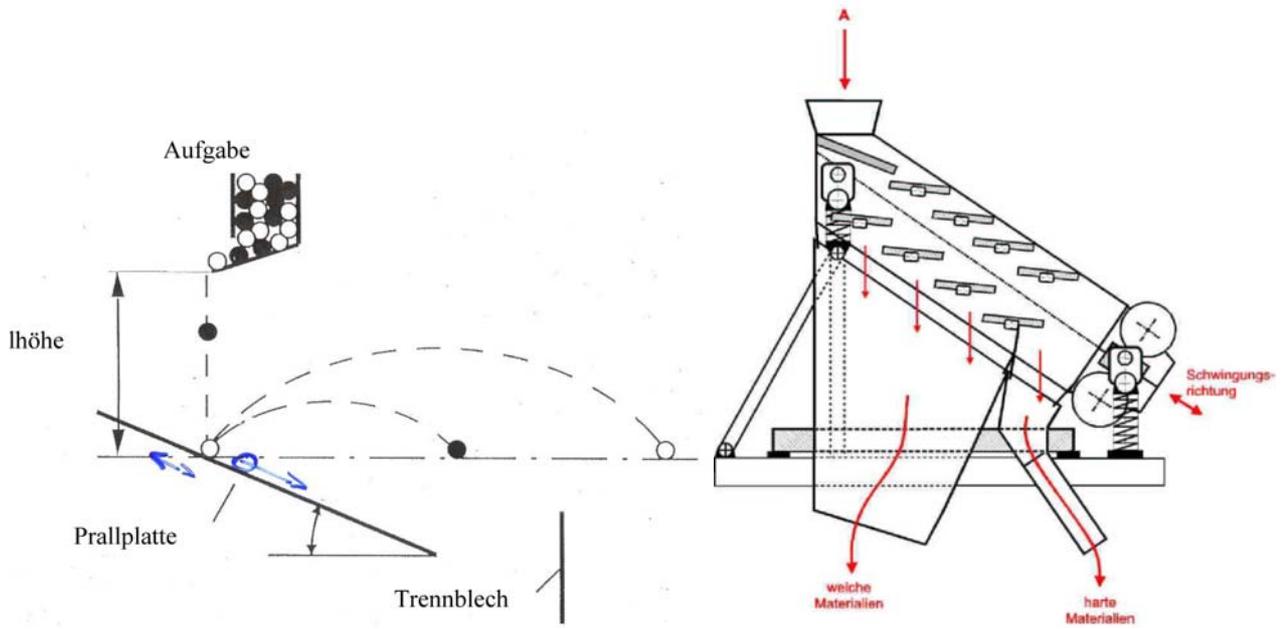


Abbildung 9-43: Prinzip von Hartstoff(Prall)abscheidern (Pretz, 2002)

## 9.6 Nachlagerung

Im zur Nachlagerung anfallenden Material ist ein großer Anteil des Stickstoffs in den Huminstofffraktionen stabilisiert. Mineralisierung (Abbau) und Humifizierung sowie die Ausbildung des Tonmineral-Humuskomplexes schreiten bei ausreichender Materialfeuchtigkeit langsam jedoch weiter voran (Binner, 2003a[PS246]). Hieraus ergibt sich jedenfalls die Notwendigkeit einer, wenn auch gedrosselten Sauerstoffversorgung. Da es sich im Nachlager in der Regel um gesiebte Komposte handelt, ist vor allem bei Schüttungen über 1,5 m durch den Eigendruck und das geringe Porenvolumen mit reduzierenden, anaeroben Zonen zu rechnen, welche sich negativ auf deren Qualität auswirken können (zB Denitrifizierung). Bei die Nachlagerung von Komposten in höheren Schüttungen ist daher auf einen hohen Ausreifungsgrad zu achten.

Vernässung und die Auswaschung von Nährstoffen durch Niederschläge ist jedenfalls zu vermeiden.

### 9.6.1 Wesentliche Funktionen

#### Hauptfunktionen der Nachlagerung sind:

- Eine der späteren Anwendung adäquate Lagerung eines pflanzenverträglichen und geruchsneutralen Endproduktes
- Bedarfsgerechte Umsetzung und Manipulation bis zur Materialabgabe (Vermarktung, Anwendung)
- Evtl. vollständiges Abklingen der Rottevorgänge
- Kompostvorhaltung zur Überbrückung saisonaler Absatzschwankungen

#### Wesentliche Maßnahmen:

- Schutz vor Vernässung
- Maßnahmen gegen Austrocknung
- Schutz vor Verunreinigung (bei der Lagerung besteht die Gefahr der Reinfektion durch verunreinigte Bearbeitungsmaschinen, bzw. durch Samenflug)
- Bewegung in regelmäßigen Intervallen oder Belüftung
- Abhängig vom Vermarktungskonzept Verladen als Massenware oder Konfektionierung in Säcken. Durch die Beigabe von unbelastetem Erdaushub, Sanden oder anderen Zuschlagsstoffen können definierte Kulturerden aus Kompost hergestellt werden.

### 9.6.2 Mögliche Emissionen

- Niederschlagsbedingtes Oberflächenwasser (bei ordnungsgemäßer Lagerung unter Dach oder mit Vliesabdeckung ist nicht mit Sickerwasser zu rechnen)
- Staubemissionen und Verfrachtung von Feinkompost

### 9.6.3 Technisch-bauliche Ausstattung

#### **Mindestanforderungen:**

- Lagerkapazität für zumindest ein Viertel der durchschnittlichen Jahresproduktionsmenge (auch externe Lagerflächen sind zulässig)
- Schutz vor Vernässung und Auswaschung
  - Je nach klimatischen bzw. jahreszeitlichen Bedingungen ist eine Abdeckung mit wasserableitendem Vlies oder eine Lagerung unter Dach vorzunehmen.

#### **Optionale Zusatzausstattung:**

- Basisabdichtung der Nachlagerflächen mit Ableitung und Zwischenspeicherung der Oberflächenwässer.

#### **Voraussetzungen für die Nachlagerung auf offenem Boden**

- Schutz vor Niederschlägen sämtlicher Komposte durch geeignete Überdachung oder eine atmungsaktive, wasserableitende Abdeckung (Kompostvlies)
  - bei einer Schütthöhe kleiner oder gleich 1,5 m ab einer Jahresniederschlagsmenge von 1.000 mm
  - ab einer Schütthöhe größer 1,5 m ab einer Jahresniederschlagsmenge von 1.300 mm
- Bei fehlender Abdeckung oder Überdachung gelten folgende Anforderungen an den Standort:
  - Das Gelände soll eine leichte Neigung aufweisen (ca. 3%) keine Mulde
  - Mindestabstand vom nächsten Oberflächengewässer: > 50 m unter Beachtung der hydrogeologischen Situation
  - Mindestabstand von nächster Quell/Brunnenfassung: > 50 m unter Beachtung der hydrogeologischen Situation
  - Nicht innerhalb des HQ-30 Bereiches von Vorflutern
  - Nicht auf Standorten mit leichten Böden (Tongehalt < 15%)
  - Nicht in Wasserschutzgebieten (§34 Abs.1 WRG)
  - Nicht in Grundwassersanierungsgebieten hinsichtlich Nitrat; bei einem geplanten Standort im Schongebiet gelten die jeweiligen Schongebietsverordnungen; nicht in Gebieten entsprechend einer wasserwirtschaftlichen Rahmenverfügung zum Schutze des Grundwasservorkommens gemäß § 54 (1, 2) WRG (BGBl. Nr. 215, in der Fassung BGBl. I Nr. 142/2000).
  - Nicht in Karstgebieten
  - Nicht auf Standorten mit Staunässegefahr
  - Nicht auf Standorten mit einem rechnerisch höchsten Grundwasserstand von weniger als 2 m unter Geländeoberkante
- Werden diese Voraussetzungen nicht erfüllt, muss die Nachlagerungsfläche entweder überdacht werden oder es ist eine flüssigkeitsdichte Basisabdichtung der Nachlagerungsfläche vorzunehmen, die eine Erfassung und geordnete Verwertung oder Beseitigung des Oberflächen- und Sickerwassers zulässt.

## 9.6.4 Anforderungen an die Betriebsführung

### Dauer der Nachlagerung

- Je nach Verwendungszweck, Ausreifungs- bzw. Stabilisierungsgrad, Absatz und Verwertung im Verhältnis zur Durchsatzleistung kann die Nachlagerung mit 0 Tagen bis zu einigen Monaten veranschlagt werden.
- Gesiebter Feinkompost sollte nur dann mit größeren Mietenquerschnitten (grundsätzlich maximal ca. 3 m) gelagert werden, wenn eine ausreichende Stabilisierung dauerhaft erreicht wurde. Je höher die Miete, desto häufiger muss das Material bewegt oder evtl. belüftet werden. Dabei sollte sich das Material nach dem Bewegen (Umsetzen) nicht mehr über 30 °C erwärmen. Andernfalls handelt es sich um Material, das sich in der Nachrotte befindet und den hierfür beschriebenen Anforderungen unterliegt.
- Eine Lagerung größeren Schütthöhen ist hinsichtlich der Qualitätserhaltung nicht geeignet. Sollten aufgrund der gegebenen Verwertungsmöglichkeiten lange Nachlagerzeiten erforderlich sein, ist es jedenfalls sinnvoll, die Feinabsiebung erst kurz vor der Nutzung vorzunehmen. Eine Siebung kann in diesem Fall zunächst nur von jener Menge vorgenommen werden, die für die Beprobung und Kompostbeurteilung im Rahmen der externen Güteüberwachung erforderlich ist (Mindest-Beurteilungsmenge gemäß Anlage 3, KompostVo).

### Bewegen der fertigen Komposte

- Da es sich auch bei „Fertig“komposten um aerob biologisch noch aktives Material handelt, muss bei Siebungen unter 15 mm und Schüttungshöhen über ca. 2,5 m durch regelmäßiges Umsetzen für eine ausreichende Sauerstoffversorgung gesorgt werden. Die Umsetzhäufigkeit richtet sich im wesentlichen nach der Restaktivität. Je nach Ausreifungsgrad ist ein Umsetzrhythmus von 3 – 4 Wochen ausreichend.

### Sonstige Anforderungen

- Vermeidung von Sekundärkontamination aus hygienischer Sicht (zB durch verunreinigtes Gerät, Prozesswasser aus dem Hauptrottebereich)
- Ordnungsgemäße Kennzeichnung der einzelnen Kompostchargen gemäß KompostVo für eine nachvollziehbare Zuordnung der Kompostdeklaration und -kennzeichnung

## 10 Anaerobe Vorbehandlung<sup>38</sup>

Neben der reinen aeroben Rotte besteht die Möglichkeit, frisches, in hohem Maße fäulnisfähiges Biomassematerial einer anaeroben Fermentation zuzuführen. Im Zuge dieses mehrstufig verlaufenden Prozesses werden auf physikalisch-chemischem und mikrobiologischem Wege Biopolymere (Kohlenhydrate, Eiweiße und Fette) unter Sauerstoffausschluss in hohem Maße in niedermolekulare, gasförmige Bestandteile, in das energetisch verwertbare Biogas, mit einem Gehalt von 50% bis 70% Methan, umgewandelt. Es handelt sich dabei um einen natürlichen Vorgang, wie er aus der Erd-, Sumpf- und Deponiegasbildung, aus der Stallmist- und Fäkalienfäulung im Bereich moderner Abwasserreinigungsanlagen bekannt ist. Der organische Abbau beträgt je nach Ausgangsmaterial und Reaktionszeit bis zu 90% bezogen auf oTM (abbaubare organische Trockenmasse), wobei aus einer Tonne Biomüll je nach Verfahren zwischen 200 und 300 m<sup>3</sup> Biogas mit einem Energieinhalt von 300 - 450 kWh zu gewinnen sind.

Bei vollständig vergärbaren Substanzen wie zB Glucose, bleibt im Gegensatz zur aeroben Kompostierung bei der anaeroben Fäulung der Energieinhalt der organischen Masse nahezu vollständig (90 - 95%) in Form gut verwertbaren Biogases erhalten. Bei der praktischen Vergärung fällt jedoch immer eine bestimmte Menge an Rückständen an, die einer geordneten Behandlung bzw. Verwertung zugeführt werden müssen.

Je nach Abfallzusammensetzung, Verfahrensweise und Betriebsbedingungen schwankt der Abbau organischen Materials im Zuge der Methangärung in technischen Anlagen zwischen etwa 60 - 90 % (Braun, 1998[A247]). Infolge reduktiver Bedingungen ergibt die Gärung hinsichtlich N- und S- Verbindungen zudem keine stabilen Endprodukte. Anaerob gebildeter Ammoniak und Schwefelwasserstoff müssen daher in einer aeroben Nachbehandlungsstufe oxidativ stabilisiert werden.

Praktische Biogasausbeuten liegen bei 0,1 bis 0,6 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> oTM, wobei der Methan Anteil im Biogas ca. 50 % beträgt.

Das vergorene organische Material (Gärsuspension) besteht je nach Anaerobverfahren zu etwa 80 bis 95 % aus Faulwasser (Restwasser). Der Feststoffanteil der Gärsuspension enthält unlösliche, unabgebaute, organische und anorganische Komponenten sowie die für den Anaerobprozess verantwortliche Bakterien-Mischkultur. Letztere fällt in einer Menge von etwa 5 - 10 %, bezogen auf die abgebaute oTM-Fracht, an. In allen Fällen, in denen das vergorene organische Material nicht direkt verwertet werden kann, muss dieses zunächst auf einen TM-Gehalt von mindestens 30 % entwässert werden. (Bei höheren TM-Anteilen zB mit Schneckenpressen und Kammerfilterpressen, bei geringen TM-Anteilen mit Zentrifugen oder Dekantern, wobei ein Abscheidegrad von Feststoffen je nach Methode von 30 - 70 % erreicht werden kann.) Nach Triebel (1985), zit. nach ÖWAV (2003) kann der Energieaufwand zur Feststoffabtrennung, insbesondere für Dekanter, je nach fluiddynamischen Eigenschaften der Gärsuspension mit 1 - 10 kWh m<sup>-3</sup> sehr hoch liegen.

---

<sup>38</sup> Zusammengefasst aus Raninger (1993) und Braun (2003)

## 10.1 Verfahrenstechnik

Der Prozess verläuft im wesentlichen in vier Abbaustufen:

- (A) Hydrolyse der Biomasse: Hochmolekulare Verbindungen werden durch Exoenzyme in eine wasserlösliche Form gebracht.
- (B) Versäuerung: fakultativ anaerobe Fermentation der Hydrolyseprodukte in niedrige Fett- und Kohlenwasserstoffe, Alkohole und Aldehyde.
- (C) Acetogene Phase: Bildung von Essigsäure als Ausgangsstoff für die Methanisierung.
- (D) Methanogene Phase: mikrobielle Methangasbildung im streng anaeroben Bereich, im mesophilen oder thermophilen Bereich bei 35° bzw. 55°C.

Aus der Sicht der Verfahrenstechnik lassen sich folgende Ablaufvarianten unterscheiden:

- Einstufige Verfahren, bei denen alle Prozesse in einem Fermenter ablaufen,
- zwei- und mehrstufige Verfahren, bei denen die einzelnen Prozessschritte getrennt voneinander unter jeweils optimierten Reaktions- und Gasproduktionsbedingungen, bei jedoch deutlich höherem apparativem Aufwand ablaufen.

Weiters unterscheidet man nach dem eingebrachten Material:

- Nassfermentation, bei der ähnlich der Klärschlammfäulung Materialien mit einem hohen Wasser- und einem geringen Trockensubstanzgehalt von max. 15% eingesetzt werden und welche im Anschluss wieder entwässert werden müssen,
- Trockenfermentation, bei der Material mit einem Trockensubstanzgehalt von bis zu 65% zur Verarbeitung gelangt. Die Problematik liegt hier in der Feststoffförderertechnik.

Bei den Reaktoren wird nach der Art der zeitlichen Beschickung in Chargen- und Durchlaufbetrieb unterschieden, wobei man bei den kontinuierlich beschickten Reaktoren wiederum zwischen Festbett- und vollständig durchmischte Fermenter differenziert.

Spezielle Verfahren sind die gemeinsame Fäulung von Klärschlamm und biogenen Abfällen bzw. die Vorschaltung einer aeroben Rottephase zum Zwecke der Hygienisierung.

## 10.2 Allgemeine maschinelle und bauliche Ausstattung

Zur generellen maschinellen und baulichen Ausstattung gehören ein überdachter und ablufterfasster Übernahmebereich mit Aufgabetrichter, eine manuelle Störstoffauslese, eine Vorzerkleinerung je nach Verfahren mittels Schneidwalzen-, Hammer-, Kaskaden-, Schneckenmühle oder Prallreißer, u. U. eine Abtrennung der org. Phase nach aeroben Rottetrommeln, die anaeroben Fermentatoren mit entsprechender Zu- und Abförderertechnik, die Entwässerung des hydrolisierten oder ausgefäulten Materials über Zentrifugen, Schnecken-, Filter- oder Siebbandpressen. Wesentlicher Bestandteil ist die Nachkompostierung der festen Phase in Form einer aeroben Rotte auf Rotteplatten, in Trommeln, Tunneln, Boxen oder in Mieten, wobei entsprechendes Strukturmaterial zuzugeben ist. Dieses kann nach Ausiebung des fertigen Kompostes zum Teil wieder eingesetzt werden. Gasseitig erfolgt eine Reinigung, insbesondere Entschwefelung über Raseneisenerz. Wegen der hohen Kosten wird von einer CO<sub>2</sub>-Abtrennung meist Abstand genommen. Die Gasverwertung aus dem Gasbehälter kann über Kraftwärmekopplung in einem Blockheizkraftwerk erfolgen, wobei das Gas in Gasmotoren verstromt wird. Die Abluft aus dem Übernahmebereich, den Betriebsgebäuden und aus der aeroben Nachrotte ist über Biofilter, Biowäscher, Ozonisierung udgl. zu reinigen.

## 10.3 Umweltverträglichkeit

Aus Gründen der minimierten Emissionsbelastung erweist sich die abgeschlossene Bauweise anaerober Systeme als besonders vorteilhaft. Die verbleibende Abluft wird über Abluftreinigungsanlagen gefahren. Aus der Verbrennung des Faulgases sind aufgrund des guten Ausbrandes und der hohen Temperaturen in der Flamme von 800° - 1000°C bei Biomüll erfahrungsgemäß ausgesprochen schadstoffarme und rückstandsfreie Emissionen zu erwarten. Aufgrund der hohen Energieausbeute ergibt sich eine positive

Energiebilanz, d.h., es besteht Energieautarkie mit der Möglichkeit der Energieabgabe. Trockenfermentationsverfahren werden nahezu abwasserfrei betrieben.

*Gärrückstände aus der anaeroben Behandlung* mit den *Code-Nr. 120 und 211* dürfen nur aus den in Anlage 1 Teil 1 und 2 aufgelisteten Materialien hergestellt werden, um gemäß KompostVo weiter zu Kompost verarbeitet zu werden.

Das Endprodukt Kompost hat hinsichtlich sämtlicher Parameter den Anforderungen der KompostVo zu entsprechen.

Die anaerobe Behandlung wirkt sich positiv auf die Struktur, das Schüttgewicht, die Wasserkapazität und den Salzgehalt aus. Verfahrensabhängig kann es speziell bei den Nassverfahren zusätzlich zu einer Schwerstoff- und Schwimmstoffabscheidung kommen, was den Störstoffanteil wie Schwermetallanteil positiv beeinflusst.

