

Untersuchungen zur Emission von Pilzsporen in Betriebsbereichen zur Bioabfallkompostierung

E. Göttlich und K.-H. Engesser

Mit finanzieller Unterstützung durch das BMFT im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprogramms der Bundesregierung "Arbeit und Technik"
(Förderkennzeichen 01 HK 659).

Inhalt

Zusammenfassung	92
1 Einleitung	92
2 Material und Methoden	94
2.1 Bioabfallkompostierungen Verfahren - Betriebsbereiche	94
2.2 Beprobte Arbeitsgänge und Versuchsmietenkompostierung	94
2.3 Charakterisierung der Pilzbelastungen	96
2.4 Untersuchungen im Kompost - Versuchsmietenkompostierung	97
2.5 Klimawerte an den Untersuchungstagen - Versuchsmietenkompostierung	97
3 Ergebnisse	98
3.1 Größenbereiche der Pilzbelastungen	98
3.2 Dominante und häufig auftretende Pilztaxa	102
3.2.1 Außenluftarbeitsbereiche zur Kompostierung	103
3.2.2 Innenraumarbeitsbereiche zur Kompostierung	107
4 Diskussion	108
4.1 Probenahmeverfahren und Wahl der Isolierungsmedien	108
4.2 Pilzbelastungen bei Arbeiten in Bioabfallkompostierungen	109
4.2.1 Geschlossene Rottehalle - Luftreinhaltung in Fahrerkabinen auf Radladern	110
4.2.2 Einfluß der Rottephase und der Kompostfeuchte auf die Pilzgehalte bei Arbeiten in der Außenluft	110
4.3 Nachgewiesene Pilztaxa	112
4.4 Ausblicke für die Praxis	114
Literatur	115

Zusammenfassung

Zur Bestimmung der Pilzbelastungen von Müllwerkern in verschiedenen Bioabfallkompostierungen, darunter hoch belasteten Arbeitsbereichen, wurden personenbezogene Probenahmen mit Filterkassetten durchgeführt. Die häufige Präferenz thermophiler und thermo-toleranter Arten in den Aerosolen ergab ein für die Kompostierung charakteristisches Muster. Die Belastungen bei Arbeitsgängen in Innenraum- und Außenluftarbeitsbereichen zur Kompostierung waren durchweg durch große Gehalte an *Aspergillus fumigatus*, sowie bei Einzeluntersuchungen von weiteren thermotoleranten Aspergillen, insbesondere *A.nidulans*, den thermophilen Arten *Talaromyces thermophilus*, *Thermomyces lanuginosus* und *Malbranchea sulfurea* und mesophilen Arten, hauptsächlich *Penicillium variable*, *P.crustosum*, *P.glabrum* sowie *Doratomyces microsporus* gekennzeichnet. Massive Belastungen von mehr als 10^7 KBE m^{-3} traten in einer Rottehalle auf. Zeit- und temperaturabhängig von der Rotte lagen die Belastungen der Luft durch thermophile und thermotolerante Pilze bei einer Versuchsmietenkompostierung z.T noch über den Belastungen durch mesophile Pilze. Hinsichtlich einer Verbesserung des Arbeitsschutzes sind insbesondere die Art der ergriffenen Luftreinigungsmaßnahmen in Fahrerkabinen auf Radladern und der Feuchtegehalt der Komposte zu beachten.

1 Einleitung

In Kompostwerken können beim Arbeiten mit Abfallstoffen massive Pilzsporenbelastungen der Luft beobachtet werden. Zu den kritischen Bereichen zur Kompostierung zählen ganz besonders die gekapselten Rottebereiche, in denen Gehalte an Pilzsporen über 10^6 KBE m^{-3} Luft nachgewiesen werden (Crook et al., 1988).

Dergleichen Pilzbelastungen beim Umgang mit biologischen Stoffen in Arbeitsbereichen müssen hinsichtlich der Arbeitsschutzfragen und der Luftreinhaltung beurteilt werden.

Schwierigkeiten bei der Abschätzung der gesundheitlichen Gefährdungen bei Arbeiten in pilzsporenbelasteten Arbeitsbereichen ergeben sich bei der Diagnose bekannter allergischer Lungenerkrankungen. Diese gelten bisher als schwer zu erkennen und zu behandeln (Mishra et al., 1992). Einer der Hauptgründe hierfür ist der ungenügende Kenntnisstand über die generellen sowie die spezifischen Expositionen von Betroffenen gegenüber der Zahl an verschiedenen Pilzarten in der Luft.

Bei den beruflichen Expositionen gegenüber Pilzen bei der Kompostierung ist zu beachten, daß durch die thermischen Prozesse bei der Verrottung vor allem für thermotolerante und thermophile Pilze neben verschiedenen thermophilen Actinomyceeten günstige Wachstumsbedingungen bestehen (Klopotek, 1962; Kane & Mullins, 1973; Strom, 1985; Bertoldi & Zucconi, 1987; Selldorf et al., 1992). Es kann zu hohen Besiedlungsdichten an fakultativ pathogenen, sowie allergenen Pilzarten in den Komposten kommen.

Untersuchungen in der Arbeitsumgebung und an den Emissionsquellen geben in diesem Zusammenhang wichtige Hinweise auf die Belastungssituationen der Beschäftigten durch Sporemissionen aus den pilzbesiedelten Arbeitsstoffen. Im Rahmen der hier vorgestellten Studie wurden außerdem gezielt Arbeitsbelastungen bei Müllwerkern mit personenbezogenen Probenahmen bestimmt.