#### **10.4 Zusammenfassung**

Biogene Abfälle können infolge ihres meist hohen Gehaltes an fäulnisfähiger organischer Substanz einer anaeroben Behandlung zugeführt werden. Die Verfahrenstechnik erfordert bei einem geringen Platzbedarf einen entsprechend hohen technologischen Aufwand bei entsprechenden Investitionskosten, wobei jedoch aufgrund der Energieerlöse die tatsächlichen Betriebskosten in der Größenordnung der Kompostierung liegen. Die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen steigt mit der Größe des Einzugsgebietes, wobei nach dem derzeitigen Erfahrungsstand die Untergrenze des Abfallaufkommens bei 8.000 - 10.000 Jahrestonnen liegt. Aus der Sicht der Kompostherstellung sind die anaeroben Verfahren als Vorbehandlung im Zuge der Kompostaufbereitung zu sehen, wobei sich diese auf die Qualität des Endproduktes nach einer dem Stand der Technik entsprechenden Haupt- und Nachrottephase nicht nachteilig auswirkt.

## 11 Literaturliste

- Adani F., Ubbiali C., Tambone F., Scaglia B., Centemero M., Genevini P.L., 2003. Static and dynamic respirometric indexes. Italian research and studies. In H. Langenkamp and L. Marmo (eds). Biological treatment of biodegradable waste. Technical Aspects. Brüssel, 8-10 April, 126-144.; Adani F., Lozzi P., Genevini P.L., 2001. Determination of biological stability by oxygen uptake on municipal solid waste and derived products. *Compost Science & Utilization*, 9 (29, 163-178).
- Amann, A., 2003. Schriftliche Mitteilung
- Amlinger, F., 1993. Biotonne Wien, Theorie und Praxis; Magistratsabteilung 48 - Stadtreinigung und Fuhrpark (Hrsg.), Wien, S. 260
- Amlinger, F., 1996. Anforderungen an die Qualität von Kompost unter Berücksichtigung der Ausgangsmaterialien. In: Österr. Normungsinstitut (Hrsg.): Kompostgütesicherung in Österreich. S.67 - 93.
- Amlinger, F., Favoino, E., Pollak, M., Peyr, S., Centemero, M., Caima, V., 2004. Heavy Metals and Organic Compounds from Wastes Used as Organic Fertilisers. EU Commission, DG ENV. <http://europa.eu.int/comm/environment/waste/compost/index.htm>
- Amlinger, F., Peyr, S., 2001. Dokumentation zur Schwermetallverteilung in kompostierten Haushaltsabfällen vor dem Hintergrund der Grenzwerte in Anhang IIA der EU-Vo 2092/91 EWG über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel. Studie im Auftrag der Stadt Wien, Magistratsabteilung 48, Wien
- Amlinger, F., Peyr, S., 2003. Umweltrelevanz der dezentralen Kompostierung - klimarelevante Gasemissionen, flüssige Emissionen, Massenbilanz, Hygienisierungsleistung, vorläufiger Endbericht im Auftrag und finanziert von Amt der Wiener Landesregierung - MA 48, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung - RU3, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung - Abt. Umweltschutz, Amt der Steiermärkischen Landesregierung - FA 1c, Amt der Salzburger Landesregierung - Abt. 16/01 Umweltschutz, Amt der Tiroler Landesregierung - Abt. Umweltschutz und BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
- Amlinger, F., Peyr, S., Geszti, J., 2001. Compost management in Austria – quantities and qualities. Biowaste Conference, 15-17 May 2001, St. Pölten-Vienna, published in [www.biowaste.at](http://www.biowaste.at)
- Amon, B., Amon T., Boxberger, J. 1998. Untersuchung der Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft Österreichs zur Ermittlung der Reduktionspotenziale und Reduktionsmöglichkeiten; Forschungsprojekt Nr. L883/94 Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, 1998
- Amon, Th.; Amon, B.; Kryvoruchko, V.; Hopfner-Sixt, K.; Buga, Boxberger, J. ; Pötsch, E.; Zollitsch, W. ; Plank, J.; Mayer, K., 2003. Nutzung der Grünlandbiomasse, sowie anderer Feldkulturen für die Biogasproduktion. Vortragsmanuskript, Österreichische Wintertagung 2003, Aigen, Ennstal
- Amt d. Stmk. LReg., 1999. Leitlinien zur dezentralen Kompostierung in der Steiermark. Graz,
- Angerer, T., Häusler, G., Hanus-Ilmar, K., 1998. Abluftemissionen der MBA – Anlage Siggerwiesen. Berichte BE-138 des Österreichischen Umweltbundesamtes, Wien.
- Angerer, T., Reisenhofer, A., Hanus-Ilmar, K., 1999. Abluftemissionen der MBA – Pilotanlage Kufstein. Berichte BE-126 des Österreichischen Umweltbundesamtes, Wien.
- Anonym 1999. 9. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der physikalisch-chemischen oder biologischen Abfallbehandlung (AEV Abfallbehandlung)
- Anonym, 1993. Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall - Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen) vom 14.05.1993, Bundesrepublik Deutschland, BAnz. Nr. 99a vom 29.05.1993
- Arthur Andersen / DG Environment, 2001. Disposal and recycling routes for sewage sludge. [http://europa.eu.int/comm/environment/sludge/sludge\\_disposal.htm](http://europa.eu.int/comm/environment/sludge/sludge_disposal.htm)
- Bala, H., 2004. persönliche Mitteilung.
- Bala, H., Amlinger, F., Hartl., W., Erhart, E., Swoboda, M., Friewald, K., 2000. Qualitätssicherungs- und Marketingstrategien für Biokomposte. Projekt ARINCO Nr. 95AT06018, Endbericht Februar/2000. Institut für Land- Energie- und Umwelttechnik, Nußdorfer Lände 29-31, 1190 Wien
- Balderas Herrera, G. A., 1991. Untersuchungen zur Bildung niederer Karbonsäuren beim Rotteprozeß, Diplomarbeit, Technische Universität Wien (unveröffentlicht)
- Bartels, P., Kruse, H., 2002. Kompostierung, Messung und toxikologische Bewertung flüchtiger organischer Substanzen (VOC) in der Abluft von Kompostieranlagen. Heft 52 der Schriftenreihe des Instituts für Experimentelle Toxikologie, Universitätsklinikum Kiel.
- Bartsch, B. et al., 1997. Rationalisierung der Methodik zur Identifikation von Geruchsstoffen bei der biologischen Abfallbehandlung, in: Wiemer, K. und Kern, M. (Hrsg.), Bio- und Restabfallbehandlung biologisch - mechanisch -

- thermisch, Fachbuchreihe Abfall-Wirtschaft des Witzenhausen-Instituts für Abfall, Umwelt und Energie, M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen
- Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.) 1991. Vom Grüngut zum Kompost, Leitfaden für die Kompostierung von pflanzlichen Rückständen; München
- BGBI. 450/1994: Arbeit- und DienstnehmerInnenschutzgesetz AschG vom 17. Juni 1994
- BGK e.V., 2001. Hygiene Baumusterprüfsystem. Kompostierungsanlagen, Vergärungsanlagen. 2. ergänzte und überarbeitete Auflage. Köln
- BGK, o.J.. Kompost Anwendungsempfehlungen. [www.kompost.de](http://www.kompost.de)
- Bidlingmaier, W. 1995. Geruchsemissionen und Sickerwasserprobleme bei aeroben und anaeroben Behandlungstechniken. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. 1995. Verfahren und Stoffe in der Kreislaufwirtschaft. EF- Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin
- Bidlingmaier, W., Engesser, K.-H., Göttlich, U., 1996. Luftkeimbelastung der Müllwerker während der Einsammlung von Bioabfall bei 1- und 2-wöchigen Sammelsystemen. Forum Städtehygiene, 47:160-167
- Bidlingmaier, W., Grauenhorst, V., Müsken, J., Schlosser, M., 1997. Geruchsemissionen von Kompostanlagen. Dimensionierungswerte für offene und geschlossene Anlagen. Manuskripte zur Abfallwirtschaft. Hrsg. W. Bidlingmaier, Bauhaus Universität Weimar. Rhombos Verlag, Berlin
- Bidlingmaier, W., Müsken, J., 1997. Biotechnologische Verfahren zur Behandlung fester Abfallstoffe; in: Ottow, J. C. G., Bidlingmaier, W. (Hrsg.), Umweltbiotechnologie, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Binner, E. 2002. Kompostierung von biogenen Abfällen. Skriptum zum ÖWAV Kurs, Fachkraft Abfallwirtschaft. 22.-26.April 2002
- Binner, E. 2003. Biologische Behandlung, Kompostierung – Faulung, aerob - anaerob, Folien zur LV-Nr. 520.338. ABF, Boku, Wien
- Binner, E. 2003. Kompostierung von biogenen Abfällen, Vorlesungsunterlage zur LV-Nr. 520.338. ABF, Boku, Wien
- Binner, E., Lechner, P., Achtig, S., Diebold, W. 1993. Technische Kompostierungssysteme – Kurzbeschreibung. In Amlinger, F.: Handbuch der Kompostierung. Hrsg. L. Boltzmann-Institut f. biologischen Landbau und angewandte Ökologie, Wien, S.128-152.
- BIODEGMA. Biological Waste Composting BIODEGMA ® - Procedure, Description of components. <http://stud.sb.luth.se/sb/course/SBA007/literature/systems/biodegma/Descriptionofcomponents.pdf> (2003/07/03)
- BMLFUW, 2001. Bundesabfallwirtschaftsplan, Bundesabfallbericht 2001. BM f. Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien
- BMLFUW, 2002. Fachinformation zur Kompostverordnung (BGBl.II 292/2001). Leitfaden zum Herstellen, Inverkehrbringen, und zur Anwendung des Produktes Kompost gemäß Kompostverordnung. [Teil 1: für Komposthersteller, die nicht mehr als 150 m<sup>3</sup> Kompost mittel Direktabgabe in Verkehr bringen; Teil 2: für Komposthersteller, die mehr als 150 m<sup>3</sup> Kompost abgeben und ausschließlich Materialien der Anlage 1 Teil 1 („Biogene Abfälle“) sowie Zuschlagstoffe verarbeiten]. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien; <http://www.lebensministerium.at/umwelt/>
- BMLFUW, 2002. Richtlinie für die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien. [http://gpool.lfrz.at/gpoolexport/media/file/mba\\_richtlinie2.pdf](http://gpool.lfrz.at/gpoolexport/media/file/mba_richtlinie2.pdf)
- BMLFUW, 2005. Stand der Technik der Kompostierung, Richtlinie des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Böhm, R., 2003. What need for specific rules for composting of biowaste and catering waste. In: Langenkamp, H., Marmo, L.. Biological treatment of biodegradable waste – technical aspects. 8 – 10 April 2002, Brussels. European Commission, Joint Research Centre, EUR 20517 EN,45-63.
- Böhm, R., Martens, W., Bittighofer, M. 1998. Aktuelle Bewertung der Luftkeimbelastung in Abfallbehandlungsanlagen. Abfallwirtschaft, Neues aus Forschung und Praxis, M.I.C.Baeza-Verlag Witzenhausen.
- Both, R. et al., 1997. Biofiltergerüche und ihre Reichweite - eine Abstandsregelung für die Genehmigungspraxis, in: Biological Waste Gas Cleaning, Proceedings of an International Symposium in Maastricht, 28. - 29. April 1997, VDI-Verlag, Düsseldorf
- Braun, R., 1998. Anaerobtechnologie für die mechanisch - biologische Vorbehandlung von Restmüll und Klärschlamm. Schriftenreihe des BMUJF, Band 10
- Breitenfeldt, P., Martens, W., Philipp, W., Böhm, R. 1998. Human-/Veterinärhygiene der Bioabfallkompostierung, Teilbereich I „Substrathygienische Untersuchungen“. In: Förderschwerpunkt Bioabfallverwertung: Hygiene der Bioabfallkompostierung. Initiative zum Umweltschutz; Bd 9. Hrsg: Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, Zeller
- Britter, R.E., 1998. Recent research on the dispersion of hazardous materials. EU publication EUR 18198 EN (ISBN 92-828-3048-9)

- Clemens, J., Cuhls, C., 2003. Greenhouse Gas Emissions From Mechanical and biological Waste Treatment Of Municipal Waste. *Environmental Technology*, Vol. 24, pp745-754.
- Clemens, J., Cuhls, C., Bendick, D., Goldbach, H., Doedens, H., 1999. Emissionen von Treibhausgasen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. Verbundvorhaben mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen. Beiträge der Ergebnispräsentation, 7.-8. Sept. 1999; Hrsg.: Univ. Potsdam.
- Conrad, M., Kern, M., Wiemer, K. 1997. Vergleich von mikrobiologischen Emissionen von Bioabfall-, Restmülltonnen und DSD-Säcken. In: Wiemer, K., Kern, M., (HRSG.) 1997. Bio- und Restabfallbehandlung II, biologisch – mechanisch – thermisch, Fachbuchreihe Abfall-Wirtschaft des Witzenhausen-Instituts 271-303.
- Cuhls, C., 2001. Schadstoffbilanzierung und Emissionsminderung bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. Heft 114 der Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover.
- Czepiel, P. 1996. Measurement of N<sub>2</sub>O from Composted Organic Wastes. *Environmental Science and Technology*, 30, Seiten 2519-2525.
- Danneberg, G., Grünekle, E., Seitz, M., Hartung, J., Driesel, A. 1997. Microbial and endotoxin immissions in the neighbourhood of a compost plant. *Ann Agric Environ Med* 4: 169-174. Zit in: Kämpfer, P., Jureit, C., Albrecht, A., Neef, A. 2002. Immissions of Microorganisms from Composting Facilities. In: Insam, H., Riddech, N., Klammer, S. (Eds.) 2002. *Microbiology of Composting*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Diehl, K., Hofmann, R. 1996. Literaturstudie zu Hygieneproblemen von Kompostierungsanlagen unter Berücksichtigung der möglichen Gesundheitsgefahren in der Nähe lebender Anwohner. Umweltbundesamt, WaBoLu-Hefte 11/96
- Dobhoff, O., 2001. Biologische Agenzien und biologische Sicherheit. Vorlesungsunterlagen. Institut für angewandte Mikrobiologie, Universität für Bodenkultur
- EG, 1996. Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie), Amtsblatt Nr. L 257 vom 10/10/1996 S. 0026 – 0040
- Ehrig, H.J., 2003. Vorlesungsunterlagen, download am 27.6.2003 unter: [http://www.bauing.uni-wuppertal.de/siewawi/Umdrucke/Abfall/7\\_Biologische\\_Verfahren.pdf](http://www.bauing.uni-wuppertal.de/siewawi/Umdrucke/Abfall/7_Biologische_Verfahren.pdf)
- Emberger, J. 1993. *Kompostierung und Vergärung*; 1. Aufl.; Würzburg, 1993.
- FAL, 2002. Biogene VOC und Aerosole - Bedeutung der biogenen flüchtigen organischen Verbindungen für die Aerosolbildung (Bearbeiter: Spirig, C., Neftel, A.). Heft 42 der Schriftenreihe der FAL, Zürich-Reckenholz
- Fanta, D., Danneberg, G., Gerbl-Rieger, S., Thelen, R., Simon, R. 1999. Messungen zur Ausbreitung von luftgetragenen Mikroorganismen am Beispiel von fünf biologischen Abfallbehandlungsanlagen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Band 30, Stand von Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung, , 627-653. Zit. in: Reinhaller, F.F., Wüst, G., Haas, D., Marth, E. 2000. *Biologische Arbeitsstoffe in der Abfall- und Abwasserwirtschaft, Branchenkonzept im Auftrag der AUV*
- Fenske, J.D., Paulson, S.E., 1999. Human Breath Emissions of VOCs. *Journal Air and Waste Management Association* 49, pp 594-598.
- Firestone, M., Davidson, E., 1989. Microbiological basis of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soil. In: "Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere". Ed.: M. Andea & D. Schimel. Dahlem workshop report, John Wiley and Sons, New York. Cit. in: Hellmann, B., 1995. Freisetzung klimarelevanter Spurengase in Bereichen mit hoher Akkumulation von Biomassen. Oberschleißheim. Abschlußbericht der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (Osnabrück).
- Fischer, F., Mönkeberg, F., Hesse, D., 2002. Photooxidativer Abbau von Schadstoffen in einem multifunktionalen Photoreaktor. *Müll und Abfall*, Seiten 73 – 77, Heft 2, 2002
- Fischer, J.F., Beffa, T., Lyon, P.F., Aragno, M., 1998. *Aspergillus fumigatus* in windrow composting: effect of turning frequency. *Waste management and research*, 16, 320-329.
- Fischer, K., 1997. Fremdstoffabbau in der Luft, in: Ottow, J. C. G., Bidlingmaier, W. (Hrsg.), *Umweltbiotechnologie*, G. Fischer Verlag, Stuttgart
- Fischer, P., Jauch, M. 1988. *Kompostierung von Grünrückständen; Ergebnisse aus dem Entwicklungsauftrag "Ersatzprodukte für Torf durch Kompostierung pflanzlicher Materialien"*; Hrsg: Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München
- Fricke, K. 1988. *Grundlagen der Bioabfallkompostierung*; Verlag: Die Werkstatt – Göttingen. Zit. nach Roth, T., Fricke, K., Müller, W., Vogtmann, H. 1990. Menge und Qualität von Sickerwasser und dessen Aufbereitungsanlagen; In: Fricke, K., Turk, Th., Vogtmann, H. (Hrsg.), *Grundlagen der Kompostierung*, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik Berlin
- Fricke, K., Pertl, W., Mielke, C., Schridde, U., Vogtmann, H. 1990. Rottesteuerung und Qualitätssicherung; In: Fricke, K.; Turk, Th.; Vogtmann, H. (Hrsg.) 1990. *Grundlagen der Kompostierung*, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik Berlin

- Friedl, A., Pröll, F., Reitzig, R., 1996. Pellets zur biologischen Abluftreinigung - die Lösung vieler Probleme durch ein neuartiges Füllmaterial, in: Fortschritte bei der thermischen, katalytischen, sorptiven und biologischen Abgasreinigung, Tagung Mannheim im März 1996, VDI-Berichte 1241, VDI-Verlag, Düsseldorf
- Gerbl-Rieger, S., Fanta, D., Danneberg, G., Thelen, R., Simon, R. 1999. Keimemissionen aus biologischen Abfallbehandlungsanlagen, Ausbreitung luftgetragener Keime aus Kompostierungs- und Vergärungsanlagen. Hrsg.: Bayrisches Staatsministerium f. Landesentwicklung und Umweltfragen, München.
- Gieß, S. 1994. Mikrobiologisch-hygienische Untersuchungen zur Bioabfallkompostierung in Mieten und in Kleinkompostern; Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim
- Glathe, H., 1985. Biologie der Rotteprozesse bei der Kompostierung von Siedlungsabfällen. veröff. in: Kumpf, Maas, Straub: Handbuch Müll- und Abfallbeseitigung. Berlin
- Grabbe, K., Schuchardt, F., 1993. Grundlagen der Kompostierung. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (Hrsg.): Kompostierung und landwirtschaftliche Kompostverwertung. Arbeitspapier 191. Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, S.49-64
- Gronauer, A., Claassen, N., Ebertseder, T., Fischer, P., Gutser, R., Helm, M., Popp, L., Schön, H., 1997. Bioabfallkompostierung, Verfahren und Verwertung; Bayerisches Landesamt für Umweltschutz; Schriftenreihe Heft 139; München
- Gronauer, A., Helm, M., Schön, H. 1997. Verfahren und Konzepte der Bioabfallkompostierung, Vergleich - Bewertung - Empfehlungen; In: Gronauer, A., Claassen, N., Ebertseder, T., Fischer, P., Gutser, R., Helm, M., Popp, L., Schön, H. 1997. Bioabfallkompostierung - Verfahren und Verwertung; Schriftenreihe Heft 139 des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, München
- Grüner, C. 1995. Arbeitsschutz in Biomüll-Kompostierungsanlagen. In: Wiemer, K., Kern, M., (HRSG.) 1995. Biologische Abfallbehandlung II, Kompostierung – Anaerobtechnik – Kalte Vorbehandlung - Klärschlammverwertung, Fachbuchreihe Abfall-Wirtschaft des Witzenhausen-Instituts
- Haas D.U., Reinthaler, F.F., Wüst, G., Skofitsch, G., Degenkolb, T., Marth, E. 1999. Emission von Schimmelpilzen und xerophilen Pilzen im Bereich von Kompostieranlagen. Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft, Springer VDI-Verlag, 4/99; 115-120.
- Haas, U.D., Reinthaler, F.F., Wüst, G., Skofitsch, G., Groth, I., Degenkolb, T., Schuhmann, P., Marth, E. 1999. Emission of thermophilic Actinomycetes in composting facilities, their immediate surroundings, and in an urban area. Central European Journal of Public Health , No.2/Vol.7, 94-99. Zit. in: Reinthaler, F.F., Wüst, G., Haas, D., Marth, E. 2000. Biologische Arbeitsstoffe in der Abfall- und Abwasserwirtschaft, Branchenkonzept im Auftrag der AUVA
- Hahne, J., Brandes, M. 2002. Einsatz von Biofiltern zur Stallabluftbehandlung. Landtechnik (57), Heft Nr. 6/2002, Seiten 336 - 337
- Haider M. et al., 1994. Geruch. In: Umweltwissenschaftliche Grundlagen und Zielsetzungen im Rahmen des Nationalen Umweltplans für die Bereiche Klima, Luft, Geruch und Lärm. Österreichische Akademie der Wissenschaften – Kommission für Reinhaltung der Luft, Wien, 5.1f., zit bei Wimmer und Pürmayr, 2003
- Hao, X., Chang, C., Larney, F.J., Travis, G.R., 2001. Greenhouse Gas Emissions during Cattle Feedlot Manure. J. Environ. Qual., 30, Seiten 376-386.
- Hauer, W., 1999. Kontrolle der Restmengenziele von Abfällen an sonstigen Verpackungen für das Kalenderjahr 1998. Studie im Auftrag des BM f. Umwelt, Jugend und Familie
- Haug, R. T., 1980. Compost Engineering - Principles and Practise, Ann Arbour Science Publishers
- Hellebrand, H.J., Kalk, W.D., 2000. Emissionen bei der Stallmistkompostierung, Landtechnik, Heft 2/2000, Seiten 184/185.
- Hellebrandt, 1993. Grünlandökosysteme: Eine Diskussion zu Stoffströmen und Reststoffverwertung. Landtechnik, 48, Seiten 655-657.
- Hellemann, K., Hanke, R., Zuder, G. 1996. Verteilung und Wachstumsaktivität humanpathogener Erreger im Perkolat von Kompostanlagen, Studie im Auftrag des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung FA 1c
- Hellmann, B., 1995. Freisetzung klimarelevanter Spurengase in Bereichen mit hoher Akkumulation von Biomassen. Oberschleißheim. Abschlußbericht der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (Osnabrück).
- Herberhold, C., 1995. Der erkrankte Riechsinn, in: Kunst- und Ausstellungshalle der BR Deutschland GmbH (Hrsg.), Das Riechen - Von Nasen, Düften und Gestank, Schriftenreihe Forum, Band 5, Steidl Verlag, Göttingen
- HLfU, 1996. Emissionskataster Hessen – Landesweite Abschätzung der Emissionen aus biogenen und nicht gefaßten Quellen, Heft 230 der Hessischen Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden.
- Hupe, K., Heyer, K.-U., Stegmann R., o.J. Biologische Bioabfallverwertung: Kompostierung kontra Vergärung. Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner. Nartenstraße 4a, 21079 Hamburg, e-mail: stegmann@ifas-hamburg.de, internet: <http://www.ifas-hamburg.de>
- Hussong, D., Burge, W.D. and Enkiri, N.K., 1985. Occurrence, growth, and suppression of Salmonellae in composted sewage sludge. Appl. Environ. Microbiol., 50: 887-893.

- Idelmann, M., Schüler, C., Bruns, C., Marcinišcyn, E., Gottschalk, R., Walsow, W., Wolf, G.A. 1998. Phytohygiene der Bioabfallkompostierung. In: Förderschwerpunkt Bioabfallverwertung: Hygiene der Bioabfallkompostierung. Initiative zum Umweltschutz; Bd 9. Hrsg: Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, Zeller
- ITU GmbH und Müsken, J., 1998. Machbarkeitsstudie mit Umsetzungscharakter zur Neustrukturierung der Abluftbehandlung und Optimierung des Rotteprozesses des Kompostwerkes Kirchheim u.T., unveröffentlicht
- Jäger, E. 1993. Hygiene im Umfeld von Kompostierungsanlagen – Emissionen von Mikroorganismen. In: Wiemer, K., Kern, M., (HRSG.) 1993. Biologische Abfallbehandlung, Kompostierung – Anaerobtechnik – Kalte Vorbehandlung, Fachbuchreihe Abfall-Wirtschaft des Witzenhausen-Instituts.
- Jäger, E., Zeschmar-Lahl, B., 1993. Medizinische Aspekte der Geruchswirkung, in: Schriftenreihe des Institutes für Wasserversorgung, Abwasserbehandlung und Raumplanung (WAR) der TH Darmstadt, Band 68, Darmstadt
- Jäger, J. et al., 1995. Geruchs-Emissionen bei der Kompostierung in: Hösel, Schenkel, Schnurer (Hrsg.), Müllhandbuch, Kennzahl 5330, E. Schmidt Verlag, Berlin, Lieferung 1/95
- Jäger, J., 1979. Zur chemischen Ökologie der biologischen Abfallbeseitigung, Dissertation, Universität Heidelberg
- Jäger, W., Mayer, U., 1996. Untersuchungsvorhaben zur Erhebung und Bilanzierung organischer Einzelkomponenten im Roh- und Reingas von biologischen Abfallbehandlungsanlagen (Bioabfall- und Kompostierungsanlagen). Untersuchung im Auftrag des Landes Baden-Württemberg, 85 Seiten, Institut Dr. Jäger, Tübingen
- Jüstel, K., 1987. Verfahren zur Beseitigung von Gerüchen, in: Praxis der Bewertung und Minderung von Geruchsemissionen aus industriellen und gewerblichen Anlagen, VDI Bildungswerk, Düsseldorf
- Kämpfer, P., Jureit, C., Albrecht, A., Neef, A. 2002. Immissions of Microorganisms from Composting Facilities. In: Insam, H., Riddech, N., Klammer, S. (Eds.) 2002. Microbiology of Composting. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Kersting, A., 2004. Rechtsfragen zur erforderlichen Kapselung von Kompostierungsanlagen gemäß TA Luft 2002, Bio- und Restabfallbehandlung VIII, Fachbuchreihe Abfall-Wirtschaft des Witzenhausen-Instituts für Abfall, Umwelt und Energie, Witzenhausen, 669-674.
- Kjellberg Christensen, K., Carlsbæk, M., Norgaard, E., Haug Warberg, K., Venelampi, O., Brøgger, M. 2002. Supervision of the sanitary quality of composting in the Nordic countries, Evaluation of 16 full-scale facilities. TemaNord (in press), Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Kliche, R., Pöhle, H., Vissiennon, Th., Giese, I., Rottmayer, K., Schumann, M., Bergmann, K., Weinrich, M., 1996. Zusammenhang zwischen mikrobieller Besiedelung und Geruchsemissionen Abschlußbericht zum Verbundvorhaben "Neue Techniken der Kompostierung", BMBF Forschungsvorhaben FKZ 1460638D, Institut für Tierhygiene und Öffentliches Veterinärwesen Leipzig
- Knoflacher H. et al. 1990. Ammoniak-Emissionen in Österreich: Berechnung und Abschätzung sowie Regionalisierung auf Basis politischer Bezirke. Reports, Umweltbundesamt, Wien, 1990. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie (Endbericht) zit. nach: Amon, B., Amon T., Boxberger, J. 1998. Untersuchung der Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft Österreichs zur Ermittlung der Reduktionspotenziale und Reduktionsmöglichkeiten; Forschungsprojekt Nr. L883/94 Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, 1998
- Koller, M., Groll-Knapp, E., Haider, M., Kundi, M., Stidl, H., Popp, W., 1993. Zusammenhang zwischen Luftqualität und Raumklima und der Beurteilung der Wohnung durch gesundheitlich beeinträchtigte Bewohner. Zbl. Hyg. 194, 508-524
- Korner, M., 1990. Der Einfluß der Temperatur, der Feuchte und des kapillaren O<sub>2</sub>-Gehaltes auf die Abbaurate und die Humifikation während der Hochtemperaturphase einer Walmenkompostierung, sowie ein Vorschlag für eine zweidimensionale Modellierung. Diplomarbeit am Institut für Terrestrische Ökologie, ETH Zürich.
- Krill, H. und Menig, H., 1994. Vergleich biologischer und konventioneller Abgasreinigungssysteme, in: Biologische Abgasreinigung, Tagung Heidelberg im März 1994, VDI-Berichte 1104, VDI-Verlag, Düsseldorf
- Krzymien, M., 1999. An investigation of Odors and Volatile Organic Compounds Released during Composting. Journal of the Air and Waste Management Association, 49.
- Kuchta, K., 1994. Emissionsarten, Emissionsquellen und Ursachen ihrer Entstehung am Beispiel der Bioabfallkompostierung - Geruchsemissionen, in: Schriftenreihe des Institutes für Wasserversorgung, Abwasserbehandlung und Raumplanung (WAR) der TH Darmstadt, Band 81, Darmstadt
- Kühner, M. 2001. Kompostierung unter semipermeablen Planabdeckungen, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft; Bd. 78, Erich Schmidt, Bielefeld
- Kummer, V., Haumacher, R., Philipp, W., Böhm, R., 2003. Untersuchungen zum Abscheideverhalten von Abluftreinigungsanlagen im Hinblick auf Bioaerosole. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft (63), Heft 9, Seiten 368 – 372
- Kutzner, H.J., Jäger, TH. 1994. Kompostierung aus mikrobiologischer Sicht - ein Essay. Forum Städte-Hygiene 45 1994 November/Dezember. 375-385. Zit. in: Reinhaller, F.F., Wüst, G., Haas, D., Marth, E. 2000. Biologische Arbeitsstoffe in der Abfall- und Abwasserwirtschaft, Branchenkonzept im Auftrag der AUVA

- Lacey, J. 1991. Chapter 8 from „Frontiers in Mycology. Honorary and General Lectures from the 4th International Mycological Congress”, Regensburg 1990; D.L. Hawksworth, ed.; C.A.B. International. Zit. in: Amlinger, F. 1993. Biotonne Wien, Theorie und Praxis, HRSG.: Magistratsabteilung 48 – Stadtreinigung und Fuhrpark, Wien
- Lacey, J., Pepys, J., Cross, T., 1972. Actinomycete and fungus spores in air as respiratory allergens. In: Shapton, d., Board, R., Safety in microbiology, academic Press, London/New York, 151-184
- Lacey, J. 1981. The aerobiology of conidial fungi. In: Cole, G., Kennedy, B. (Hrsg.) Vol.1 Academic Press, New York, 123-128
- Laitinen, S., Nevalainen, a. Kotimaa, M., Liesivuori, J., Martikainen, P., 1992. Relationships between bacterial counts and endotoxin concentrations in the air of wastewater plants. Appl.Environ.Microbiol.58,3774-3776
- Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik 1995. Leitlinien des Arbeitsschutzes in Wertstoffsortierungsanlagen, Herausgabe Juli 1995
- LASI- LV 15, 1998. Leitlinien des Arbeitsschutzes in Abfallbehandlungsanlagen. Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), Hess. Ministerium für Frauen, Arbeit und Sozialordnung, Wiesbaden.
- LASI-LV 13, 1997. Leitlinien des Arbeitsschutzes in biologischen Abfallbehandlungsanlagen. Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), Hess. Ministerium für Frauen, Arbeit und Sozialordnung, Wiesbaden.
- Leinemann, B., 1998. Die Bildung klimarelevanter Spurengase während der Kompostierung in Abhängigkeit von der Bioprozeßführung und dem Inputmaterial. Dissertation an der Gemeinsamen Naturwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität Braunschweig.
- Malmberg, P., Rask-Andersen, a., Rosenhall, L. 1993. Exposure to microorganisms associated with allergic alveolitis and febrile reactions to mold dust in farmers. Chest. 103, 1202-1209
- Malmros, P., 1990. Problems with the working environment in solid waste treatment. The National Labour Inspection of Denmark, Report No. 10
- Martens, W., Böhm, R., 1997. Hygienische Relevanz von Keimemissionen bei Sammlung und Behandlung von Bioabfällen. In Wiemer, K., Kern, M. Bio- und Restabfallbehandlung II. Biologisch – mechanisch - thermisch. Abfallwirtschaft, Neues aus Forschung und Praxis. Baeza-Verlag, Witzenhausen, 271-303.
- Mayer, J., 1990. Geruchsstoffe bei der Heißrotte von Hausmüll. Dissertation an der Fakultät für Chemie und Pharmazie der Universität Tübingen.
- Microfog, 2004. <http://www.mikrofog.de/mikrofog.htm> 2004-04-14
- Millner, P.D., Powers, K.E., Enkiri, N.K. and Burge, W.D., 1987. Microbially mediated growth suppression and death of Salmonella in composted sewage sludge. Microb. Ecol., 14: 255-265. zit. nach Kjellberg Christensen, K., Carlsbæk, M., Norgaard, E., Haug Warberg, K., Venelampi, O., Brøgger, M. 2002. Supervision of the sanitary quality of composting in the Nordic countries - Evaluation of 16 full-scale facilities, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2002 (in press)
- Missel, T., Hartung, J., Schappler-Scheele, B., 1998. Keimbelastung an Arbeitsplätzen von Biokompostieranlagen. (Hrsg.). DVG Fachtagung "Gesundheitliche Risiken durch Keimemissionen bei Einsammeln, Transport und Verarbeitung häuslicher Abfälle", DVG, Giessen, 75-103. Zit. in: Reinhaller, F.F., Wüst, G., Haas, D., Marth, E. 2000. Biologische Arbeitsstoffe in der Abfall- und Abwasserwirtschaft, Branchenkonzept im Auftrag der AUYA
- Morey, P., Otten, J., Burge, H., Chatigny, M., Feeley, J., Laforce, F., Peterson, K. 1986. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Committee on Bioaerosols. Airborne viable microorganisms in office environments: sampling protocol and analytical procedures (Draft report). Appl.Ind.Hyg. 1, R19-R23
- Mostbauer, P., et al. 1998. Grundlagen für eine technische Anleitung zur Mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Abfällen. UBA Reports R-151, Umweltbundesamt, Wien
- Müller, W. und Fricke, K., 1993. Mechanisch-biologische Restmüllbehandlung unter Berücksichtigung der Aerob - und Anaerobtechnik. In: Integrierte Abfallwirtschaft im ländlichen Raum. Fricke, K.; Thome-Kozmiensky, K.J. und Neumüller, G. (Hrsg.), EFVerlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin
- Müsken, J., 1997. Betriebserfahrungen mit Biofiltern in Kompostwerken für Bioabfall, Literaturstudie und Umfrage in Betriebsanlagen, Stuttgart (unveröffentlicht)
- Müsken, J., 2003. Messgenauigkeit bei der Olfaktometrie, Müsken und Partner, Beratende Ingenieure für Abfallwirtschaft, Stuttgart
- Niederösterreichische Umweltschutzanstalt 1994. schriftliche Mitteilung
- ÖKL, 1993. ÖKL-Baumerkblatt 24a, Technische Richtlinien für die Errichtung einer Düngeraufbereitungsplatte für die bäuerliche Kompostierung.1993
- Ottow, J., Bidlingmaier, W., 1997. Umweltbiotechnologie der Umwelt. Gustaf Fischer Verlag, Stuttgart, 174 S.
- Oude Luttighuis, H. H. F., 1997. A new Generation (of) Packing Material for Biofilters, in: Biological Waste Gas Cleaning, Proceedings of an International Symposium in Maastricht, 28. - 29. April 1997, VDI-Verlag, Düsseldorf

- ÖWAV, 2004. Anaerobe Abfallbehandlung. Regeblattentwurf, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien
- Paduch, M., 1993. Interpretationshilfen für die Olfaktometrie, VDI-Berichte 1059, VDI-Verlag, Düsseldorf
- Peterson, M.K., Johnson, D.L., Pleus, R.C., 2000. Characterization of Emissions from two Yard-Waste Composting Facilities. Conference: Odors and VOC Emissions 2000, Hyatt Regency Cincinnati, Ohio (USA), Water Environment Federation.
- Pils, A. 1997. KMSW, Kompostmietensickerwasser, Untersuchung der Zusammensetzung des Sickerwassers aus Küchen- und Bioabfällen, Bericht; Projekt der Oö. Landesregierung Unterabteilung Abfallwirtschaft, Gruppe: Bodenschutz und Biologische Abfallbehandlung
- Pöhle, H., 1994. Geruchsstoffemissionen bei der Kompostierung von Bioabfall, Dissertation, Universität Leipzig
- Prasad, M., van der Werf, P., Brinkmann, A., 2004. Bioaerosols and Composting – A Literature Evaluation, Draft Report. Cré Composting Association of Ireland, Dublin
- Pretz, Th., 2002. Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe, RWTH Aachen; Vorlesungsunterlagen
- Raffenbeul, R., 1998. Nichtthermische Plasmaanlagen zur Luftreinigung in der Abfallwirtschaft. Müll und Abfall, Seiten 38 – 44, Heft 1, 1998
- Rafson, H.J., 1998. Odour and VOC Control Handbook. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, New York.
- Raninger, B., Lorbeer, K., Neff, R., Melles, M., 1999. Bevorzugte Verwertungswege für biogene Abfälle in Österreich. Studie i.A. d. BM f. Umwelt, Jugend und Familie, Wien, 220 S.
- Ranson, C. von, 1989. Beziehung zwischen Struktur und Geruch bei gesättigten und ungesättigten Aldehyden, Dissertation, Technische Universität München
- Reinhold, J., 2003. Bericht zur Neubewertung von Kompostqualitäten. Studie für die Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln
- Reinthalder, F., Marth, E., Feenstra, O., Pridnig, I., Köck, M., Semmelrock, R., Schlacher, R., Enayat, U., Eibel, U., Friedl, H. 1997. Technische Großkompostierungsanlagen – anlagen- und anrainerbezogene Luftkeimmessung. In: Waste Magazin Juli 2 1997
- Reinthalder, F.F., Haas, D.U., Feierl, G., Schlacher, R., Pichler-Semmelrock, F.P., Köck, M., Wüst, G., Feenstra, O., Marth, E. 1999. Comparative investigations of airborne culturable microorganisms in selected waste treatment facilities and in neighbouring areas. Zbl. Hyg. Umweltmed. 202, 1-17.
- Reinthalder, F.F., Wüst, G., Haas, D., Feierl, G., Ruckenbauer, G., Marth, E., 2004. Simple emission-reducing measures in an open biological waste treatment plant. Aerobiologica 1-6, 2004, Kluwer Academic Publishers
- Reinthalder, F.F., Wüst, G., Haas, D., Marth, E. 2000. Biologische Arbeitsstoffe in der Abfall- und Abwasserwirtschaft, Branchenkonzept im Auftrag der AUVA
- Reiser, M. et al., 1997. Der Biomembranreaktor - Vom Labor zur industriellen Anwendung, in: Biological Waste Gas Cleaning, Proceedings of an International Symposium in Maastricht, 28. - 29. April 1997, VDI-Verlag, Düsseldorf
- Reloe, H., Schuchardt, F., 1993. Kompostierungstechnik und -verfahren. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (Hrsg.): Kompostierung und landwirtschaftliche Kompostverwertung. Arbeitspapier 191. Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, S.171-200
- Rheinhardt, T., Dach, J., Schwing, E., 1994. Grundlagen des Emissionspotenzials der biologischen-mechanischen Behandlung von Restmüll und der anschließenden Deponierung. In: Tagungsband "Umweltbeeinflussung durch biologische Abfallbehandlungsverfahren", 42. Darmstädter Seminar Abfalltechnik in Berlin.
- Rieß, K.-W., Schramm, K.-W., Klages-Haberker, S., 1993. Der Einfluss der Inputmaterialien auf die Kompostqualität. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (Hrsg.): Kompostierung und landwirtschaftliche Kompostverwertung. Arbeitspapier 191. Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, p86-108
- Ritter, M.; 2000. Bestandsaufnahme der Emissionen an Treibhausgasen in Österreich von 1990 bis 1999; Berichterstattung gemäß Entscheidung des Rates 1999/296/EG; Interne Berichte, UBA Wien, Dezember 2000
- Roth, T. 1991. Sickerwasser aus der Bioabfallkompostierung - Möglichkeiten der Behandlung und Entsorgung in einem dezentralen Anlagensystem; Univ., Diss., Kassel
- Roth, T., Fricke, K., Müller, W., Vogtmann, H. 1990. Menge und Qualität von Sickerwasser und dessen Aufbereitungsanlagen; In: Fricke, K., Turk, Th., Vogtmann, H. (Hrsg.), Grundlagen der Kompostierung, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik Berlin
- Rüden, H., Jager, E., Zeschmar-Lahl, B. 1994. Hygienische Aspekte der Bioabfallkompostierung aus humanmedizinischer Sicht. In: Böhm, R. (Hrsg.). 5. Hohenheimer Seminar - Nachweis und Bewertung von Keimemissionen bei der Entsorgung von kommunalen Abfällen sowie spezielle Hygieneprobleme der Bioabfallkompostierung, Dt. Veterinärmed. Ges. Gießen, 311-327
- Rudolph, J., 1996. Untersuchungen von geruchsmindernden Lösungen bei der biologischen Abfallbehandlung, Fachvereinigung Bayerischer Komposthersteller e.V. (Hrsg.), Martinsried