Im folgenden Beitrag werden Einzelergebnisse durchschnittlicher Arbeitsbelastungen bei einem **Rottebox-Verfahren**, einem **Rottetrommel-Verfahren** sowie bei **offenen** und einer **gekapselten Mietenkompostierung** und einer **statischen Nachrotte** dargestellt.

Dominant auftretende sowie häufige Pilztaxa in der Luft wurden bei allen Kompostierungsverfahren bestimmt. Die Präferenz einzelner Pilztaxa in den Aerosolen über den gesamten Rottezeitraum, sowie die Einflüsse von Rotteparametern und der Witterung auf die Pilzgehalte der Luft, wurden an einer **Versuchsmietenkompostierung** untersucht.

2 Material und Methoden

2.1 Bioabfallkompostierungen Verfahren - Betriebsbereiche

In den beprobten Bioabfallkompostwerken werden die folgenden Verfahren zur Bioabfallkompostierung praktiziert:

- * **Offene Mietenkompostierungen**
- * **Gekapselte Mietenkompostierung**
- * **Statische Nachrotte**
- * **Rottebox-Verfahren**
- * **Rottetrommel-Verfahren**

Die Kompostierungsbereiche waren in den Betrieben verschieden integriert:

Zu den **Innenraumarbeitsbereichen** zählen zwei unterschiedliche **Rottebereiche**, einmal die **Kompostierung auf Mieten (2)** sowie die **Kompostierung in einer Rottetrommel (3)**. In der Rottehalle zur Mietenkompostierung wird die Abluft vollständig erfaßt, Entstaubung und Desodorierung wurden durchgeführt. Die Halle wird von den Beschäftigten mit Atemschutz (P3 - Helm) betreten. Bei dem Rottetrommel-Verfahren wird die Hallenluft über eine zentrale Abluftanlage im Werk entstaubt.

Bei den **Außenluftarbeitsbereichen** handelt es sich um einen **Betriebshof mit Vorrottebox (4)** sowie um **nicht überdachte Rotteflächen zur Mietenkompostierung (1 und 5)** und einer **Statischen Nachrotte (6)** (Tab.1). Es wird in der Außenluft bei wechselnder Witterung gearbeitet.

2.2 Beprobte Arbeitsgänge und Versuchsmietenkompostierung

Bei den Bioabfallkompostierungs-Verfahren sind verschiedene nicht automatisierte Arbeiten als feste Bestandteile der Verfahren eingeplant bzw. es liegt ein Bereichsarbeitsplatz vor. Meist handelt es sich um Radladerarbeiten z.B. zum Umsetzen von Mieten. Weiter sind Kontrolltätigkeiten notwendig.

Die verschiedenen Arbeitsgänge wurden wie in Tab.1 dargestellt beprobt.

Tab.1: Untersuchte Arbeitsgänge bei den Kompostierungen (1-6) und Probenahmen

Bioabfallkompostierungen	Arbeitsgänge	Probenahmen
Versuchsmietenkompostierung (1)	Aufsetzen u. Umsetzen einer Miete zu verschiedenen Rottezeiten	Außenluft
Gekapselte Mietenkompostierung (2)	Umsetzen von Vorrottemieten mit Radlader ¹	Rottehallenluft
Rottetrommel-Verfahren (3)	Bereichsarbeitsplatz mit Arbeitsgängen in der Rottehalle und im gesamten Rottebereich (Halle, Außenluft) u. Verwaltungsgebäude	Rottehallenluft u. Gesamtarbeitsbereich
Rottebox-Verfahren (4)	Entladen von Frischkompost mit Radlader ²	Fahrerkabinenluft
Offene Mietenkompostierung (5)	Umsetzen von Hauptrottemieten mit Radlader ³	Fahrerkabinenluft u. Außenluft
Statische Nachrotte (6)	Anbohren von Nachrotte-(Tafel)mieten mit Bohraggregat, Radladereinsatz ⁴	Fahrerkabinenluft

^{1 2 3} keine Entstaubung; ⁴ Grobstaubfilter

Versuchsmietenkompostierung (1)

Die Versuchsmiete wurde Anfang März '92 aufgesetzt und über 14 Wochen bis zu einem Rottegrad von 4 (LAGA, 1985) des Fertigkomposts geführt.

Die Miete aus ca. 9 m³ frischen Bio- und Grünabfällen mit einem hohen Feuchtegehalt von 70 Gew.% wurde ohne weitere Materialaufbereitung mit einem Radlader auf dem Betriebshof aufgesetzt. Nach einer Woche wurde der Wassergehalt des Mietenmaterials und damit auch die Durchlüftung des Mietenkörpers korrigiert. Es wurde dazu der Miete Strukturmaterial in

Form von gehäckselten Grünabfällen zugesetzt. Zu späteren Rottezeiten wurde der Miete bei zu geringen Feuchtegehalten Wasser zugegeben.

Das Umsetzen der Miete erfolgte erstmals nach einer Woche, später einmal pro Woche und ab der 4. Rottwoche in drei bzw. zweiwöchigen Abständen jeweils mit einem selbstfahrenden, fräsenden Mietenumsetzgerät. Beprobt wurde zu den Umsetzzeiten in der Außenluft in 3 m Entfernung von der Miete.

2.3 Charakterisierung der Pilzbelastungen

Zur Ermittlung von **durchschnittlichen personenbezogenen Belastungen** der Beschäftigten bei Arbeiten mit den Bioabfallkomposten wurden **Filterkassetten** eingesetzt. Dazu wurden Filterhalter des Gesamtstaubprobenahmesystems (GSP, Gilian PP5) mit Gelatinefiltern (SM 12602 ALK, Sartorius) beladen, die bei den Luftprobenahmen entsprechend der Bestimmung von Gesamtstaubgehalten mit diesem Probenahmesystem bei einer Durchflußrate von 3,5 l/min beaufschlagt wurden. Es wurde **personenbezogen** beprobt.

Ermittelt wurden die Gehalte an vermehrungsfähigen Pilzen aus den Luftproben, die bezogen auf das Luftvolumen in **Koloniebildene Einheiten je m³ Luftvolumen (KBE m⁻³)** angegeben werden. Parameter waren die **Gehalte an Pilzen bei 45°C Bebrütungstemperatur**, bei der sowohl thermotolerante als auch thermophile Pilze gutes Wachstum zeigen (Cooney & Emerson, 1964), sowie die **Gehalte an Pilzen bei 25°C Bebrütungstemperatur**, bei der die Hauptmenge der mesophilen Pilze und darüberhinaus auch thermotolerante Pilze zu erwarten sind.

Die beaufschlagten Gelatinefilter wurden aufgelöst und über Verdünnungen auf je drei parallel angelegte Isolierungsplatten mit den Medien M2% (Gams et al., 1987) mit Streptomycinsulfat (50 mg/l, Fa.Sigma), DG18 (Oxoid) und GPY (Samson & Reenen-Hoekstra, 1988) mit Steptomycinsulfat (50 mg/l, Fa.Sigma) ausplattiert. Die Platten wurden zwischen fünf und sieben Tagen bei 45°C bzw. bei 25°C Bebrütungstemperatur inkubiert.

Nach der Auszählung der gewachsenen Kolonien auf den Isolierungsmedien wurden die Pilzisolate den Taxa zugeordnet.

Die Bestimmung der Pilztaxa erfolgte anhand neuerer und älterer Bestimmungsschlüssel und Literatur. Es wurden die makroskopisch und mikroskopisch morphologischen Merkmale bei der Kultivierung auf festen Medien zugrundegelegt (Arx, 1981; Cooney & Emerson, 1964; Domsch et al., 1980; Ellis 1971; Ellis 1976; Gams et al., 1987; Pitt, 1979; Raper & Fennell, 1965; Samson & Reenen-Hoekstra, 1988; Zycha et al., 1969).

Angegeben werden die Pilzisolat mit den maximalen Gehalten in KBE m⁻³ und den maximalen % Anteilen an den Pilzgehalten bei 45⁰C bzw. 25⁰C Bebrütungstemperatur auf den jeweiligen Medien M2%, DG18 und GPY.

Weiter wurde die Häufigkeit des Auftretens einzelner Taxa bei den sechs Kompostierungs-Verfahren als Maß genommen. Die relative Häufigkeit einer Art, die sich aus dem Auftreten bei einem oder mehreren der beprobten Kompostierungs-Verfahren ergibt, wird in vier Häufigkeitsstufen I bis IV eingeteilt angegeben.

2.4 Untersuchungen im Kompost - Versuchsmietenkompostierung

Bei der Versuchsmietenkompostierung (1) wurden Untersuchungen im Mietenmaterial durchgeführt. Als Maß für die im Mietenkern herrschenden **Rottetemperaturen** wurden an acht Tagen vor jedem Umsetzen der Miete die Temperaturwerte (0,9 m Tiefe von der Mietenoberfläche) mit Stechthermometern gemessen. Der **Feuchtegehalt** des Komposts zu verschiedenen Rottezeiten wurde in Kompostproben bestimmt und wird bezogen auf das Frischgewicht der Proben in Gew.% angegeben.

2.5 Klimawerte an den Untersuchungstagen - Versuchsmietenkompostierung

Die Außenluftbedingungen während den Arbeiten an der Versuchsmiete wurden anhand von Tagesmittelwerten zur **Lufttemperatur** (°C), zur **relativen Luftfeuchte** (%) und den **Niederschlagsmengen** (mm) von der Klimastation vor Ort aufgezeichnet.

3 Ergebnisse

3.1 Größenbereiche der Pilzbelastungen

Die personenbezogen untersuchten Pilzgehalte der Luft lagen zwischen 10^3 KBE m^{-3} und 5×10^7 KBE m^{-3} (Tab.2).

Tab. 2: Größenbereiche der Pilzgehalte 25 °C und 45 °C bei Arbeitsgängen zur Bioabfallkompostierung