- Rüprich, A., 1990. Rotteführung und Mikroorganismen, Studienreihe Abfall Now, Band 5, Verlag Abfall Now, Stuttgart
- Rylander, R. 1986. Lung diseases caused by organic dust in the farm environment. *Am.J.Ind.Med.* 10, 221-227
- Ryser, C., 1993. Biologische Abluftreinigung in Kompostierungsanlagen, Diplomarbeit, Technische Hochschule Darmstadt (unveröffentlicht)
- Sabo, F. et al., 1997. Neue Betriebserfahrungen und Überwachungsmöglichkeiten von biologischen Abluftreinigungsverfahren, in: *Biological Waste Gas Cleaning, Proceedings of an International Symposium in Maastricht*, 28. - 29. April 1997, VDI-Verlag, Düsseldorf
- Schappler Scheele, B., 1997. Arbeitsschutz in Kompostierungsanlagen aus gewerbeärztlicher Sicht – Untersuchungsergebnisse aus 40 Kompostierungsanlagen In: Wiemer, K., Kern, M., (HRSG.) 1997. Bio- und Restabfallbehandlung, biologisch – mechanisch – thermisch, Fachbuchreihe Abfall-Wirtschaft des Witzenhausen-Instituts
- Schartel, T., Benckiser, G., Ottow, C.J.G., 1997. Lachgas- (N<sub>2</sub>O-) Quantifizierung während der Mineralisations- und Stabilisierungsphase organischer Abfälle in Kompostierungsboxen und Kompostmieten. In: *Mitt. d. Dt. Bodenkundl. Gesellschaft Band 83*, 367 - 370
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., Blume, H.P., Brümmner, G., Hartge, K.H., Schwertmann, U., 1998. Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schießl, K., 1995. N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der offenen Mietenkompostierung. Diplomarbeit in der Abteilung Agrarökologie der Universität Bayreuth.
- Schildknecht, H. et al., 1977. Untersuchungen zur Geruchsentwicklung und Stoffwechselchemie bei der Kompostierung, Forschungsbericht, Universität Heidelberg
- Schildknecht, H., Jäger, J., 1979. Zur Chemischen Ökologie der Biologischen Abfallbeseitigung. Forschungsbericht des Umweltforschungsplans des BMI (Abfallwirtschaft), Organisch-Chemisches Institut der Universität Heidelberg.
- Schilling B., 2003. Emissionsmessungen von Bioaerosolen aus Biofiltern. Kolloquium „Biologische Abgasreinigung“ am 8. und 9.10.2003 in Leipzig, veröff. in VDI-Berichte Nr. 1777, Seiten 103-112, VDI Verlag Düsseldorf, 2003
- Schnabel, K.-O., 1982. Zusammenhänge zwischen Struktur und Geruch bei Verbindungen aus verschiedenen Stoffklassen, Dissertation, Technische Universität München
- Sihler, a., Clauß, D., Grossi, G., Fischer, K. 1996. Untersuchung organischer Abfälle auf organische Schadstoffe und Charakterisierung anhand eines Handbuchs, Universität Stuttgart, Arbeitsbereich Siedlungsabfall. In: Stegmann, R. 1996. Neue Techniken der Kompostierung, Kompostanwendung, Hygiene, Schadstoffabbau, Vermarktung, Abluftbehandlung, Dokumentation des 2. BMBF-Statusseminars „Neue Techniken zur Kompostierung“, Hamburg, 6.-8. November 1996
- Sihler, A., Tabasaran, O., 1996. Analysenübersicht von Komposten und deren Ausgangsmaterialien unterschiedlicher Herkunft. BMBF Verbundvorhaben „Neue Techniken der Kompostierung“ – Kompendium. Ed: Umweltbundesamt, Berlin.
- Smet, E., v. Langenhove, H., De Bo, I., 1999. The Emission of Volatile Compounds during the aerobic and the combined anaerobic/aerobic Composting of Biowaste. *Atmospheric Environment* 33 (8), pp 1295-1303.
- Sporenberg, F. et al., 1996. Eine Alternative zur Geruchseseitigung in der Dampfphase für Kläranlagen, Kompostierung und Kompostierungsanlagen, in: Fortschritte bei der thermischen, katalytischen, sorptiven und biologischen Abgasreinigung, Tagung Mannheim im März 1996, VDI-Berichte 1241, VDI-Verlag, Düsseldorf
- Stalder, K., 1993. Hygiene am Arbeitsplatz. In: Wiemer, K., Kern, M., (HRSG.) 1993. Biologische Abfallbehandlung, Kompostierung – Anaerobtechnik – Kalte Vorbehandlung, Fachbuchreihe Abfall-Wirtschaft des Witzenhausen-Instituts.
- Stalder, K., 1994. Infektions- und Allergisierungsmöglichkeiten durch Keimemissionen aus kommunalen Abfällen, *Forum Städte-Hygiene* 45, 345-350
- Stock, H.D., Alberti, J., Reupert, R.R., Hoffmann-Nogai, C., Oberdörfer, M., Delschen, T. 2002. Umweltrelevante Schadstoffe in Klärschlamm, Dünger und Kompost in Nordrhein-Westfalen, Vorkommen, Eigenschaften und Verhalten; Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen. *Compost quality data: personal communication with Hoffmann-Nogai, C.* 2002
- Strauch, D. 1964. Veterinärhygienische Untersuchungen bei der Verwertung fester und flüssiger Siedlungsabfälle. Schriftenreihe aus dem Gebiet des öffentlichen Gesundheitswesens 18, Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- Stredwick, W.A., 2001. Ammonia and Volatile Organic Compounds (VOC) Emissions from a Greenwaste Composting Operation. Source Test Report 01-171, South Coast Air Quality Management District (USA)
- Szlezak, E., 2001. The dependence of biowaste management on the settlement structure of villages and towns – the example of Lower Austria. In: *Biowaste Conference*, 15-17 May 2001, St. Pölten-Vienna, published in [www.biowaste.at](http://www.biowaste.at)
- Thomé-Kozmiensky, K.J., 1992. Materialrecycling in der Abfallaufbereitung. ef-Verlag, Berlin. <http://www.gbu-biogas.de/bgs/av/AV-Aufbertech.html>

- Tollknäpper, K., 1996 Untersuchungen zum Rotteverlauf bei der Bioabfallkompostierung mit unterschiedlicher Bioabfallzugabe. Diplomarbeit in der Abteilung Agrarökologie der Universität Bayreuth.
- TRBA 211, 2002. Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe, Biologische Abfallbehandlungsanlagen: Schutzmaßnahmen, Bundesarbeitsblatt 10/2002
- TRGS 907 – Verzeichnis Sensibilisierender Stoffe. Ausgabe Oktober 2002; [http://www.baua.de/prax/ags/trgs\\_907.pdf](http://www.baua.de/prax/ags/trgs_907.pdf)
- Trimborn, M., Goldbach, H., Clemens, J., Cuhls, C., Breeger, A., 2003. Reduktion von klimawirksamen Spurengasen in der Abluft von Biofiltern auf Bioabfallbehandlungsanlagen. Band 14 der Bonner Agrikulturchemischen Reihe, Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben AZ.: 15052 der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (Osnabrück).
- Van den Bogart, H., Van den Ende, G., Van Loov, P., Van Griensven, L. 1993. Mushroom worker's lung: serologic reactions to thermophile actinomycetes present in the air of compost tunnels. *Mycopathologia* 122, 21-28
- van Durme, G., Mc Namara, B., Mc Guiley, C., 1992. Characterization and Treatment of Composting emissions at Hampton Roads Sanitation District. In: 63rd Annual Water Pollution Control Federation Conference, Water Environmental Federation, Washington D.C.
- VDI 2003. VDI Richtlinie 3475 Blatt 1, Emissionsminderung - Biologische Abfallbehandlungsanlagen – Kompostierung und Vergärung, Anlagenkapazität mehr als ca. 6.000 Mg/a
- VDI 2003. VDI Richtlinie 3475 Blatt 2 (Entwurf), Emissionsminderung - Biologische Abfallbehandlungsanlagen – Kompostierung und (Co-)Vergärung, Anlagenkapazität bis ca. 6.000 Mg/a
- VDI, 1996. Biologische Abluftreinigung - Biowäscher und Rieselbettreaktoren, VDI-Richtlinie 3478
- VDI, 2002. Biologische Abgasreinigung - Biofilter, VDI-Richtlinie 3477 (Entwurf)
- Wallmann, R., Cuhls, C., Clemens, J., Scheelhaase, T., Hake, J., 2003. Offene Nachrotte bei MBA gemäß §16 der 30. BImSchV. Müll und Abfall, Heft 6/2003, Seiten 276-281.
- Wedel, A., 1997. Bedeutung flüchtiger organischer Verbindungen aus landwirtschaftlich genutzten Pflanzen für die Chemie der Atmosphäre, Bericht 3465 des Forschungszentrums Jülich.
- Weinrich, M., Kliche, R., Pöhle, H., Vissienon Th. 1996. Untersuchungen zur Pilzbelastung bei der Bioabfallsammlung. DVG Schriften, Tagungsband 6. Hohenheimer Seminar, 99-111.
- Weppen, P., Willert, A., Gudladt, U., Scheffel, G., Korten, R., Jürgens, M., 1998. Minimierung von gasförmigen und flüssigen Emissionen bei der Kompostierung organischer Abfallstoffe durch prozeßtechnische Maßnahmen. Forschungsstelle für Ökotechnologie der Universität Kiel, Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben AZ.: 08781 der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (Osnabrück).
- Wheeler, P.A., Stewart, I., Dumitrean, P., Donocan, B., 2001. Health effects of composting, a study of three compost sites and review of past data published by Environment Agency, Bristol, BS32 4UD. 110 S.
- Wilkens, K., 1994. Volatile Organic Compounds from Household Waste. *Chemosphere* 29 (1), pp 1427-1434.
- Williams, T.O., Miller, F.C., 1994. Composting Facility Odor Control using Biofilters. In: H.A.J. Hoiting & H.M. Keener (eds.) *Science and Engineering of Composting, Design, Environmental, Microbial and Utilization Aspects*, pp 262-281. The Ohio State University, Wooster, Ohio
- Wimmer J., Pürmayr R., 2003. Österreichische Anforderungen an den Immissionsschutz. VDI-Umweltforum: Biologische Abgasreinigung 2003, Leipzig, 8./9.10.2003, sowie Foliensammlung der Autoren zu diesem Vortrag
- Winkler, A. 1990. Sickerwasseruntersuchung - Endbericht über das erste Untersuchungsjahr; Projekt der NÖ Landesregierung in Zusammenarbeit mit der Universität für Bodenkultur und der NÖ Umweltschutzanstalt
- Wüst, G. 2002. Biologische Arbeitsstoffe in der Abfallwirtschaft – Kompostieranlagen, Beitrag zum ÖWAV-Kurs „Biologische Abfallbehandlungsanlagen – Kompostierung/Mechanisch-biologische Abfallbehandlung/Anaerobverfahren lt. ÖWAV-Regelblatt 507 Fachkraft Abfallwirtschaft, April 2002 Kammern
- Wüst, G., Reinthaler, F.F., Haas, D.U., Marth, E. 1999. Vergleichende Untersuchungen luftgetragener, kultivierbarer Mikroorganismen an ausgewählten Standorten in der Abfallwirtschaft, der Nutztierhaltung und im Anwohnerbereich. In: Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene: Stand von Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung, Hrsg.: Th. Eikmann und R. Hofmann, Tagung 30. August bis 1. September 1999, Langen, Band 30, 703-711. Zit. in: Reinthaler, F.F., Wüst, G., Haas, D., Marth, E. 2000. Biologische Arbeitsstoffe in der Abfall- und Abwasserwirtschaft, Branchenkonzept im Auftrag der AUVA
- Zachäus, D., Laude, I. 1997. Sorptionsverhalten von Prozesswässern aus der biologischen Abfallbehandlung; In: *Abfallwirtschaftsjournal*, 1-2/1997
- Zeschmar-Lahl, B., Jager, E., Rüden, H., 1994. Die Hygieneproblematik in der Abfallwirtschaft. In: *EP Entsorgungspraxis* 1-2 94
- Zethner G., Götz B., Amlinger F. 2001. Qualität von Komposten aus der getrennten Sammlung (Quality of Austrian Compost from Divided Waste Collection), Monographien, Band 133, Umweltbundesamt, Wien



## 12 Abkürzungen

%i.d.FM	Prozent in der Frischmasse
µg	Mikrogramm (10 <sup>-6</sup> g)
a; a <sup>-1</sup>	Jahr; pro Jahr
AAEV	Allgemeine Abwasser Emissionsverordnung
AAV	Allgemeine ArbeitnehmerschutzVo
Abs.	Absatz
AOX	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen
ASchG	ArbeitnehmerInnenschutzgesetz
AStV	Arbeitsstättenverordnung
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BAWP	Bundesabfallwirtschaftsplan
BGBl.	Bundesgesetzblatt
BGK	Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. Deutschland
BioStoffV	Biostoffverordnung, Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen, Deutschland
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BSB <sub>5</sub>	Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen; Summenparameter bei der Qualifizierung von Abwasser
BSE	Bovine Spongiforme Enzephalopathie (Rinderwahnsinn)
C	Kohlenstoff
C/N	Verhältnis der Masse Kohlenstoff zu Stickstoff in einem Substrat
CaO	Kalziumoxid
Cd	Cadmium
CH <sub>4</sub>	Methan
CMC	Controlled Microbial Composting
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
Cr	Chrom
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf; Summenparameter bei der Qualifizierung von Abwasser
Cu	Kupfer
d; d <sup>-1</sup>	Tag; pro Tag
DDE	Dichlorodiphenyldichloroethylen
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
EEA	Exogen Allergische Alveolitis
EM	Effective Microorganisms
EU	Endotoxin Units
EU	Europäische Union
EW; EW <sup>-1</sup>	Einwohner; pro Einwohner bzw. Kopf
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe
FID	Flamen-Ionisations-Detektor
FKE	Fermentierter Kräuter-Extrakt
FM	Frischmasse
g	Gramm
GC-FID	Gas Chromatographie-Flamen-Ionisations-Detektor
GC-MS	Gas Chromatographie-Massen-Spektrometrie
GE	Geruchseinheit (1 GE entspricht der Geruchsschwelle; vgl. "Geruchszahl")
GewO	Gewerbeordnung
ggf.	gegebenenfalls
GIR	Geruchsimmissionsrichtlinien
GW	Grenzwert
GWP	global warming potenzial
h	Stunde
H <sub>2</sub> O	Wasser
H <sub>2</sub> S	Schwefelwasserstoff
ha	Hektar

HCH	Kohlenwasserstoffe
Hg	Quecksilber
HPLC	High Pressure Liquid Chromatography
HR	Hauptrotte
i.d.R.	In der Regel
idgF	in der geltenden Fassung
IG-L	Immissionsschutzgesetz-Luft
IRAS	immissionsreduzierte Anlagensteuerung
I-TEQ	Internationale Toxizitäts-Äquivalente als Maß der Toxizität von PCDD/F
IW	Immissionswert; im Wesentlichen
k.A.	keine Angabe
KBE	Koloniebildende Einheit
KGVÖ	Österreichischer Kompost Güte Verband
kJ	Kilojoule
kt	Kilotonnen
KW	Kohlenwasserstoffe
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (BRD)
LAS	Lineare Alkylbenzolsulfonate
LASI	Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik
LCKW	Leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe
LHKW	Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
LSK	Lebenssporenkonzentration
LUCF	Land-Use Change and Forestry = nicht klimarelevanter Teil der CO <sub>2</sub> -Emissionen
LV	LASI Veröffentlichung
% (m/m)	Masse-Prozent
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MBA	Mechanisch-biologische (Rest-)Abfallbehandlungsanlage
MEA	Malzextrakt-Agar
mg	Milligramm (10 <sup>-3</sup> g)
Mg	Magnesium
MgO	Magnesiumoxid
min	Minute
MKS	Maul und Klauenseuche
MMI	mucous membrane irritation (Schleimhautirritation)
MS	Mitgliedstaaten der Europäischen Union
MS/cm	Milli Siemens pro cm; Einheit der elektrischen Leitfähigkeit
MVOC	Microbial Volatile Organic Compounds
MW	MegaWatt; Mittelwert
N	Stickstoff
N <sub>2</sub> O	Di-Stickstoffoxid; Lachgas
NAWARO	Nachwachsende Rohstoffe
ne NE	Nicht Eisen (Metalle)
ng	Nanogramm (10 <sup>-9</sup> g)
NH <sub>3</sub>	Ammoniak; farbloses, stechend riechendes Gas
NH <sub>4</sub>	Ammonium
Ni	Nickel
Nm <sup>3</sup>	Norm-Kubikmeter (Gasvolumen unter Normalbedingungen: 273 K, 1013 hPa = 0 °C, 1013 mbar)
NMVOG	Non-methane (nicht Methan) VOC
NO	Stickstoffmonoxid
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
NR	Nachrotte
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
ODTS	Organic Dust Toxic Syndrom
o.g.	oben genannte(n)

ÖKL	Österreichisches Kuratorium für Landtechnik
OM	Organische Masse = Organische Substanz
oTM	Organische Trockenmasse
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien
P	Phosphor
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Phosphat; Nährstoffeinheit für Phosphor
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane
PE	Polyethylen
PFM	Pflanzenfrischmasse
pH	negative dekadische Logarithmus des Zahlenwertes der molaren Wasserstoffionenkonzentration
PP	Polypropylen
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
PTE	Potenziell toxische Elemente
PVC	Polyvinylchlorid
RAL-GZ	RAL Gütezeichen des Deutschen Instituts für Gütesicherung
RLT	Raumlufttechnische Anlage(n)
s	Sekunde
SESO	Produktbezeichnung für Effective Microorganisms (EM)
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
SO <sub>3</sub>	Schwefeltrioxid, Sulfit
SO <sub>4</sub>	Sulfat
t	Tonne
TA-Luft	Technische Anleitung Luft (Deutschland)
Teq, TEQ	Toxizitätsäquivalent als Maß für Toxizität von PCDD/F
TKW	Technischer Kontrollwert
TM	Trockenmasse = Trockensubstanz
TNP	Tierische Nebenprodukte
TOC	Total Organic Carbon (gesamter organischer Kohlenstoff)
TRBA	Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe
TSA	Trypticase-Sojapepton-Agar
TVOC	Total volatile organic compounds
U	Umdrehungen
u.U.	unter Umständen
UV	Ultraviolettes Licht ( $\lambda = 5$ bis 400 nm)
v, % (v/v)	Volumen; Volumen-%
VbA	Verordnung biologische Arbeitsstoffe
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
VGÜ	Verordnung des Bundesministers für Arbeit und Soziales über die Gesundheitsüberwachung am Arbeitsplatz
VOC	volatile organic compounds; Flüchtige organische Stoffe
WRG	Wasserrechtsgesetz
Zn	Zink
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung, Deutschland

## 13 Begriffsbestimmungen und Definitionen

### Verwendete Quellen:

Abfallwirtschaftsgesetz BGG I 102/2002

<http://www.uni-giessen.de/~gh1484/glossar.html>

[http://www.biomasse-info.net/Energie\\_aus\\_Biomasse/glossar.htm](http://www.biomasse-info.net/Energie_aus_Biomasse/glossar.htm)

<http://www.eco-swiss.ch/Fachausd.pdf>

[http://gpool.lfrz.at/gpoolexport/media/file/mba\\_richtlinie2.pdf](http://gpool.lfrz.at/gpoolexport/media/file/mba_richtlinie2.pdf)

[http://www.ufz.de/spb/san/biol-techniques/leitfaden/Kap\\_8.pdf](http://www.ufz.de/spb/san/biol-techniques/leitfaden/Kap_8.pdf)

Abbau	Zersetzung organischer Substanz durch Mikroorganismen, d.h. Umwandlung von höhermolekularen Stoffen in niedermolekulare Stoffe. Zum größten Teil verlaufen die Abbauprozesse der Kompostierung aerob, d.h. genügend Sauerstoff steht zur Verfügung. Es finden aber auch fakultativ anaerobe (unter Luftausschluss) Vorgänge statt, ohne dass der Gesamtprozess in eine unerwünschten Gärung/Fäulnis übergeht. Dabei können besonders geruchsintensive Stoffwechselprodukte entstehen. Leicht abbaubar sind Zucker, Fette, Stärke, Proteine, Hemicellulosen und Cellulose. Schwer abbaubar hingegen sind Lignin, Wachse, Harze, Gerbstoffe und hochmolekulare Huminstoffe.
Abfall	Abfallwirtschaftsgesetz BGG I 102/2002:  § 2. (1) Abfälle im Sinne dieses Bundesgesetzes sind bewegliche Sachen, die unter die in Anhang 1 angeführten Gruppen fallen und  1. deren sich der Besitzer entledigen will oder entledigt hat oder  2. deren Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung als Abfall erforderlich ist, um die öffentlichen Interessen (§ 1 Abs. 3) nicht zu beeinträchtigen.
Abgas (Abluft)	Trärgase mit festen, flüssigen oder gasförmige Emissionskomponenten.
Abgasreinigung (Abluftreinigung)	Einrichtungen zur Emissionsminderung von emissionsrelevanten Luftverunreinigungen im Abgas, insbesondere zur Emissionsbegrenzung für Geruchsstoffe, organische und anorganische Stoffe, Stäube und zur Reduzierung lebens- und vermehrungsfähiger Mikroorganismen.
Actinomyceten	Grampositive Bakterien, die dazu neigen, verzweigte Filamente und Kolonien mit ähnlichem Aussehen wie Pilzkolonien zu bilden. Actinomyceten stellen einen wesentlichen Bestandteil der Bodenmikroflora dar und einige von ihnen verursachen den typisch "muffigen" Erdgeruch. Während der Kompostierung leisten Actinomyceten, darunter auch thermophile, einen Großteil der Umsetzungsprozesse. Sie gehören mit zu den Zersetzern vieler organischer Verbindungen, zB Cellulose, Lignin und Chitin. Die meisten Actinomyceten haben einen aeroben Stoffwechsel.
aerober Abbau	Mikrobielle Stoffwechselprozesse, die nur bei Anwesenheit von (im Wasser gelöstem) Sauerstoff ablaufen.
Aerosol	Ansammlungen fester und / oder flüssiger luftgetragener Partikel, die bei unterschiedlichsten Vorgängen, die mit einer Staubeentwicklung verbunden sind, entstehen (zB Rasenmähen, Gartenarbeiten, Baustellenarbeiten). Lungengängige Partikel sind kleiner als 5 µm (=0,005 mm).
Ammoniak	Gasförmige Verbindung aus Stickstoff und Wasserstoff; farbloses, stechend riechendes Gas

anaerober Abbau	Sämtliche mikrobielle Stoffwechselprozesse, die nur unter Ausschluss von Sauerstoff stattfinden.
apathogen	nicht krankmachend
Aufbereitung	Sammelbegriff für mechanische, physikalische und allfällige sonstige Verfahrensschritte der Konditionierung zur Vorsortierung, Zerkleinerung, Klassierung, Homogenisierung, Befeuchtung, Entwässerung, Trocknung der Einsatzstoffe oder der anfallenden Abfälle, als Vorbehandlung oder Nachbehandlung (Feinaufbereitung) vor oder nach der biologischen Behandlung (bzw. auch zwischen biologischen Behandlungsschritten) bzw. als Vorbehandlung vor einer thermischen oder sonstigen Behandlung.
Bakterien	Kleine, einzellige Organismen ohne echten Zellkern und Organellen (sie gehören zu den Prokaryonten). Im Mittel liegt die Länge eines Bakteriums bei 1µm (=0,001 mm). Bakterien können kugelförmig (Kokken), stäbchenförmig, gekrümmt (Vibrionen) oder schraubig (Spirillen) sein.
Bioabfall	Der organische Anteil des Hausmülls, der einem biologischen Abbau zugänglich ist und in sogenannten 'Biotonnen' getrennt erfasst wird. Dazu gehören Küchenabfälle wie Gemüse, Obst, Fleischreste, Brot, Nudeln usw. sowie Gartenabfälle bestehend aus Strauchschnitt, Blättern, Gras, Holz u.ä.. Ausgenommen sind nicht abbaubare, organische Störstoffe wie Kunststoffe u.ä..
Bioaerosole	Luftgetragene Teilchen biologischer Herkunft.
Biofilm	Aufwuchsschicht der Mikroorganismen auf festen Substratpartikeln incl. der daran gebundenen wässrigen Phase
Biofilter	Anlagen zur biologischen Reinigung von Abluft, bestehend aus flächig angeordnetem, vorwiegend biogenem Trägermaterial, auf dem Mikroorganismen wachsen können. Sie reduzieren bzw. eliminieren geruchsintensive Stoffe, organisch abbaubare Schadgase und organische Frachten aus der Abluft. Dabei passieren die Rohgase bei hinreichender Verweilzeit das Filtermaterial und werden von den dort angesiedelten Mikroorganismen gereinigt. Als Trägermaterialien dienen Torf, Reisig, Rinde, Kompost oder Erde u.a..
Biogas	Biogas gehört zu den erneuerbaren Energieträgern. Es entsteht beim bakteriellen Abbau von organischem Material (zB Pflanzen(resten) sowie tierischen Exkrementen und Abfällen insbesondere aus der Landwirtschaft wie Gras- oder Maissilage) unter Licht – und Luftabschluss in einem Faulbehälter und enthält etwa 50 % (v/v) Methan (CH <sub>4</sub> ). Neben dem brennbaren Gas, das zur Energieerzeugung eingesetzt werden kann, entsteht je nach Verfahren ein fester/flüssig-pastöser Gärrückstand, der entweder direkt als organischer Flüssigdünger in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann oder nach einer Teilentwässerung und Abmischung mit anderen strukturbildenden Ausgangsstoffen kompostiert wird.
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.
Biomasse	Gesamte, durch tierische und pflanzliche Lebewesen, aber auch durch Mikroorganismen, gebildete organische Substanz: u.a. Stoffe aus Land- und Forstwirtschaft, aus Garten und Küche sowie Exkremente von Mensch und Tier. Biomasse kann als nachwachsender Rohstoff sowohl stofflich als auch energetisch genutzt werden. (Kompostierung; Biogasanlage, Biomasseheizkraftwerk etc.)

Biotonne	Tonne, in der kompostierbare Abfälle aus Haushalten über das kommunale Sammelsystem getrennt gesammelt werden und zu einer Kompostieranlage gebracht werden. Die Biotonne ist ergänzende Alternative zur Eigenkompostierung im Garten.
Biozönose	Lebensgemeinschaft (Summe der miteinander in Wechselwirkung stehenden Organismen eines Ökosystems).
Cellulose	Gerüstsubstanz der pflanzlichen Zellwand; Cellulose macht über 50 % aller organischer Substanzen der Erde aus.
Denitrifikation	Umwandlung von Nitrat (NO <sub>3</sub> ) über Nitrit (NO <sub>2</sub> ) zu elementarem Luft-Stickstoff (N <sub>2</sub> ) durch Bakterien (Denitrifikanten).
EAA: Exogene allergische Alveolitis:	Besondere Form einer Allergie, bei der die Symptome erst verzögert auftreten, auch unter folgenden Bezeichnungen bekannt: „Farmerlunge“, „Holzarbeiterlunge“, „Malzarbeiterlunge“, „Käsewäscherlunge“ etc.. Allergische Reaktion an den Lungenbläschen, die den Gasaustausch behindert und teils schwere Verlaufsformen annehmen kann. Es ist hierdurch auch eine Verengung und Verlegung der Atemwege im Sinne einer obstruktiven Atemwegserkrankung möglich.
Emission	Emission (Luft): die von Anlagen (Einrichtungen) im Sinne dieser Richtlinie ausgehenden Luftverunreinigungen; sie werden angegeben als: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Massenkonzentration in der Einheit Milligramm je Kubikmeter (mg/m<sup>3</sup>) bei PCDD/F in Nanogramm je Kubikmeter (ng/m<sup>3</sup>), bezogen auf das Abgasvolumen im Normzustand (273 K, 1013 hPa) nach Abzug des Feuchtegehaltes,</li> <li>b) Massenverhältnis in der Einheit Gramm je Tonne (g/t Abfall) als Verhältnis der Masse der luftverunreinigenden Stoffe zu der Masse der zugeführten Einsatzstoffe im Anlieferungszustand (=Emissionsfaktor),</li> <li>c) Geruchsstoffkonzentration in der Einheit Geruchseinheit je Kubikmeter (GE/m<sup>3</sup>) als olfaktometrisch gemessenes Verhältnis der Volumenströme bei Verdünnung einer Abgasprobe mit Neutralluft bis zur Geruchsschwelle, angegeben als Vielfaches der Geruchsschwelle.</li> </ul>
Emissionsquelle	Ort, an dem die Emission entsteht und dann an die Umwelt abgegeben wird. Bereiche einer Anlage, die Gase, Rauch, Ruß, Staub, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe freisetzen.
Emissionsquelle (Luft)	Stelle des Austritts von luftverunreinigenden Stoffen in die freie Atmosphäre.
endogen	Aus innerer Ursache im Körper entstehend oder aus dem eigenen Körper stammend.
Endotoxin	1. jedes Toxin (Giftstoff), das erst bei Auflösung von Zellen freigesetzt wird. 2. hitzestabiles Toxin (Lipopolysaccharid- Protein- Komplex) in der äußeren Zellmembran gramnegativer Bakterien. Seine Freisetzung erfolgt erst bei der Auflösung der Bakterienzelle.
Entsorgung	Verwertung und Beseitigung von Abfällen. Im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) sind für die Abfallentsorgung alle hierzu erforderlichen Maßnahmen des Einsammelns, Beförderns und Lagerns von Abfällen sowie der Schadstoffminimierung festgelegt.
Eukaryonten	Organismen mit echtem Zellkern. Zu ihnen gehören Pflanzen, Tiere, Pilze, Algen und Protozoen. (Organismen ohne echten Zellkern nennt man: Prokaryonten).
Exotoxin (= Ektotoxin)	Giftstoff, der vom Produzenten aktiv in die Umgebung ausgeschieden wird.

Exposition	Einwirkung eines Stoffes oder einer Strahlung auf Objekte (Individuen, Populationen, Ökosysteme, Sachgüter). Grundvoraussetzung für die Beurteilung des Risikos eines biologischen Arbeitsstoffes sind Kenntnisse sowohl der Exposition als auch der Wirkung. Ein sehr pathogener Mikroorganismus entfaltet daher auch bei E. null kein Risiko, und ein wenig pathogener kann bei sehr hoher E. ein beträchtliches Risiko durch eine allergisierende Wirkung darstellen.
fakultativ pathogen	Nur krankheitsverursachend, wenn die Abwehrfähigkeit des Wirtsorganismus durch lokale (zB Wunden) oder allgemeine (zB Immunsuppression) Faktoren gestört ist.
Fermentation	Durch Fermente (= Enzyme, Biokatalysatoren) bewirkte biochemische Umsetzung. Mikroorganismen (Pilze, Hefen, Bakterien) setzen in ihrem Stoffwechsel einfache Nährstoffe wie Kohlenhydrate in bestimmte Substanzen um, die als Rohstoffe in der Industrie genutzt werden. Die Reaktion erfolgt industriell in Fermentern, in denen definierte Umweltbedingungen hergestellt werden können.
Filter	Technische Anlage zur Entfernung oder Verringerung von umweltrelevanten Emissionen (insbesondere Partikel). → <i>Biofilter</i>
Gärung	Mikrobiologische Prozesse, die der Energiebereitstellung dienen, bei denen aufgrund des Mangels an anorganischen Elektronenakzeptoren die während der Substratoxidation anfallenden Elektronen auf organische Akzeptoren übertragen werden. Diese werden entweder beim Substratabbau bereitgestellt oder sind durch ein zweites Substrat verfügbar. → <i>anaerober Abbau</i> , → <i>Biogas</i>
geogen	Durch geologische Einwirkung verursacht.
Geruchszahl (TA Luft)	Das olfaktometrisch gemessene Verhältnis der Volumenströme bei Verdünnung einer Abgasprobe bis zur Geruchsschwelle; sie wird angegeben als Vielfaches der Geruchsschwelle (auch Verdünnungszahl oder Geruchsstoffkonzentration genannt).
Geschlossenes System	Verfahren oder Anlagenteil, in dem der Abfall so behandelt werden kann, dass das Abgas (zB Rotteabgas) oder das Gärgas praktisch vollständig erfasst und abgeleitet wird. Bei geschlossenen Rottesystemen beispielsweise erfolgt die Behandlung in einem gesteuerten oder geregelten Prozess, bei dem das Abgas erfasst wird und im wesentlichen nur während der Befüllung und Entleerung ein Stoffaustausch mit der Hallen/Umgebungsluft möglich ist.
Gewerbeabfälle	sämtliche Abfälle aus Gewerbebetrieben
Glühverlust	Bezeichnung für die Gewichts-Differenz zwischen Abdampf- und Glührückstand bzw. zwischen Trockengewicht und Gewicht des Glührückstandes, je nachdem, ob man von flüssigen oder festen Stoffen ausgeht. Meist wird dieser Begriff verwendet für die Massendifferenz vor und nach der Konditionierung einer Probe während zwei Stunden bei 550 °C bezogen auf die Ausgangsmasse.
Grenzwert	Gesetzlich festgelegter Höchstwert für Schadstoffe, Strahlung und sonstige Emissionen in definierten Rohstoffen/Materialien/Produkten/Abfällen bzw. (Ab)gasen.
Grünabfall	Im Hol- und Bringsystem getrennt erfasste Garten- und Parkabfälle aus Haushalten, Gewerbe und öffentlichen Einrichtungen.
Grünschnitt/Grüngut	Schnittgut von Bäumen, Sträuchern, Gras und ähnliches
Halbstundenmittelwert	Ein Halbstundenmittelwert ist das arithmetische Mittel der gültigen Messwerte über den Zeitraum einer halben Stunde, wobei bei kontinuierlichen Messungen die Datenverfügbarkeit mindestens 50% betragen muss (vgl. ÖNORM M 9412 „Anforderungen an Auswerteeinrichtungen für kontinuierliche Emissionsmessungen“, ausgegeben am 1. August 1994).
Hausmüll/Hausabfall	Hausmüll ist der übliche im Haushalt anfallende Müll incl. des Bioabfalls

Hedonische Wirkung	Wirkung eines Geruchsstoffes, die durch eine einordnende Bewertung des Reizes zwischen den Merkmalspolen „äußerst angenehm“ und „äußerst unangenehm“ erfasst wird (VDI-Richtlinie 3882, Blatt 2).
Hilfsstoffe	Hilfs-, Zusatz- oder Zuschlagsstoffe werden bei der Kompostierung meist in kleinen, unter Umständen homöopathischen Mengen dem Rottegut mit der Zielsetzung, den Rotteverlauf zu optimieren, zu beschleunigen und/oder das Endprodukt positiv zu beeinflussen, beigegeben.
Huminstoffe	Huminstoffe sind hochmolekulare organische Verbindungen von meist dunkler Farbe, die postmortal aus verrottendem Material von verschiedenen Organismen (Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen) gebildet werden. Als Teilchen von geringer Größe haben sie eine große spezifische Oberfläche und vermögen Wasser und andere Moleküle sowie Ionen reversibel einzulagern, Schwermetalle z.T. auch als Komplex (Scheffer und Schachtschabel et al., 1998[FA248]) .
Humus	Von Scheffer und Schachtschabel et al. (1998[FA249]) wird die Gesamtheit der festen organischen Substanz (OS) des Bodens als Humus bezeichnet, von anderen Autoren dagegen wird dieser Begriff auf die Huminstoffe beschränkt.
Hydrolyse	Chemische Reaktion, bei der eine Verbindung unter Einwirkung von Wasser gespalten wird.
Hygienisierung	Hier: Prozess, bei dem für mehrere Tage durch Selbsterwärmung des Kompostmaterials Temperaturen zwischen 55 und >65 °C auftreten. Dadurch werden die schon mit dem organischen Abfall eingebrachten Mikroorganismen weitgehend abgetötet. Durch diesen Hygienisierungsprozess werden auch potenzielle Krankheitserreger (Viren, Bakterien, Wurmeier u.a.) vor allem im ausgekeimten Zustand abgetötet.
Immission	Teil der Emission schädlicher Stoffe (Abgase aus Industrie, Straßenverkehr und Heizanlagen) sowie von Geräuschen, Erschütterungen, Gerüchen, Licht, Wärme und Strahlen, der auf Menschen, Tiere und Pflanzen sowie Sachgüter einwirkt.
Infektion	Übertragung, Eindringen und Vermehrung von Fremdorganismen in biologische(n) Systeme(n).
Infektionserreger	Ein Infektionserreger ist ein Agens, das in den Körper eindringt und sich hier trotz der sofort einsetzenden Abwehrreaktion festsetzt und vermehrt.
Kaltluftabflüsse	Luftströmung, die dadurch entsteht, dass sich kalte Luft aufgrund ihrer höheren Dichte gegenüber warmer Luft in gegliedertem Gelände (Gefälle > 2°) hangabwärts in Bewegung setzt. Ihre Strömungsgeschwindigkeit liegt im Bereich von 0,5-3 m/s. Es handelt sich um eine stabil geschichtete Strömung im Übergangsbereich laminar-turbulent (ähnlich wie das Fließen von Honig). Kaltluftabflüsse bilden sich abends/nachts nach Tagen mit starker Sonneneinstrahlung bei geringer Bewölkung und geringem Wind in gegliedertem Gelände aus.
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.
Keim	Die der Fortpflanzung dienende Zelle oder Zellgruppe
Klärschlamm	Bei der Klärung von Abwässern anfallender Schlamm
Kohlenstoff (C)	Kohlenstoff ist ein nicht-metallisches chemisches Element, das rein als Diamant, Graphit, Ruß, Kohle oder in Form von Verbindungen wie Erdöl oder Erdgas, aber auch als einer der wichtigsten Bausteine von lebenden Organismen jeder Art

auftritt. Kohlenstoff kann sich mit fast allen Elementen verbinden – insbesondere mit Wasserstoff (Kohlenwasserstoffe) und Sauerstoff (Kohlenmonoxid, Kohlendioxid).