Probenahmen	25°C Arbeitsgänge	Pilzgehalte (KBE m^{-3})	45°C Arbeitsgänge	Probenahmen
Rottehallenluft (2)	* Umsetzen von Vorrottemieten	$< 5 \times 10^7$	* Umsetzen von Vorrottemieten	Rottehallenluft (2)
-	-	$\leq 10^7$	-	-
Fahrerkabine- luft (4)	* Entladen von Frischkompost mit Radlader	$\leq 5 \times 10^6$	* Entladen von Frischkompost mit Radlader	Fahrerkabine- luft (4)
-	-	$\leq 10^6$	* Umsetzen einer Miete zu verschiedenen Rottezeiten	Außenluft (1)
Gesamtarbeitsbereich (3)	* Bereichsarbetsplatz mit Arbeitsgängen in der Halle, Außenluft u. Verwaltung	$\leq 5 \times 10^6$	* Umsetzen einer Miete zu verschiedenen Rottezeiten	Außenluft (1)
Rottehallenluft (3)	* Bereichsarbetsplatz mit Arbeitsgängen in der Rottehalle	$\leq 10^6$	-	-
Außenluft (5)	* Umsetzen von Hauptrottemieten mit Radlader	-	-	-
Außenluft (1)	* Umsetzen einer Miete zu verschiedenen Rottezeiten	-	-	-
Außenluft (1)	* Aufsetzen u. Umsetzen einer Miete zu verschiedenen Rottezeiten	$\leq 5 \times 10^6$	* Umsetzen von Hauptrottemieten mit Radlader	Fahrerkabine- luft u. Außenluft (5)
Fahrerkabine- luft (5)	* Umsetzen von Hauptrottemieten mit Radlader	-	* Anbohren von Nachrotte-(Tafel)mieten mit Bohrgregat, Radladerereinsatz	Fahrerkabine- luft (6)
Fahrerkabine- luft (6)	* Anbohren von Nachrotte-(Tafel)mieten mit Bohrgregat, Radladerereinsatz	-	* Bereichsarbetsplatz mit Arbeitsgängen in der Rottehalle, Außenluft u. Verwaltung	Rottehallenluft u. Gesamtarbeitsbereich (3)
Außenluft (1)	* Umsetzen einer Miete zu verschiedenen Rottezeiten	$\leq 10^6$	* Umsetzen einer Miete zu verschiedenen Rottezeiten	Außenluft (1)
Außenluft (1)	* Umsetzen einer Miete zu verschiedenen Rottezeiten	$\leq 5 \times 10^6$	* Aufsetzen u. Umsetzen einer Miete zu verschiedenen Rottezeiten	Außenluft (1)
-	-	$\leq 10^6$	-	-

(1), (2), (3), (4), (5) und (6) beprobte Kompostierungen

Die größten Belastungen traten bei der **Mietenkompostierung** in der **gekapselten Rottehalle (2)** und bei dem **Rottebox - Verfahren (4)** auf.

Zu beachten sind weiter die nahezu gleich großen Belastungen in der Fahrerkabine des Radladers verglichen mit den Belastungen in der Außenluft während dem **Umsetzen von Hauptrottemieten (5)**.

Bei den neun beprobten Arbeitsgängen zur **Versuchsmietenkompostierung (1)** wurden Pilzbelastungen in verschiedenen Größenbereichen nachgewiesen. Die Ergebnisse dazu sowie der Untersuchung zu den Rottetemperaturen in der Miete und der Feuchtegehalte des Kompostmaterials sind auf die Rottezeit (in Wochen) bezogen dargestellt (Abb.1 und Abb.2). Weiter sind die Klimawerte im Untersuchungszeitraum in Abb.3 gezeigt.

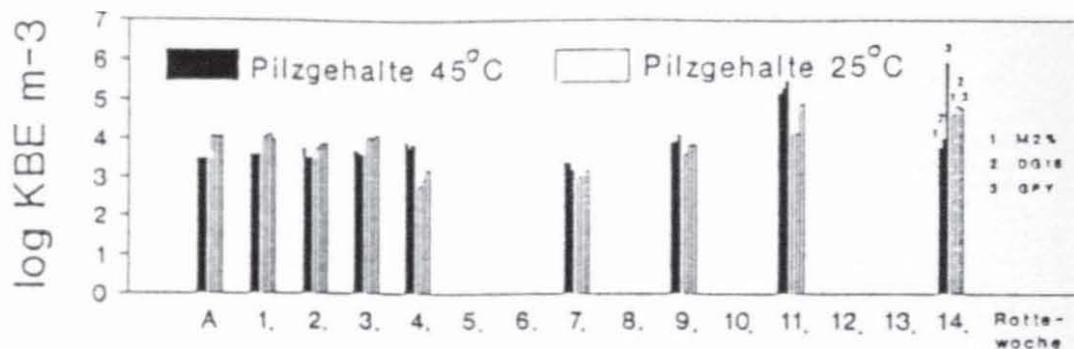


Abb. 1: Pilzgehalte 45 °C und 25 °C auf den Medien M2%, DG18 und GPY. Aufsetzen (A) und Umsetzen der Versuchsmiete Ende der 1.-4. und Ende der 7. 9. 11. und 14. Rottewoche

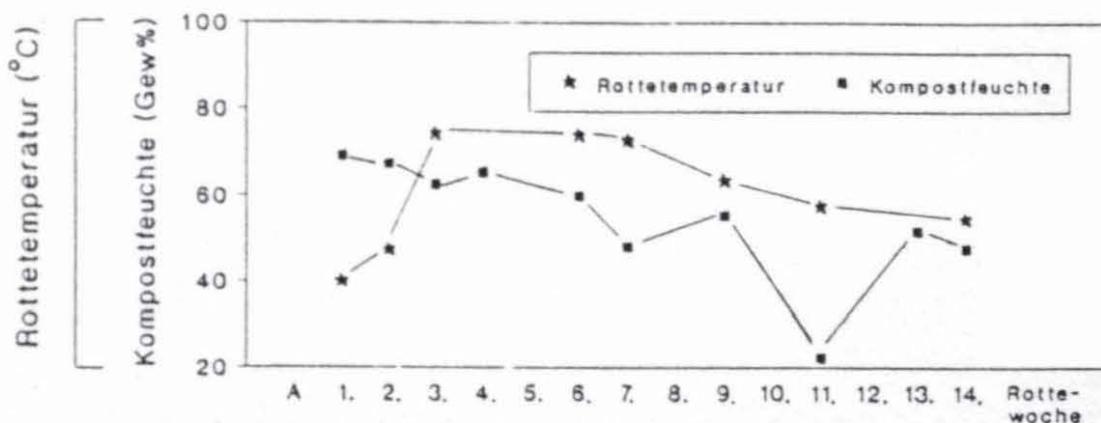


Abb. 2: Rottetemperatur (°C) und Kompostfeuchte (Gew%) der Versuchsmiete an den Untersuchungstagen Ende der 1. bis Ende der 14. Rottewoche