Kohlenstoffdioxid (CO <sub>2</sub> )	<p>Farbloses, nicht brennbares, geruchloses und ungiftiges Gas, das mit ca. 0,03%? natürlicher Bestandteil der Erdatmosphäre ist. CO<sub>2</sub> ist für langwellige Wärmestrahlen "undurchlässig". Somit verhindert es eine gleichgewichtige Abstrahlung der auf die Erde treffenden Sonnenstrahlen und ermöglicht damit die zum Leben notwendigen Temperaturen auf der Erdoberfläche bzw. in der Biosphäre. Als energetisch stabilste C-Verbindung ist das CO<sub>2</sub> die Schlüsselverbindung im Kohlenstoff-Kreislauf der Natur. Durch Assimilation wird es zusammen mit Wasser von Pflanzen mit Hilfe der Sonnenenergie bei der Photosynthese in energiereichere Kohlenhydrate überführt, wobei Sauerstoff frei wird. CO<sub>2</sub> dient damit als Grundsubstanz zum Aufbau aller organischen Verbindungen. Die Kohlenhydrate werden von tierischen Organismen als energieliefernde Substrate für deren Stoffwechsel aufgenommen, zu CO<sub>2</sub> und Wasser abgebaut und durch Atmung an die Außenluft abgegeben bzw. in Biomasse umgewandelt. Absterbende tierische und pflanzliche Organismen liefern beim aeroben Abbau ebenfalls CO<sub>2</sub>, das entweder in die Atmosphäre abgegeben oder in Wasser gelöst wird, aus dem es als Carbonat-Gestein sedimentieren oder mit dem der Atmosphäre ausgetauscht werden kann.</p> <p>Auch bei der energetischen Nutzung fossiler Energieträger (z. B. Kohle) wird CO<sub>2</sub> freigesetzt. Bei Verbrennung fossiler Energieträger reichert sich das vor Urzeiten fossil gebundene Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre über den natürlichen Gehalt hinaus an und kann zur Erwärmung des Erdklimas beitragen.</p>
Kohlenstoffmonoxid (CO)	<p>Reiz-, farb- und geruchloses Gas, das bei unvollständiger Verbrennung von organischen Verbindungen entsteht. Es wird in der Luft schnell zu Kohlenstoffdioxid umgewandelt. Es wirkt gesundheitsgefährdend, da es die Sauerstoffaufnahme des Blutes verhindert.</p>
Kohlenwasserstoffe (C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> )	<p>Bezeichnung für organische Verbindungen, die nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen. Nach Art des Kohlenstoff-Gerüsts unterscheidet man zwischen azyklischen und zyklischen Kohlenwasserstoffen. Die azyklischen (auch aliphatische Kohlenwasserstoffe bezeichnet) beinhalten die wichtige Klasse der Alkane (Paraffine). Bei den zyklischen Kohlenwasserstoffen unterscheidet man zwischen den alizyklischen und den aromatischen (Aromaten) mit Benzol als typischem Vertreter. Aliphatische Kohlenwasserstoffe sind in der Regel nicht bzw. gering toxisch. Anders verhält es sich dagegen mit den aromatischen, beispielsweise mit Benzol, das als karzinogen eingestuft wird. Ein großes Gefährdungspotenzial geht auch von den polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK bzw. PAH) aus, von denen einige ebenfalls karzinogene und auch mutagene Eigenschaften besitzen.</p>
Kompost	<p>Bodenverbesserungsmittel, das bei der Verrottung organischer Abfälle entsteht. Kompost ist ein wertvolles organisches Bodenverbesserungsmittel, mit dem Nährstoffe und organische Substanzen, die durch Pflanzen dem Boden entzogen resp. durch die Bodenbearbeitung abgebaut wurden, in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt werden können.</p>
Kompostausgangsladung	<p>Fertig, nach dem Stand der Technik abgemischte und für eine ordnungsgemäße Kompostierung konditionierte Schüttung von Ausgangsmaterialien, die zur aeroben Rotte aufgesetzt wurde.</p>
Kontamination	<p>Verunreinigung mit unerwünschten Stoffen oder Organismen</p>
Lärm	<p>Unerwünschter Schall, der als Belästigung und Störung empfunden wird</p>
Lee	<p>Die windabgewandte Seite.</p>
Lignin	<p>Hauptbestandteil der Zellwand höherer Pflanzen, neben Cellulose. Aufgrund der komplexen Natur von Lignin, ist dieses nur sehr langsam von Mikroorganismen</p>

	abbaubar.
Luftgetragene Mikroorganismen	Mikroorganismen, die auf dem Luftweg übertragen werden. Prinzipiell können das alle sein, die meisten werden aber durch UV-Strahlung, Austrocknung oder zu geringe Temperatur abgetötet. Insbesondere Pilze und Actinomyceten, welche verstärkt in Kompost zu finden sind, überleben den Transport durch die Luft. Luftgetragene Mikroorganismen werden vorwiegend durch die Anlagerung an Aerosole verbreitet. Normal vorkommende Konzentrationen luftgetragener Mikroorganismen liegen zwischen $10^1$ und $10^3$ KBE / $m^3$ Luft.
Luftschadstoffe	Stoffe, die Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft durch Partikel, Gase oder Aerosole bewirken.
Luv	Die windzugewandte Seite.
Lysimeter	Oben offene Behälter, die mit gestörten oder ungestörten Bodenproben beschickt werden und für verschiedenste Untersuchungen (zB Wasserhaushaltsbilanzierungen, Schadstoffverteilung, -transport und Auswaschverhalten) eingesetzt werden.
mesophil	"Mittlere Temperaturen-liebend". Mesophile Mikroorganismen erreichen ihre optimale Wachstumsrate zwischen $20^\circ\text{C}$ und $42^\circ\text{C}$ .
Messergebnis ( <i>Emissionsmessungen</i> )	ist das arithmetische Mittel der Messwerte (für Emissionseinzelmessungen je Emissionsquelle mindestens drei Proben). Messwert (Abgas): ist das Ergebnis eines Messvorganges. Der Messwert ergibt sich <ul style="list-style-type: none"> <li>a) für kontinuierliche Messungen als arithmetisches Mittel der Einzelmesswerte,</li> <li>b) für Emissionseinzelmessungen als Einzelwert</li> </ul> an einer im Kanalquerschnitt repräsentativen Messstelle.
Metabolismus	( <i>gr. Stoffwechsel; auch Umbildung, Umwandlung</i> ) die Gesamtheit der Stoff- und Energiedurchsätze bei Lebewesen und deren Verbänden, die deren Fortbestand und Leistungsvermögen sichern
Methan ( $\text{CH}_4$ )	Farbloses, geruchloses, mit bläulicher Flamme brennendes Gas mit einem Heizwert von 36 MJ. Methan-Luft-Gemische mit 5 bis 15 Vol.-% Methan sind explosiv. Methan findet sich im Kokereigas und im Erdgas, das zugleich die wichtigste Quelle darstellt. Methan ist ein klimarelevantes Gas. Sein Gehalt in der Atmosphäre beträgt ca. 1,3 ppm, er hat sich seit 1950 etwa verdoppelt. Methanquellen sind fossile Brennstoffe sowie der Zellulose-Abbau (Methan-Gärung) durch anaerobe Bakterien. Es entsteht weiterhin in Kläranlagen in den Faulbehältern (Biogas), in Sümpfen (Sumpfgas), in den Darmgasen besonders von Wiederkäuern, aber auch des Menschen, in Reisfeldern und marinen Sedimenten. Hohe Methanzuflüsse schreibt man auch Undichtigkeiten der Ergasfernleitungen zu.
Miete	Aufschüttung von organischem Material. Dabei werden die Abfälle zu Dreiecks-, Tafel- oder Trapezhaufen/-reihen aufgeschüttet. Die Mieten werden entweder gar nicht oder künstlich belüftet und mit speziellen Geräten umgesetzt.
Mikroorganismen	Gruppe von vorwiegend einzelligen, niederen Organismen, die gewöhnlich nicht mit bloßem Auge sichtbar sind, wie Bakterien, Pilze, niedere Algen, Protozoen und Viren. In Abhängigkeit von ihren Temperaturanforderungen werden sie in psychrophile (bis $20^\circ\text{C}$ ), mesophile ( $15^\circ\text{C}$ bis $42^\circ\text{C}$ ) und thermophile Mikroorganismen ( $45^\circ\text{C}$ bis $75^\circ\text{C}$ ) unterteilt.
Mineralisierung	Der biologische Abbau von organischen Verbindungen zu Kohlendioxid, Wasser und anorganischen Nährsalzen. Beim Fremdstoffabbau werden in Laborexperimenten zumeist radioaktiv markierte Substanzen ( $^{14}\text{C}$ Markierung) eingesetzt, um über die Bildung von $^{14}\text{C}$ -markiertem Kohlendioxid die Mineralisierung zu quantifizieren.

MVOC	(microbial volatile organic compounds) diejenigen flüchtigen organischen Verbindungen bzw. Metabolite der Rotte (VOC), die biogenen Ursprungs sind (zB Alkohole, Aldehyde, Ketone, Terpene)
Nährmedium	Zubereitung einer Nährstoffversorgung für Mikroorganismen, in flüssiger oder fester Form. Das Wachstum von Mikroorganismen ist von Wasser und den darin gelösten Nährstoffen abhängig. Die Ansprüche verschiedener Mikroorganismen an die Zusammensetzung des Nährmediums sind sehr verschiedenartig. Es muss alle Elemente, die zum Aufbau der Zellsubstanz nötig sind, in Form verwertbarer Verbindungen enthalten. Zur Herstellung fester Nährmedien werden flüssigen Medien Verfestigungsmittel, wie zB Agar, zugesetzt.
Nassvergärung	Anaerobes Verfahren zur Aufbereitung von Bioabfällen, wobei das Substrat ca. 8 – 12 % TM aufweist (im Gegensatz zu Trockengärsystemen mit 20 – 30 % TM)
Nitrifikation	Umwandlung von Ammonium (NH <sub>4</sub> ) über Nitrit (NO <sub>2</sub> ) zu Nitrat (NO <sub>3</sub> ) durch Bakterien (Nitrifikanten – <i>Nitrosomonas</i> , <i>Nitrobacter</i> )
NMVOC	Non-methane VOC (alle VOC außer Methan; entspricht oft TVOC)
obligat(orisch) pathogen	unbedingt eine Krankheit auslösend
Organische Substanz	Gesamtheit aller im Substrat befindlichen pflanzlichen und tierischen Stoffe, einschließlich der Mikroorganismen bzw. deren Bestandteile und aller Umwandlungsprodukte.
Organische Verbindungen	Chemische Verbindungen mit einem Kohlenstoff-Grundgerüst, aus denen die belebte Natur aufgebaut ist. Etwa 90 % der organischen Verbindungen bestehen aus C, H und O in wechselnden Mengenverhältnissen; Verbindungen, die nur aus C und H bestehen, heißen Kohlenwasserstoffe. Zahlreiche organische Verbindungen enthalten auch noch N, während S, P und die Halogene wesentlich seltener anzutreffen sind. Die Vielfalt und Vielzahl der organischen Verbindungen ist auf die besondere Fähigkeit der Kohlenstoff-Atome zurückzuführen, untereinander Ketten und/oder Ringe zu bilden. Viele organische Verbindungen unterscheiden sich in ihrem Verhalten in der Umwelt und ihren Wirkungen auf Lebewesen erheblich. Besonders gefährlich sind Emissionen von solchen organischen Verbindungen, die in der Natur nicht abgebaut werden und sich im Organismus bzw. in der Umwelt anreichern.
Pilze	Vielfältige Organismengruppe, die zu den Eukaryonten gehört. Schimmelpilze bilden von einer Spore aus wachsend Zellfäden (Hyphen), dann Fadengeflechte (Mycelien) und schließlich Kolonien, die aus Millionen von Zellen bestehen. Der "Hutpilz" hingegen ist der Vermehrungs- bzw. Fruchtkörper einer spezifischen Gruppe innerhalb der Pilze. Pilze zersetzen Pflanzenreste, tote Tiere, Früchte, Brot usw. und führen somit deren Bestandteile in den Kreislauf der Natur zurück. Vor allem Basidiomyceten aber auch eine Schimmelpilze und Actinomyceten können Lignin zersetzen. Diese schwer abbaubaren Stoffe bilden die Ausgangsstoffe der Huminstoffsynthese.
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH, PAK)	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe entstehen bei unvollständiger Verbrennung, aber auch in Dieselmotoren; für die kanzerogene Potenz der ganzen Gruppe der PAH wird ein einziges PAH, nämlich Benzo[a]pyren, herangezogen. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe gehören aufgrund ihrer Häufigkeit und Giftigkeit zu den wichtigsten organischen Schadstoffen im Boden.
Quelle	Hier: Ort der Emission bzw. Tätigkeit, bei der Emissionen entstehen. Emissionsquellen sind zB Biofilter oder freisetzungsrelevante Tätigkeiten wie Umsetzen, Schreddern oder Absieben.
Recycling	Erneute oder wiederholte Verwendung von Abfall oder Reststoff in einem Kreislaufprozess. Gewinnung von Rohstoffen aus Abfällen (Sekundärrohstoffe),

ihre Rückführung in den Wirtschaftskreislauf und die Verarbeitung zu neuen Produkten ( $\rightarrow$  *stoffliche Verwertung*).

- Reingas Hier: Abgas, das nach Passieren des jeweils eingesetzten Abgasreinigungssystems (Kompost-Biofilter, Tropfkörperwäscher) ohne weitergehende Behandlung in die Umwelt entlassen wird.
- Restmüll Siedlungsabfall bzw. der übliche im Haushalt anfallende Müll, der nach getrennter Sammlung von Altstoffen, biogenen Materialien (vgl. Verordnung über die getrennte Sammlung biogener Abfälle, BGBl. Nr. 68/1992 i.d.g.F.) und Problemstoffen anfällt.
- Risiko Nicht einheitlich definiert, kann aber anschaulich mit der Formel „Eintrittswahrscheinlichkeit  $\times$  Schadenshöhe“ umrissen werden.

Rohgas	Hier: Das noch unbehandelte Abgas aus dem Intensivrotte-Reaktor bzw. aus der Rottehalle (vor dem Abgasreinigungssystem).
Rotte	Gesamtprozess des biologischen aeroben Ab- und Umbaus. Je nach angewandtem Verfahren und angestrebtem Endprodukt dauert die gesamte Rotte etwa 2-10 Monate.
Rottegut	Material, das in die aerobe Abfallbehandlung gelangt oder Material der aeroben Abfallbehandlung.
Rotteprozess	Ab- und Umbauprozess organischer Substanzen unter Luftzufuhr, oftmals verfahrenstechnisch gesteuert oder geregelt. Wesentliche Kennzeichen des Rotteprozesses sind Selbsterwärmung, hoher Sauerstoffbedarf bzw. intensive CO <sub>2</sub> -Produktion, sowie in der Anfangsphase die Bildung von Ammonium/Ammoniak und geruchsbildenden Stoffwechselprodukten.
Schimmelpilze	Trivialbezeichnung für eine uneinheitliche Gruppe von Pilzen, die auf verwesenden pflanzlichen oder tierischen Substraten eine wichtige Rolle als Stoffersetzer spielt.
Schwermetalle	Metalle mit einer höheren Dichte als 5 g/cm <sup>3</sup> (Eisen, Zink, Kupfer, Mangan, Zinn, Chrom, Cadmium, Blei, Quecksilber u. a.). Viele Schwermetalle haben bei Stoffwechselprozessen keine erkennbar lebensnotwendigen Funktionen, sondern wirken bei Überschreiten bestimmter Konzentrationen und Wirkschwellen giftig auf Mensch, Tier und Pflanzen. Chrom, Kobalt, Kupfer, Molybdän, Nickel und Zink sind für Mensch, Tier und Pflanzen lebensnotwendige Spurenelemente.
Siedlungsabfälle	Gemäß § 2(4) 2. AWG, BGBl I 102/2002: <i>Abfälle aus privaten Haushalten und andere Abfälle, die auf Grund ihrer Beschaffenheit oder Zusammensetzung den Abfällen aus privaten Haushalten ähnlich sind; bei der Zuordnung ist das Europäische Abfallverzeichnis im Sinne des Art. 1 der Richtlinie 75/442/EWG über Abfälle, ABl. Nr. L 194 vom 25. 7. 1975 S 39, geändert durch die Richtlinie 91/156/EWG, ABl. Nr. L 78 vom 26. 3. 1991 S 32, und die Entscheidung 96/350/EG, ABl. Nr. L 135 vom 6. 6. 1996 S 32, zu berücksichtigen.</i>
Stand der Technik	Gemäß § 2(8) 1. AWG, BGBl I 102/2002: <i>... der auf den einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, deren Funktionstüchtigkeit erprobt und erwiesen ist. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere jene vergleichbaren Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, welche am wirksamsten zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt sind. Bei der Festlegung des Standes der Technik sind unter Beachtung der sich aus einer bestimmten Maßnahme ergebenden Kosten und ihres Nutzens und des Grundsatzes der Vorsorge und der Vorbeugung im Allgemeinen wie auch im Einzelfall die Kriterien des Anhangs 4 zu berücksichtigen</i>  Anhang 4, AWG, BGBl I 102/2002: <u>Kriterien für die Festlegung des Standes der Technik</u> <i>Bei der Festlegung des Standes der Technik ist unter Beachtung der sich aus einer bestimmten Maßnahme ergebenden Kosten und ihres Nutzens und des Grundsatzes der Vorsorge und der Vorbeugung im Allgemeinen wie auch im Einzelfall Folgendes zu berücksichtigen:</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Einsatz abfallarmer Technologie;</li> <li>2. Einsatz weniger gefährlicher Stoffe;</li> <li>3. Förderung der Rückgewinnung und Verwertung der bei den einzelnen Verfahren erzeugten und verwendeten Stoffe und gegebenenfalls der Abfälle;</li> <li>4. Fortschritte in der Technologie und in den wissenschaftlichen Erkenntnissen;</li> <li>5. Art, Auswirkungen und Menge der jeweiligen Emissionen;</li> <li>6. Zeitpunkte der Inbetriebnahme der neuen oder der bestehenden Anlagen;</li> <li>7. die für die Einführung eines besseren Standes der Technik erforderliche Zeit;</li> <li>8. Verbrauch an Rohstoffen und Art der bei den einzelnen Verfahren verwendeten Rohstoffe (einschließlich Wasser) und Energieeffizienz;</li> <li>9. die Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für die</li> </ol>

- Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern;*
10. *die Notwendigkeit, Unfällen vorzubeugen und deren Folgen für die Umwelt zu verringern;*
11. *die von der Kommission gemäß Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung oder von internationalen Organisationen veröffentlichten Informationen.*