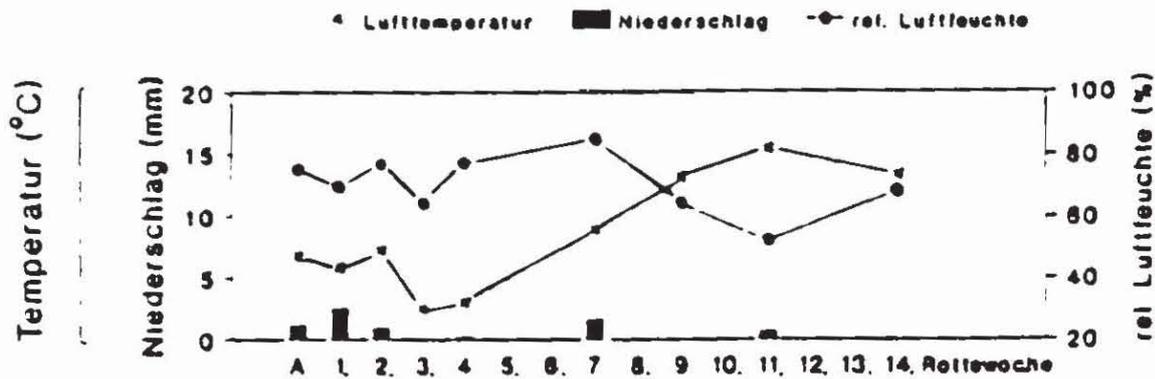


Abb. 3: Tagesmittelwerte zur Lufttemperatur (°C), zur rel. Luftfeuchte (%) und den Niederschlagsmengen (mm) an den Untersuchungstagen. Aufsetzen (A) und Umsetzen der Versuchsmiete Ende der 1.-4. und Ende der 7. 9. 11. und 14. Rottwoche

Versuchsmietenkompostierung (1)

Die Belastungen durch Pilzgehalte der Luft bei den neun beprobten Arbeitsgängen während der 14-wöchigen Versuchskompostierung waren deutlich verschieden. Dies galt vor allem für die Ergebnisse bei 45°C Bebrütungstemperatur, bei der Pilzgehalte zwischen minimal $1,4 \times 10^3$ KBE m^{-3} und maximal $8,8 \times 10^5$ KBE m^{-3} nachgewiesen wurden.

Anhand der Rottetemperaturen (Abb.2) in der Miete ließen sich eine Temperaturanstiegsphase (frühe Rottephase), eine fortgeschrittene Rottephase, bei der ca. 75°C in der Miete herrschten und eine späte Rottephase, in der die Temperaturen in der Miete wieder absanken für diese Versuchsmietenkompostierung zeitlich determinieren.

Aus den Pilzgehalten bei 45°C und 25°C Bebrütungstemperatur nachgewiesen mit den drei Medien M2%, DG18 und GPY (Abb.1), der Rottetemperatur und der Kompostfeuchte (Abb.2) und den Klimawerten (Abb.3) konnten einige grundsätzliche Feststellungen über die Belastungssituationen während der gesamten Rottezeit abgeleitet werden:

- Pilzgehalte in Größenbereichen von über 10^4 KBE m^{-3} bei 25°C Bebrütungstemperatur und über 10^3 KBE m^{-3} bei 45°C Bebrütungstemperatur waren vorherrschend.

- In der fortgeschrittenen Rottephase gegen Ende der 7. Rotteweche, in der hohe Rottetemperaturen über mehrere Wochen erreicht waren, wurden die über die gesamte Rottezeit insgesamt geringsten Pilzgehalte der Luft festgestellt. Diese korrelierten allerdings mit leichtem Regen und angestiegener Luftfeuchte, so daß hier der Einfluß der die Außenluft charakterisierenden Witterungsschwankungen auf die Pilzbelastungen ebenso beachtet werden muß.
- Bei Arbeiten in der späten Rottephase waren die Pilzbelastungen auffallend hoch und zwischen den Isolierungsmedien verschieden. Auf GPY Medium bei 45°C Bebrütungstemperatur wurden dabei die größten Pilzgehalte nachgewiesen.
- Die Rottetemperatur in der Miete zusammen mit der Rottephase des Kompostes wirkte sich auf das Verhältnis der Pilzgehalte 45°C : Pilzgehalte 25°C in der Luft aus. In den ersten Rottewochen, in denen die Temperatur im Mietenkern langsam anstieg, lagen die Gehalte an Pilzen 45°C deutlich unter den Gehalten an Pilzen 25°C. Es dominierten in dieser Phase die Pilzgehalte bei 25°C Bebrütungstemperatur in der Luft. Dies änderte sich mit Ende der 4. Rotteweche, als eine Rottetemperatur von 75°C über die Zeit von einer Woche vorlag. Von der 4. Rotteweche an bis einschließlich der 11. Rotteweche wurden auf allen drei Isolationsmedien höhere Gehalte an Pilzen bei 45°C Bebrütungstemperatur als zu Beginn der Rotte nachgewiesen. Ende der 14. Woche wurden bei der Isolierung mit GPY, hingegen nicht mit M2% - und DG18 - Medium bei 45°C Bebrütungstemperatur Pilze in maximalen Gehalten nachgewiesen.
- Eine geringe Materialfeuchte von 22 Gew % und eine gleichzeitig geringe Luftfeuchte gegen Ende der 11. Rotteweche korrelierten mit hohen Pilzgehalten bei beiden Bebrütungstemperaturen.

3.2 Dominante und häufig auftretende Pilztaxa

Tab.3: Relative Häufigkeiten der hauptsächlich nachgewiesenen Pilztaxa in der Luft. Temperaturoptimum (T_{Opt}) und Temperaturmaximum (T_{Max}) der Taxa nach Domsch et al., 1980; Cooney & Emerson, 1964; Reiß, 1986.

Taxa	Häufigkeit	T_{Opt} (°C)	T_{Max} (°C)
<i>Absidia corymbifera</i> (Cohn) Sacc & Trotter	III	35-37	45
<i>Aspergillus flavus/parasiticus</i> Gruppe	III	¹ 25-42	¹ 45,47-48
<i>Aspergillus fumigatus</i> Fres.	IV	37-43	52-57
<i>Aspergillus glaucus</i> Link ex Gray Gruppe	I	30	~43
<i>Aspergillus nidulans</i> (Eidam) Wint	IV	36 ¹ ,20-30	46-48
<i>Aspergillus niger</i> van Tieghem	IV	17-42	48
<i>Aspergillus terreus</i> Thom	III	35-40	48
<i>Aspergillus versicolor</i> (Vuill.) Tiraboschi	I	² 22,25-30	40
Basidiomyceten	II	verschieden	
<i>Botrytis cinerea</i> Pers.	I	22-25(30)	(28)33-35
<i>Corynascus sepedonium</i> (Emmons) von Arx	II	25-35	46
<i>Cladosporium</i> Link	III	18-28	32
<i>Doratomyces microsporus</i> (Sacc.) Morton & Smith	III	25	n. gen.
Hefen	III	verschieden	
<i>Malbranchea sulfurea</i> (Miehe) Sigler & Carmichael	I	>25	57
<i>Penicillium aurantiogriseum</i> Dierckx	III	³ <37	
<i>Penicillium brevicompactum</i> Dierckx	III	23	32-33
<i>Penicillium chrysogenum</i> Thom	III	25-28	30
<i>Penicillium citrinum</i> Thom	I	26-30	37
<i>Penicillium corylophilum</i> Dierckx	I	35	³ <37
<i>Penicillium crustosum</i> Thom	IV	³ <37	
<i>Penicillium digitatum</i> Sacc.	I	20-25	32-35
<i>Penicillium expansum</i> Link	I	25-26	33-35
<i>Penicillium glabrum</i> (Wehmer) Westling	III	23	37
<i>Penicillium griseofulvum</i> Dierckx	III	23	35
<i>Penicillium hirsutum</i> Dierckx	I	³ <37	
<i>Penicillium implicatum</i> Biourge	I	37	
<i>Penicillium italicum</i> Wehmer	I	22-24	32-34
<i>Penicillium roqueforti</i> Thom	II	23-24	³ <37
<i>Penicillium solitum</i>	II	<37	
<i>Penicillium variabile</i> Sopp	II	25	37
<i>Rhizomucor pusillus</i> (Lindt) Schipper	IV	24-50	54-58
<i>Rhizopus rhizopodiformis</i> (Cohn) Zopf	II	50	n. gen.
<i>Scopulariopsis</i> Bain	III	verschieden	
<i>Syncephalastrum racemosum</i> Cohn	I	17-40	n. gen.
<i>Talaromyces thermophilus</i> ⁴ Stolk	II	45	55-60
<i>Thermomyces lanuginosus</i> Tsiklinski	III	47-52	55
<i>Trichoderma</i> Pers.	II	verschieden	
<i>Wallenia sebi</i> (Fr.) von Arx	I	23-25	38

I: bei 2 der 6 beprobten Kompostierungen
 II: bei 3 der 6 beprobten Kompostierungen
 III: bei 4 der 6 beprobten Kompostierungen
 IV: bei 6 der beprobten Kompostierungen

¹ der perfekten Form *Emerizella nidulans* (Eidam) Vuill.; ² nach geographischem Standort verschieden
³ verschiedene Angaben für *A. flavus*, *A. parasiticus* und *A. oryzae*; ⁴ Pitt, 1979: " verschiedene Angaben
⁵ *Talaromyces dupontii* (Griff. & Maubl.) Emerson, n. gen.: nicht genannt

Die Häufigkeit thermotoleranter und thermophiler Pilztaxa (Tab.3) in den Aerosolen bei den Arbeitsgängen war deutlich. Bei allen Kompostierungen wurden *A.fumigatus*, *A.nidulans* und *A.niger*, sowie *P. crustosum* und *Rh.pusillus* nachgewiesen (Häufigkeit IV). Dabei bestimmte *A.fumigatus* durch hohe Gehalte die Belastungen der Luft bei allen Untersuchungen, bei dem Rottebox-Verfahren (4) sogar als einzige dominante Art.

In den Innenraumarbeitsbereichen (1 und 2) wurden außerdem besonders mesophile Pilztaxa in großen Gehalten nachgewiesen. Bei den Arbeitsgängen in den Außenluftbereichen traten in der Regel einzelne thermotolerante sowie thermophile Pilzarten maßgeblich auf.

Bei keinem der Arbeitsgänge wurde *Cladosporium spp.* und *Alternaria spp.* in höheren % Anteilen an den Gesamtpilzgehalten nachgewiesen.