Staub/Partikel	In der Luft verteilende feste Teilchen aus natürlichen oder vom Menschen zu verantwortenden Quellen. Feinstaub mit einer Teilchengröße < 5 µm bleibt bis zu 14 Tagen in der Atmosphäre und kann in dieser Zeit über große Strecken transportiert werden.
Stoffliche Verwertung	Gemäß § 2(5) 2. AWG, BGBl I 102/2002: ... die ökologisch zweckmäßige Behandlung von Abfällen zur Nutzung der stofflichen Eigenschaften des Ausgangsmaterials mit dem Hauptzweck, die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe unmittelbar für die Substitution von Rohstoffen oder von aus Primärrohstoffen erzeugten Produkten zu verwenden, ausgenommen die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe werden einer thermischen Verwertung zugeführt.
Strippung	"Ausgasen" flüchtiger Stoffe aus einer wässrigen Lösung und Überführung in die Gasphase. In der chemischen Verfahrenstechnik versteht man unter Strippung ein schadstoffreduzierendes Verfahren für flüchtige KW und halogenhaltige KW; Schwefelwasserstoff und Ammoniak.
Strukturmaterial	Hilfsmittel, durch das eine ausreichende Porosität des Rottegutes für einen gleichmäßigen Gasaustausch erreicht wird, wie z. B. Holzhäcksel, Rinde, etc.
TA Luft	Deutsche Verwaltungsvorschrift des Bundes zur Reinhaltung der Luft aus dem Jahr 1986, die im Jahr 2001 grundlegend überarbeitet wurde. Innerhalb des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) und seiner Vorschriften richtet sich die Technische Anleitung (TA) Luft in erster Linie an die Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen. Die Betreiber solcher Anlagen haben nach den Grundsätzen des BImSchG zu handeln und Anlagen nach dem Stand der Technik zu erstellen oder zu betreiben. Grenzwerte, Emissions- und Immissionswerte und im besonderen Schwellenwerte sind unbedingt einzuhalten. Für ältere Anlagen sieht der Gesetzgeber ein Altanlagenanierungskonzept vor. Die TA Luft enthält u.a. auch allgemeine Emissionswerte für staub- und gasförmige Stoffe.
TA Siedlungsabfall	Deutsche Verwaltungsvorschrift des Bundes von 1986 zur Verwertung von Siedlungsabfällen, die die Behandlung und sonstige Entsorgung regelt.
thermophil	"Hohe Temperaturen-liebend". Thermophile Mikroorganismen wachsen bei Temperaturen zwischen 45°C und 75°C. Extrem thermophile Organismen haben ihr Wachstumsoptimum über 65°C.
thermotolerant	Wärmetolerant. Thermotolerante Mikroorganismen vermögen bis 50°C zu wachsen.
Toxin	Stoffwechselprodukte bzw. Giftstoffe von MO, Pflanzen oder Tieren.
Treibhauseffekt	bezeichnet die Eigenschaft der Atmosphäre, einfallendes sichtbares Licht weitgehend durchzulassen, die längerwellige Rückstrahlung (IR-Strahlung) der Erdoberfläche aber stärker zu absorbieren. Der natürliche T. der Erdatmosphäre hebt die durchschnittliche Temperatur der Erdoberfläche von ca. -18 auf ca. +15 °C . Damit verhält sich die Atmosphäre ähnlich wie das Glasdach eines Treibhauses. Der natürliche Treibhauseffekt der Erdatmosphäre geht zu zwei Dritteln auf Wasserdampf, zu einem Viertel auf Kohlenstoffdioxid, zu ca. 2 % auf Methan und zu rund einem Zehntel auf andere Klimawirksame Atmosphärenbestandteile zurück. Wird heute von Treibhauseffekt gesprochen, ist oft eine weitere Erwärmung gemeint, die aufgrund der Konzentrationszunahme von Kohlenstoffdioxid, Methan, FCKW, Distickstoffoxid sowie anderen Spurengasen postuliert wird. Dabei sagen die meisten Modelle bei weiter anwachsender Bevölkerung in den

	nächsten 50 Jahren eine globale Temperaturerhöhung um 1,5 bis 4,5 °C voraus, je nach Annahme über Emissionen, ihre Wirkungen und die Wechselwirkungen mit anderen Umweltkompartimenten. Folgen von Temperaturerhöhungen sind z. B. das Steigen des Meerwasserspiegels durch das Abtauen des Polkappeneises oder eine Verschiebung der Klimazonen.
Treibhausgase	(Spurengase) Gasförmige Stoffe (zB Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan, Lachgas, Distickstoffoxid, Ozon, FCKW (Fluorchlorkohlenwasserstoffe)), die in der Atmosphäre nur in geringen Spuren vorkommen und zum Treibhauseffekt beitragen ( <i>auch klimarelevante Gase</i> ).
Trockenmasse	Nach standardisierten Verfahren ermittelter, nicht verdampfter Anteil eines Stoffes. Die beim Trocknen eintretende Gewichtsabnahme eines Stoffes wird als Trockenverlust bezeichnet. Die meisten Verfahren zur Ermittlung der Trockenmasse bei organischen Substanzen finden bei einer Temperatur zwischen 85 (pflanzliche Materialien) und 105 °C (zB Boden, Kompost, Klärschlamm) bis zur Gewichtskonstanz statt, wobei der Großteil des enthaltenen Wassers, aber auch andere flüchtige Komponenten verdampfen. Die Summe aus Trockenmasseanteil und Trockenverlust ergibt dabei nicht notwendigerweise (in den meisten Fällen aber annähernd) einhundert Prozent.
Tunnelrotte	Geschlossenes Reaktorsystem zur Kompostierung von organischen Abfällen.
TVOC	(Total Volatile Organic Compounds), Gesamtmenge der flüchtigen organischen Verbindungen.
Umhaustes System	Die Anlagenteile sind zum überwiegenden Zweck der Emissionsminderung in geeigneter Weise allseitig umbaut, zB in einer Halle oder mehreren Hallen aufgestellt.
Umsetzen (der Miete)	Mechanische Bearbeitung eines Rottekörpers (Miete) mit dem Zweck der Durchmischung, Auflockerung und Homogenisierung des Kompostmaterials, die zur Bildung neuer Oberflächen, zu einer besseren Durchströmung mit Sauerstoff und somit einer Beschleunigung des Rotteprozesses führt.
Vektor	Hier: (Über-)Träger (lebend oder unbelebt) von Infektionserregern.
Virus, Viren	Biologische Einheit aus Nukleinsäuren und Proteinhülle, die sich nur in einer geeigneten Wirtszelle vermehren kann; Organismen, die Bakterienfilter (d = 0,2 µm) passieren.
VOC (Volatile Organic Compounds)	Flüchtige organische Stoffe, die unter den gegebenen Bedingungen freigesetzt werden. Dazu gehören Stoffe biologischen Ursprungs und organische Fremdstoffe
Xenobiotika	organische Fremdstoffe; Chemische Verbindungen mit Strukturen, die in der Natur nicht vorkommen.
Zellulose (Cellulose)	ist sowohl von der Menge als auch von ihrer Verbreitung her das häufigste und bedeutendste Biopolymer in der Natur. Zellulose ist ein wasserunlösliches Polysaccharid der formalen Bruttozusammensetzung (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ). Nahezu alle Zellwände der lebenden und abgestorbenen Pflanzenteile bestehen aus Zellulose. Die Zellulose der verwesenden Pflanzenteile wird durch Bakterien und Pilze unter Aufbau körpereigener Stoffe zu Kohlenstoffdioxid und Wasser abgebaut. Im Holz ist die Zellulose (40 bis 50%) mit Lignin (20 bis 30%) und anderen Begleitsubstanzen (10 bis 30% Polyosen und andere Zellulosefreie Bestandteile sowie ca. 1% Mineralstoffe) vergesellschaftet.
Zusatz/Zuschlagsstoffe	Siehe Hilfsstoffe
Zwangselüftung	Durch technische Maßnahmen intensivierte Belüftung. Unterschieden werden kann zwischen Druck- und Saugbelüftung. Die dabei entstehende Abluft wird häufig über einen Biofilter desodoriert.



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Stand der Sammlung von organischen Abfällen in Österreich [Daten von 1998 – 2000] .	17
Tabelle 3-2: Kapazität und Anzahl der Kompostierungsanlagen in Österreich.....	21
Tabelle 3-3: Bioabfallvergärungsanlagen in Österreich (aus Braun, 2003) .....	22
Tabelle 4-1: Optimale Temperaturbereiche nach verschiedenen Anforderungen an den Rotteprozess .....	30
Tabelle 5-1: Prinzipielle Prozesscharakteristik im Verlauf der Kompostierung .....	39
Tabelle 6-1: Abbaugeschwindigkeiten verschiedener Stoffklassen während des Kompostierungsprozesses (nach Grabbe & Schuchardt, 1993).....	42
Tabelle 6-2: Vorkommen, Eigenschaften und selektive Abbaubarkeit der für die Kompostierung wichtigsten Naturstoffe; Abbaubarkeit nimmt von oben nach unten hin ab. Nach Ottow & Bidlingmaier (1997).....	43
Tabelle 6-3: C/N-Verhältnissen typischer Kompostausgangsstoffe .....	45
Tabelle 6-4: Organische Schadstoffe in Kompost-Ausgangsmaterialien; Mittelwerte; PCDD/F in ng Teq kg <sup>-1</sup> TM; PCB und PAK in mg kg <sup>-1</sup> TM (Sihler et al., 1996).....	47
Tabelle 6-5: Weitere Grenzwerte für organische Schadstoffe gemäß KompostVo.....	48
Tabelle 6-6: Schwermetalle – Hintergrundgehalte der wichtigsten Gruppen an Kompostausgangsmaterialien [mg kg <sup>-1</sup> TM]; Basis ist der natürliche oTM Gehalt.....	49
Tabelle 6-7: Mittlerer Schwermetallgehalt von organischen Abfällen als Ausgangswert [mg kg <sup>-1</sup> TM] und bezogen auf 30% OM (fett gedruckt).....	50
Tabelle 6-8: Anforderung an den Schwermetallgehalt in Kompostausgangsmaterialien gemäß KompostVo.....	51
Tabelle 6-10: Zuschlagstoffe und Hilfsstoffe für die Kompostierung .....	56
Tabelle 6-11: Charakterisierung der Inputmaterialien für die Kompostierung nach Rotteeigenschaften und Nährstoffen (in Anlehnung an Rieß et al., 1993; Sihler, 1993; Grabbe & Schuchardt, 1993) <i>Die hier angeführten Materialien beschreiben charakteristische Rohstoffe wie sie traditionellerweise in der Kompostierung eingesetzt wurden und werden. Die Bezeichnungen stimmen nicht immer mit jenen der KompostVo überein. Hinsichtlich der Hygienisierung wird – insbesondere auch unter Berücksichtigung der EU HygieneVo – auf Abschnitt 7.4 verwiesen.</i> .....	59
Tabelle 7-1: Emissionsrelevante Verfahrensteile bei der Kompostierung.....	62
Tabelle 7-2: Ausgewählte Geruchsstoffe und deren Geruchsschwellenwerte (zusammengestellt nach Haug, 1980 und Mayer, 1990; umgerechnet auf mg m <sup>-3</sup> Luft).....	68
Tabelle 7-3: Phasen der Entstehung geruchsaktiver Substanzen beim Rotteprozess (zusammengestellt nach (Pöhle, 1994; Mayer, 1990; Jager, J. et al., 1995) und eigenen Untersuchungen).....	73
Tabelle 7-4: Maßnahmen gegen mangelnde Sauerstoffversorgung der Rotte (Bidlingmaier & Müsken, 1997) .....	74
Tabelle 7-5: Eignung verschiedener Abluftinhaltsstoffe zum Abbau in Biofiltern und Biowäschern [zusammengestellt nach (VDI, 1991) und (VDI, 1996 a)].....	80
Tabelle 7-6: Auswirkungen und Behebung von Fehlfunktionen der Abluftreinigung (Biofilter) durch den Anlagenbetreiber.....	86
Tabelle 7-7: Einflussgrößen beim Betrieb von Biowäschern und Rieselbettreaktoren [zusammengestellt nach (VDI, 1996 a) und (Ryser, 1993)].....	87
Tabelle 7-8: Beispiele für die chemische und oxidative Abgaswäsche (zusammengestellt nach (Jüstel, 1987) und (Krill et al., 1994).....	90
Tabelle 7-9: Mögliche Quellen für vermeidbare Geruchsemissionen (nach VDI 3475 Blatt 1, 2003)...	95
Tabelle 7-10: Richtwerte für Mindestabstände zwischen Kompostanlage und Nutzungen mit Standard-Schutzbedarf <sup>1)</sup> bzw. zwischen Kompostanlage und Nachbarschaft mit erhöhtem Schutzbedarf, ab deren Unterschreitung eine detaillierte Einzelfallbetrachtung in Abhängigkeit der verarbeiteten Materialart und des Jahresdurchsatzes zur Überprüfung der Standortegnung durchzuführen ist. ....	101
Tabelle 7-11: Beispiele zum spezifischen Mengenanfall von flüssigen Emissionen aus Kompostierungsanlagen .....	107
Tabelle 7-12: Die Belastungsschwankungen getrennt nach Press-, Prozess- und Kondenswasser sind ÖNORM S 2205 entnommen. ....	108
Tabelle 7-13: Auswahl an Grenzwerten für das Einleiten von Abwasser in Fließgewässer und Öffentliche Kläranlagen (Anonym, 1999).....	108

Tabelle 7-14: Sickersaft- bzw. Schmutzwasserbelastung in der Bioabfall- und Grüngutkompostierung und Abwasserbelastung einer Vergärungsanlage.....	109
Tabelle 7-15: Mindest-Längsgefälle (%) für Rotteflächen in Abhängigkeit von Niederschlag, Mietenhöhe, Überdachung und Belüftungs- bzw. Entwässerungseinrichtungen .....	112
Tabelle 7-16: Erforderliches Speichervolumen für Sicker- und Niederschlagswässer von abgedichteten Flächen, berechnet nach ÖKL-Baumerkblatt 24a (ÖKL, 1993).....	113
Tabelle 7-17 Einteilung in Risikogruppen nach der EG-Richtlinie 90/679/EWG <sup>a)</sup> (Dobhoff, 2001) ....	119
Tabelle 7-18: Auswahl von im Bioabfall nachgewiesenen Mikroorganismen (Böhm et al., 1998; Weinrich et al., 1996 modif.) zit. nach Reinthaler et al. (2000) und relativer Anteil der gefunden Keime in 80 Komposten aus Niederösterreich. ....	119
Tabelle 7-19: Zusammenstellung der Keimzahlen für einige ausgewählte mikrobiologische Parameter im Bioabfall und im Kompost.....	121
Tabelle 7-20: Hygienisch relevante Bakterien (haupts. thermophile Aktinomyzeten) und thermotolerante Pilze (Auswahl), die während der Kompostierung zu einer Massenentwicklung kommen (Kutzner, 1994) zit. und modifiziert in Reinthaler et al. (2000).....	122
Tabelle 7-21: Bandbreite an Vorgaben zum indirekten Hygienisierungsnachweis über die Dokumentation eines Temperatur/Zeitregimes in Europäischen Regelungen.....	123
Tabelle 7-22: Eckdaten der offenen Mietenrotten, deren Hygienisierungsleistung im Rahmen einer Dänischen Studie untersucht wurden (aus Kjellberg-Christensen et al., 2002). ....	124
Tabelle 7-23: Eckdaten der geschlossenen, zwangsbelüfteten Rottesysteme, deren Hygienisierungsleistung im Rahmen einer Dänischen Studie untersucht wurden (aus Kjellberg-Christensen et al., 2002).....	125
Tabelle 7-24: Zwei Beispiele für die Beschreibung hygienisch geprüfter Baumuster (BGK e.V., 2001) .....	129
Tabelle 7-25: Varianten des Temperatur-Zeitregimes zum indirekten Nachweis der ausreichenden Reduktion von seuchenhygienisch relevanten Keimen .....	134
Tabelle 7-26: Anforderungen an die seuchenhygienische Unbedenklichkeit.....	143
Tabelle 7-27a: Reglungen für die Reduktion und Überprüfung von pathogenen Keimen, Unkrautsamen und austriebsfähigen Pflanzenteilen in einigen Europäischen Ländern .....	144
Tabelle 7-28: Etablierte Grenz-/Orientierungswerte für Luftkeime und eine Auswahl an Schwellenwerten für bestimmte Erkrankungstypen.....	147
Tabelle 7-29: Lebendsporenkonzentration an <i>Aspergillus fumigatus</i> an verschiedenen Standorten (Mark, 1992a,b zit. nach Amlinger, 1993).....	150
Tabelle 7-30: Expositionsverhältnisse (Median) gegenüber Mikroorganismen in der Luft in verschiedenen Bereichen der Abfall- und Abwasserwirtschaft und natürliche Hintergrundwerte* .....	150
Tabelle 7-31: Einteilung der aeroben Kompostierungsverfahren aus Arbeitsschutzsicht (Schappler Scheele, 1997) .....	152
Tabelle 7-32: Flächenspezifische Keimfracht in KBE m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> beim Umsetzen der Miete a vor und nach einer kurzzeitigen Bewässerung (Kühner, 2001).....	153
Tabelle 7-33: Sporenkonzentration während der Reife (Sporen pro Gramm Trockengewicht) .....	153
Tabelle 7-34: Mittlere Konzentration aerosolisierter Sporen (Sporen m <sup>-3</sup> ) .....	156
Tabelle 7-35: Zusammenstellung der Emissionsfaktoren bezogen auf eine Tonne Frischmasse der eingesetzten Ausgangsmaterialien aus verschiedenen Untersuchungsprogrammen .....	173
Tabelle 7-36: Kalkulatorischer relativer Anteil der klimarelevanten Gasemissionen aus der Kompostierung am nationalen Gesamtpotenzial .....	174
Tabelle 7-37: Emissionen klimarelevanter Gase, von Ammoniak sowie Umrechnung auf CO <sub>2</sub> -Äqu. in Deutschland und Österreich.....	175
Tabelle 7-38: Grundlagendaten und CO <sub>2</sub> -Äqu. für die einzelnen Gase in Deutschland (2000).....	175
Tabelle 7-39: Spezielle Optimierungsmaßnahmen in der offene Mietenrotte mit passiver Belüftung: .....	177
Tabelle 7-40: Spezielle Optimierungsmaßnahmen für geschlossene Intensiv- und Hauptrottesysteme mit Zwangsbelüftung und Abluftreinigung (Box, Tunnel, Halle): .....	177
Tabelle 7-41: Zusammenstellung verschiedener Literaturquellen zur Identifizierung und Quantifizierung von flüchtigen Stoffen bei der Kompostierung von Grün- und Bioabfällen (Leitkomponenten: fett) .....	183
Tabelle 7-42: Anlagendaten der Kompostierungsanlagen Neumünster und Flensburg (D) (Bartels & Kruse, 2002).....	191

Tabelle 7-43: Prozentuale Anteile verschiedener Substanzklassen an den Summenkonzentrationen aller im Roh- bzw. Reingas identifizierten VOC (Bartels & Kruse, 2002) .....	192
Tabelle 7-44: Abschätzung der Effektivität (Wirkungsgrad) der Abluftreinigungssysteme bzgl. TVOC (Bartels & Kruse, 2002).....	192
Tabelle 7-45: Effektivität der Abluftreinigungssysteme gegenüber verschiedene Substanzklassen (Bartels & Kruse, 2002).....	193
Tabelle 7-46: Grüngutkompostierung im Sommer - Gesamtemissionen der Anlage (Stredwick, 2001).....	193
Tabelle 7-47: Emissionen organischer Stoffe und C <sub>ges.</sub> (FID) im Roh- und Reingas (Biofilter) einer Bioabfall-Kompostierungsanlage (Jäger & Mayer, 1996).....	195
Tabelle 7-48: Emissionsfrachten bei einer geschlossenen Anlage mit belüfteter Tafelmietenkompostierung, Roh- und Reingas, Reinigungsleistung Abluftbehandlung (Gronauer et al., 1997).....	195
Tabelle 7-49: Globale Emissionen biogener VOC (FAL, 2002).....	196
Tabelle 7-50: Biogene VOC-Emissionen in der Schweiz (Flächenbezug: Waldfläche: 11.733 km <sup>2</sup> , Grasfläche: 750.000 ha, Ackerfläche: 290.000 ha) (FAL, 2002).....	197
Tabelle 7-51: Konzentrationen und Massenströme von natürlichen VOC in der menschlichen Atemluft (Alveolarluft) (nach Fenske & Paulsen, 1999).....	197
Tabelle 8-1: Grenzwerte für Schwermetalle gemäß KompostVo .....	201
Tabelle 8-2: Prozentueller Anteil an Kompostproben und einzelnen Analysenwerten, die die Anforderungen für Bioabfallkomposte gemäß Anhang II A EU-VO 2092/91 EWG erfüllen (Amlinger & Peyr, 2001).....	201
Tabelle 8-3: Relativer Anteil einzelner Schwermetalle als Ursache der Grenzwertüberschreitung (Amlinger & Peyr, 2001).....	202
Tabelle 8-4: Anforderungen in Abhängigkeit von der Anwendungsmöglichkeit .....	203
Tabelle 8-5: Gehaltsbereiche an wertgebenden Inhaltsstoffen in Bio- und Grünschnittkomposten ...	205
Tabelle 9-1: Faustzahlen für die Schüttdichte von Ausgangsmaterialien und von Kompost.....	214
Tabelle 9-2: Beispiel zur Aufzeichnung der Zusammensetzung einer Kompostausgangsladung und zur weiteren Chargendokumentation bis zur verwendungsreifen Kompostladung .....	215
Tabelle 9-3: Technische Systeme in der Störstoffabtrennung (Thomé-Kozmiensky, 1992).....	220
Tabelle 9-4: Zerkleinerungssysteme in der Abfallaufbereitung (nach Thomé-Kozmiensky, 1992).....	224
Tabelle 9-5: Vergleich technischer „Intensivrottesysteme“ (geschlossene Hauptrotteverfahren) mit der offenen Mietenkompostierung hinsichtlich der wichtigsten Rotte- und Steuerparameter (nach Raninger et al., 1999, verändert).....	235
Tabelle 9-6: Rottesysteme zur Behandlung biogener Abfälle – Verfahrensvergleich (Raninger et al., 1999) .....	237
Tabelle 9-7: Bandbreiten der Zeitdauer der Rottephasen .....	246
Tabelle 9-8: Mietenformen und Abmessungen der Mieten.....	246
Tabelle 9-10: Maschenweiten, Anteil des Siebüberlaufes und Leistung des Windsichters im Zuge der Feinaufbereitung.....	291
Tabelle 9-11: In der Kompost-Feinaufbereitung eingesetzte Siebtypen .....	291
Tabelle 9-12: Typen der in der Kompostierung eingesetzten Magnetabscheider.....	296



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Organikanteil im Restabfall nach 7 Jahren systematischer getrennter Sammlung biogener Abfälle in den Bundesländern Mittelwert und Bandbreite; 1991 und 1998 Mittelwerte für Österreich (Hauer, 1999).....	19
Abbildung 3-2: Entwicklung und Potenzial des spezifischen Bioabfallaufkommens 1990 – 1999 (siehe Fußnote <sup>4</sup> ) .....	19
Abbildung 3-3: Entwicklung und Potenzial der Bioabfallsammlung in Österreich 1990 - 2000.....	20
Abbildung 3-4: Entwicklung und Potenzial der Bioabfallsammlung nach Bundesländern 1990 - 2000 .....	20
Abbildung 3-5: Anzahl und Verarbeitungskapazität <i>aller</i> Kompostanlagen in Österreich 2003.....	21
Abbildung 3-6: Anzahl und Verarbeitungskapazität der „ <i>landwirtschaftlichen</i> “ Kompostanlagen in Österreich 2003.....	21
Abbildung 3-7: Kompost Produktion 2000 und Potential bei maximalem Ausbau der getrennten Sammlung .....	23
Abbildung 3-8: Vermarktungswege für Kompost in Österreich .....	23
Abbildung 4-1: Aerober und anaerober Abbau von Zucker und Energiebilanz.....	27
Abbildung 4-2: Stufen der Mineralisierung der biogenen Ausgangssubstanzen durch den mikrobiellen Abbau (aus Binner, 2002).....	28
Abbildung 4-3: Stoffumsatzleistungen im Verlauf der Kompostierung (nach Grabbe & Schuchardt, 1993).....	29
Abbildung 4-4: <i>Günstiger Temperaturverlauf einer Bioabfallmiete</i> . Bereits nach 4 Wochen bleiben die Temperaturen unter 40°C.....	30
Abbildung 4-5: <i>Verzögerter Temperaturverlauf in einer Grünschnittmiete</i> ; erst nach knapp 3 Monaten sinkt die Temperatur trotz wöchentlichem Umsetzen dauerhaft unter 40 °C. ....	30
Abbildung 4-6: <i>Ungünstiger Temperaturverlauf</i> ; über 2 ½ Monate anhaltende Temperaturen über 70 °C bewirken Verbrennungsvorgänge, induzieren zusätzliche Geruchsstoffbildung und hemmen eine zügige mikrobielle Umsetzung.....	31
Abbildung 4-7: Massenbilanz der Bioabfallkompostierung (Ottow & Bidlingmaier, 1997) .....	32
Abbildung 4-8: Zusammenschau wesentlicher Prozessparameter: C-Abbau, Temperaturentwicklung, Ammoniumgehalt, pH. (aus Binner, 2003a).....	32
Abbildung 6-1: Die Bedeutung der Kompost-Rohstoffe im Zusammenhang mit Rotteprozess und Endproduktqualität (nach Amlinger, 1996) .....	41
Abbildung 6-2: Vergleich der Schwermetallgehalte von 4 Gruppen von möglichen Inputmaterialien mit der Qualität von Bioabfallkomposten und europäischen Grenzwerten für Komposte .....	50
Abbildung 6-3: Beitrag unterschiedlicher Fremdstoffgehalte auf den Schwermetallgehalt im Kompost (Gronauer et al., 1997) .....	54
Abbildung 7-1: Verfahrensablauf der Kompostierung mit relevanten Emissionen (nach Bidlingmaier et al., 1997) .....	64
Abbildung 7-2: Modellhafter Temperaturverlauf bei der Kompostierung und Zuordnung der verschiedenen Prozessphasen.....	70
Abbildung 7-3: Geruchsstoffe bei der Kompostierung (Jager. et al., 1995) .....	70
Abbildung 7-4: Geruchsstoffe bei der Kompostierung (Jager et al., 1995) .....	79
Abbildung 7-5: Schematischer Aufbau einer Biofilteranlage (modifiziert nach [FISCHER, 1997]) .....	82
Abbildung 7-6: Schematischer Aufbau eines Biowäschers [modifiziert nach (VDI, 1996)] .....	88
Abbildung 7-7: Schematischer Aufbau eines Rieselbettreaktors (modifiziert nach [VDI, 1996]) .....	89
Abbildung 7-8: Verwertungsmöglichkeiten für Sickerwasser von Bioabfallkompostierungsanlagen verändert nach Roth et al. (1990) .....	111
Abbildung 7-9: Gesamtschema der Sickerwassersammlung, Vorreinigung, Zwischenspeicherung mit angeschlossener vertikaler Pflanzenkläranlage (aquaconsulting, Hamburg).....	117
Abbildung 7-10: Schema einer vertikalen Pflanzenkläranlage mit Kontrollschacht (System Ökologisches Projekt Graz) .....	117
Abbildung 7-11: Mittlere Sporenkonzentrationen in der Umgebungsluft von Kompostmieten während des Umsetzens, Absiebens und Ruhens in Abhängigkeit von der Entfernung .....	156
Abbildung 7-12: Verlauf der Konzentrationen von NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O und CH <sub>4</sub> in Relation zu CO <sub>2</sub> bei der Kompostierung von Stallmist (nach Hellebrand & Kalk, 2000) .....	163

Abbildung 7-13: CO <sub>2</sub> -Emissionen in 3 bis 7-tägig umgesetzten offenen Mieten. <i>Stundenmittelwerte pro Tonne FM Input-Material [g h<sup>-1</sup>t<sup>-1</sup>]; M-Bio2 ... Biotonnenkompost; M-GS2 ... Grünschnittkompost.</i> (Amlinger & Peyr, 2003) .....	164
Abbildung 7-14: CO <sub>2</sub> -Emissionskonzentrationen [mg/Nm <sup>3</sup> ], CO <sub>2</sub> -Emissionsmassenströme [kg/h], CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren [kg t <sup>-1</sup> FM], jeweils mit Standardabweichung .....	164
Abbildung 7-15: Kumulierte CH <sub>4</sub> -Emissionen aus Bioabfall (berechnet aus Hellmann, 1995) .....	165
Abbildung 7-16: Kumulierte CH <sub>4</sub> -Emissionen während der Bioabfallkompostierung mit verschiedenen Strukturanteilen (Hellmann, 1995) .....	165
Abbildung 7-17: CH <sub>4</sub> -Emissionen in 3 bis 7-tägig umgesetzten offenen Mieten. <i>Stundenmittelwerte pro Tonne FM Input-Material [g h<sup>-1</sup>t<sup>-1</sup>]; M-Bio2 ... Biotonnenkompost; M-GS2 ... Grünschnittkompost.</i> (Amlinger & Peyr, 2003) .....	166
Abbildung 7-18: CH <sub>4</sub> -Emissionskonzentrationen [mg/Nm <sup>3</sup> ]; CH <sub>4</sub> -Emissionsmassenströme [g/h]; CH <sub>4</sub> -Emissionsfaktoren [g t <sup>-1</sup> FM], alle mit Standardabweichung .....	166
Abbildung 7-19: N <sub>2</sub> O-Emissionen in 3 bis 7-tägig umgesetzten offenen Mieten. <i>Stundenmittelwerte pro Tonne FM Input-Material [g h<sup>-1</sup>t<sup>-1</sup>]; M-Bio2 ... Biotonnenkompost; M-GS2 ... Grünschnittkompost.</i> (Amlinger & Peyr, 2003) .....	168
Abbildung 7-20: Zusammenhang zwischen CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Konzentrationen in Bereichen von Rottemieten (Cuhls, 2001) .....	169
Abbildung 7-21: Kumulierte N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Bioabfall-Mietenkompostierung bei unterschiedlichen Umsetzintervallen (berechnet aus Hellmann, 1995) .....	169
Abbildung 7-22: Kumulierte N <sub>2</sub> O-Emissionen während der Bioabfallkompostierung mit verschiedenen Strukturanteilen (Hellmann, 1995) .....	169
Abbildung 7-23: N <sub>2</sub> O-Emissionskonzentrationen [mg/Nm <sup>3</sup> ]; N <sub>2</sub> O-Emissionsmassenstrom [g/h]; N <sub>2</sub> O-Emissionsfaktor [g t <sup>-1</sup> FM], jeweils mit Standardabweichung .....	170
Abbildung 7-24: N <sub>2</sub> O-Gehalte im Roh- und Reingas der RABA Bassum (zeitgleiche Messpaare) ....	170
Abbildung 7-25: NH <sub>3</sub> -Emissionen in 3 bis 7-tägig umgesetzten offenen Mieten. <i>Stundenmittelwerte pro Tonne FM Input-Material [g h<sup>-1</sup>t<sup>-1</sup>]; M-Bio2 ... Biotonnenkompost; M-GS2 ... Grünschnittkompost.</i> (Amlinger & Peyr, 2003) .....	171
Abbildung 7-26: Stickstoffbilanz eines Biofilters in der Abluft einer biologischen Abfallbehandlungsanlage (Cuhls, 2001) .....	172
Abbildung 7-27: Zusammenfassende Übersicht über Verlauf und Produkte der wichtigsten Gärungen (Schlegel, 1992); beispielhafte organische Luftschadstoffe (MVOC) = fett .....	180
Abbildung 7-28: MVOC im Bioabfall während der Kompostierung (aus: Weppen et al., 1998) .....	181
Abbildung 7-29: NMVOC im Rohgas verschiedener MBA in Deutschland (Cuhls, 2001) .....	194
Abbildung 7-30: Emissionsfrachten NMVOC im Rohgas aus vier MBA mit unterschiedlicher eingehauster Rottedauer zwischen 5 Tagen und 16 Wochen, angegeben in g C t <sup>-1</sup> FM Rotteinput .....	196
Abbildung 8-1: Aufteilung von 65 Komposten von landwirtschaftlichen Kompostierungsanlagen aus NÖ auf die Kompostklassen der KompostVo (Bala et al., 2000) .....	202
Abbildung 8-2: Häufigkeitsverteilung der el. Leitfähigkeit in 65 Kompostproben von 13 landwirtschaftlichen Kompostierungsanlagen (Bala et al., 2000) .....	204
Abbildung 8-3: Ergebnis des Kressetests mit 15 bzw. 30 % (m/m) Kompostanteil in 65 Kompostproben von 13 landwirtschaftlichen Kompostierungsanlagen (Bala et al., 2000) .....	204
Abbildung 8-4: Beziehungen zwischen Qualitätsmerkmalen (Nährstoffgehalten) und dem Anteil an biogenen Abfällen aus der Biotonne (berechnet aus den Kompostuntersuchungen aus Bala et al., 2000) .....	206
Abbildung 9-1: Schema der Prozessführung und begleitende Qualitätssicherungsmaßnahmen sowie Dokumentation am Beispiel einer Klärschlammkompostierungsanlage mit offener Mietenkompostierung .....	208
Abbildung 9-2: Beispiel für einen Überdachten Annahmehbereich mit getrennten Sektoren für Grüngut und Biotonne, bzw. nicht verholzte Gewerbeabfälle .....	217
Abbildung 9-3: Erfolg der manuellen Fremdstoffauslese in Abhängigkeit des Störstoffgehaltes im Ausgangsmaterial (Gronauer et al., 1997) .....	219
Abbildung 9-4: Systeme der Fremdstoffabscheidung .....	219
Abbildung 9-5: Gerätetypen für die Zerkleinerung von Baum- und Strauchschnitt (nach Reloe & Schuchardt, 1993) .....	224
Abbildung 9-6: Schredder/ Schlegelhäcksler .....	226
Abbildung 9-7: Werkzeug des Schlegelhäckslers und Einwellenzerkleinerer .....	226

Abbildung 9-8: Kammwellenzerkleinerer .....	227
Abbildung 9-9: Schneckenmühlen .....	227
Abbildung 9-10: Bereich für den optimalen Wassergehalt im Rottegut im Verlauf der Kompostierung mit Schwankungsbreiten .....	228
Abbildung 9-11: Stickstoffverlust während der Kompostierung in Abhängigkeit des C/N- Verhältnisses der Kompostausgangsmischung (nach Grabbe & Schuchardt, 1993) .....	229
Abbildung 9-12: Rahmenbedingungen der biologischen und mechanischen Substrataufbereitung für die Kompostierung .....	231
Abbildung 9-13: Atmungsaktivität (AT <sub>4</sub> ) von Restabfall im Rotteverlauf (Wallmann et al., 2003) .....	244
Abbildung 9-14: Entwicklung der Atmungsaktivität (AT <sub>4</sub> und AT <sub>7</sub> ) einer Bioabfall- (links) und einer Grünschnittmiete (rechts) im Rotteverlauf (Amlinger und Peyr, 2003) .....	244
Abbildung 9-15: Entwicklung der Atmungsaktivität (AT <sub>4</sub> ) einer offenen Mietenkompostierung von grünschnittreichen Bioabfall und einer Tunnelrotte von Bioabfall (Binner, persönliche Mitteilung) .....	245
Abbildung 9-16: Ablaufschema einer offenen Mietenrotte für biogene Abfälle mit den wichtigsten Prozess- und Manipulationsschritten .....	247
Abbildung 9-17: Zusammenhang von passiver Mietenbelüftung (kaminzugverfahren, Konvektion) und Materialstruktur (Binner, 2003b) .....	247
Abbildung 9-18: Standardaufbau der Rotte- und Manipulationsfläche .....	249
Abbildung 9-19: Standardaufbau für folienabgedichtete Retentionsbecken .....	249
Abbildung 9-20: Beispiel einer einfachen offenen Mietenkompostierungsanlage ohne Belüftung und mit Bearbeitung mittels gezogener Wendemaschine .....	250
Abbildung 9-21: Seitlich gezogenes Umsetzgerät mit Vorrichtung zum Auf- und Abwickeln von Kompostvlies .....	257
Abbildung 9-22: Mit Vlies abgedeckte Kompostmiete auf einer langgestreckten befestigten Fläche am Feldrand .....	257
Abbildung 9-23: Das COMPONENT System mit temperaturgesteuerter Belüftungsregelung für die zwangsbelüftete offene Mietenrotte (Quelle: Seiringer <a href="http://www.seiringer.at/umwelttechnik/umwelttechnik_d.html">http://www.seiringer.at/umwelttechnik/umwelttechnik_d.html</a> ) .....	263
Abbildung 9-24: Verfahrenskomponenten und Prozessabläufe in einer abgedeckten und geregelten Miete (Kühner, 2001) .....	265
Abbildung 9-25: Boxenversion mit Planenabdeckung (Kühner, 2001) .....	265
Abbildung 9-26: Visualisierung des BIODEGMA®- Rottesystems (Quelle: BIODEGMA®) .....	266
Abbildung 9-27: Rottemodule mit einer automatisierten Klappabdeckung (Kühner, 2001) .....	266
Abbildung 9-28: Eingehaustes Rottesystem -Wendelin (Binner, 2003b) .....	270
Abbildung 9-29: Bühler-Umschichtmaschine Wendelin (Quelle: Kompotec, . <a href="http://www.kompotec.de/ko_werk.htm">http://www.kompotec.de/ko_werk.htm</a> (2003/07/03)) .....	270
Abbildung 9-30: Koch Kompost-Wandermietenumsetzer Calw, Deutschland (Quelle: <a href="http://www.kochtrans.de/home.asp">http://www.kochtrans.de/home.asp</a> (2003/07/03)) .....	270
Abbildung 9-31: Fließschema der ZEMKA Gesellschaft m. b. H. (Zentrale Müllklärschlammverwertungsanlagen) (Quelle: Zemka) .....	271
Abbildung 9-32: Geschlossenes System - Rottebox (Binner, 2003b) .....	277
Abbildung 9-33: Skizze Herhof Rottebox (Quelle: Herhof . <a href="http://www.herhof.de/inhalt/3100.htm#3">http://www.herhof.de/inhalt/3100.htm#3</a> (2003/07/03)) .....	277
Abbildung 9-34: Herhof Rottebox (Quelle: Biokomp <a href="http://www.biokomp.de/rotte.html">http://www.biokomp.de/rotte.html</a> (2003/07/03)) .....	277
Abbildung 9-35: Befüllung Herhof Rottebox (Quelle: Herhof . <a href="http://www.herhof.de/inhalt.html">http://www.herhof.de/inhalt.html</a> (2003/07/03)) .....	277
Abbildung 9-36: Visualisierung der Prozessregelung bei der Linde-Tunnelkompostierung (Quelle: Linde-KCA-Dresden) .....	281
Abbildung 9-37: Schema des Linde-Tunnelrotteverfahrens (Quelle: Linde-KCA-Dresden) .....	281
Abbildung 9-38: Funktionsskizze und Foto eines Trommelsiebs (Quelle: Pretz, 2002) .....	292
Abbildung 9-39: Funktionsskizze und Foto eines Spannwellensiebs (Quelle: Pretz, 2002) .....	293
Abbildung 9-40: Funktionsskizze und Foto eines Scheibensiebs (Quelle: Pretz, 2002) .....	293
Abbildung 9-41: oben: Funktionsskizze von Zick-zack-Windsichtern; unten: Fotos einer stationären und einer mobilen, am Siebüberlaufband angebrachten Windsichteranlage. (Quellen: Pretz, 2000; Foto rechts: ©Amlinger) .....	295
Abbildung 9-42: Trommel- und Überband-Magnetabscheider (Quelle: Pretz, 2002) .....	297

Abbildung 9-43: Prinzip von Hartstoff(Prall)abscheiden (Pretz, 2002).....298





[lebensministerium.at](http://lebensministerium.at)