3.2.1 Außenluftarbeitsbereiche zur Kompostierung

Versuchsmietenkompostierung (1)

Zeit- und temperaturabhängig von der Rotte ließen sich Unterschiede im Auftreten einzelner Pilztaxa in der Luft bei den neun beprobten Arbeitsgängen an der Versuchsmiete erkennen (Abb.4 und 5).

Dargestellt werden diese einmal anhand der maximalen Gehalte einzelner Pilztaxa der Isolierungen mit den Medien M2%, DG18 und GPY (Abb.4 und Abb.5) und zum anderen anhand der maximalen % Anteile der einzelnen Taxa an den Pilzgehalten bei 45°C Bebrütungstemperatur bzw. 25°C Bebrütungstemperatur im Text.

Auffallend war die Präferenz der thermophilen Arten *Talaromyces thermophilus* (T_{Max} 55-60°C), *Thermomyces lanuginosus* (T_{Max} 55°C) und *Malbranchea sulfurea* (T_{Max} 57°C) in den Aerosolen während den Arbeiten in der fortgeschrittenen und vor allem der späten Rottephase gegenüber den über die gesamte Rottezeit mit unterschiedlichen Gehalten nachgewiesenen thermotoleranten Pilzarten *A.fumigatus*, *A.flavus/parasiticus*, *A.nidulans*, *A.niger* und *Rh.pusillus* (T_{Max} 54-58°C).

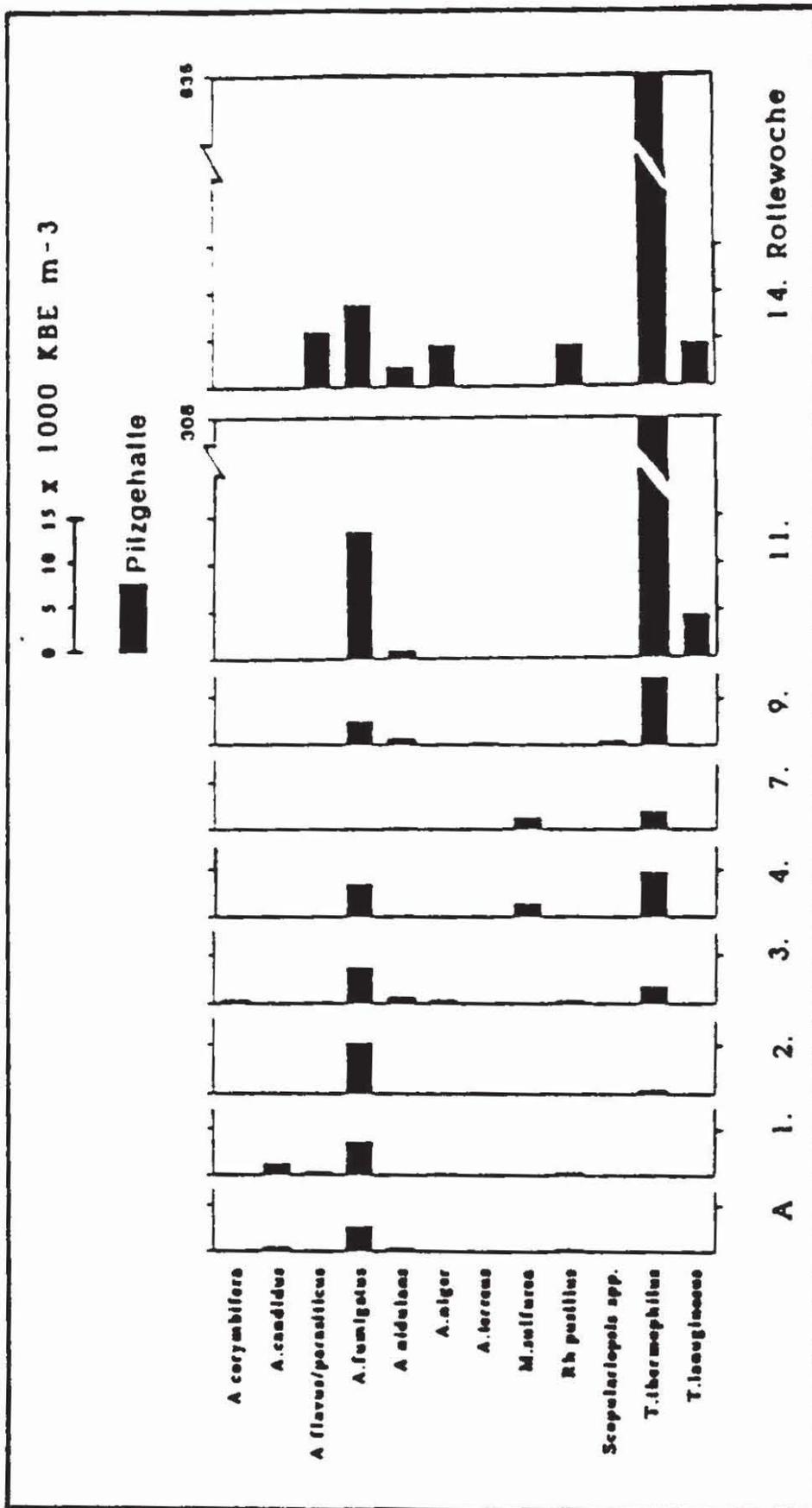


Abb.4: Thermophile und thermotolerante Pilztaxa in der Luft bei Arbeitsgängen an einer Versuchsmiete. Aufsetzen (A) und Umsetzen der Versuchsmiete Ende der 1.-4. und Ende der 7. 9. 11. und 14. Rottwoche.

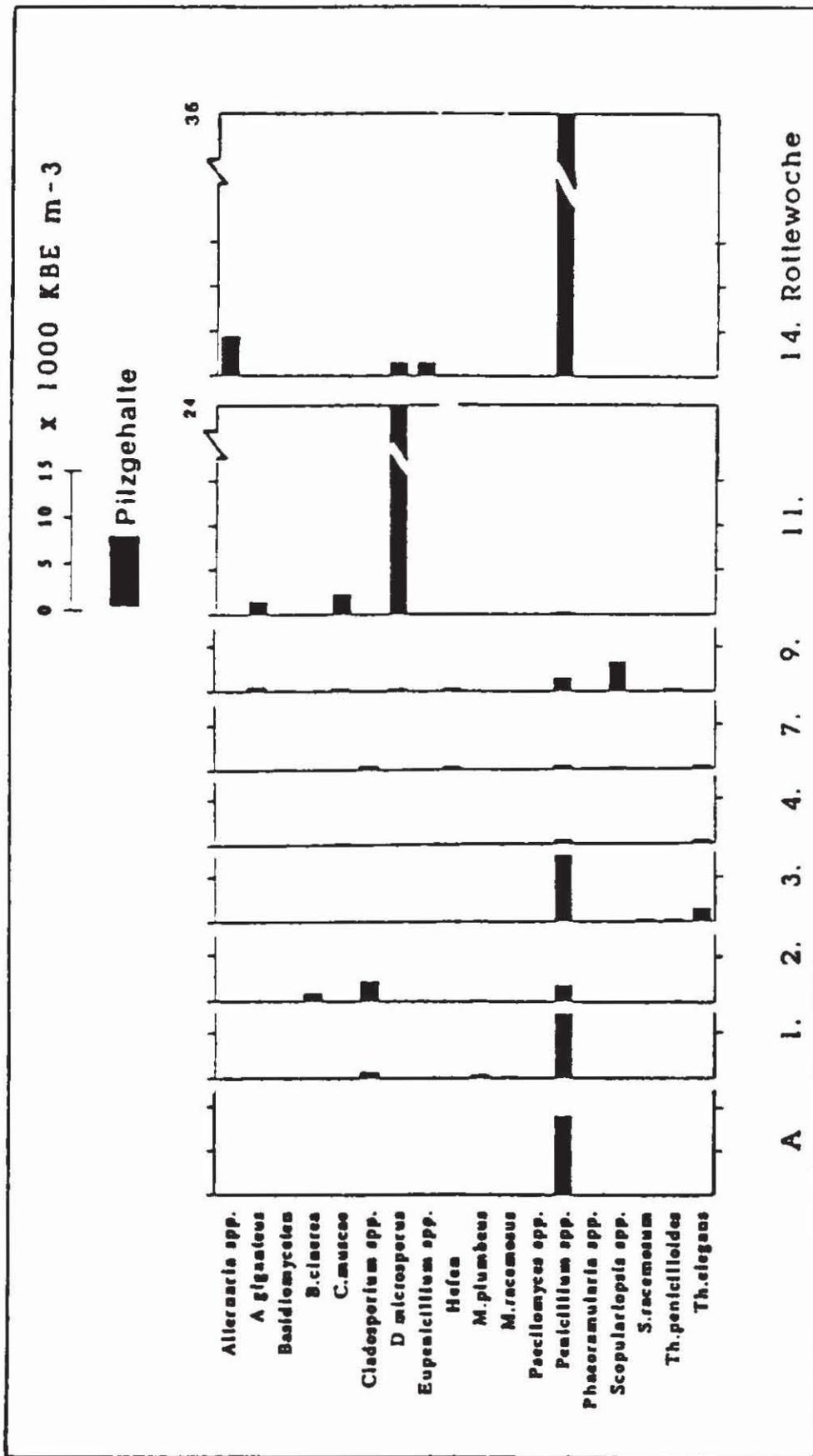


Abb.5: Mesophile Pilztaxa in der Luft bei Arbeitsgängen an einer Versuchsmiete. Aufsetzen (A) und Umsetzen der Versuchsmiete Ende der 1.-4. und Ende der 7. 9. 11. und 14. Rottewoche.

Sowohl *Talaromyces thermophilus* als auch *Thermomyces lanuginosus* waren mit großen Gehalten in der Luft charakteristisch für die späte Rottephase.

Aus den maximalen % Anteilen von *Talaromyces thermophilus* an den Gesamtpilzgehalten insbesondere auf GPY Medium bei 45°C Bebrütungstemperatur ab der 7. Rottewoche von häufig bis zu 100%, ließ sich außerdem die Dominanz dieser Art über andere Pilzarten in der Luft während der fortgeschrittenen und späten Rottephase ableiten. Die in der 11. und 14. Rottewoche auffallend großen Pilzgehalte bei 45°C Bebrütungstemperatur in der Luft (siehe Abb. 1) waren durch *Talaromyces thermophilus* bestimmt.

Malbranchea sulfurea trat in der 4. und 7. Rottewoche, nachdem eine Rottetemperatur von 75°C erreicht war in der Luft auf und wurde zu späteren Rottezeiten nicht mehr nachgewiesen. Dagegen wurde *Rh.pusillus* an verschiedenen Umsetztagen der Miete zu allen Rottezeiten in geringeren Gehalten nachgewiesen.

Sowohl während der Anfangsphase der Rotte als auch zu späteren Rottezeiten traten thermotolerante Aspergillus-Arten *A.flavus/parasiticus*, *A.nidulans* und *A.niger* in der Luft auf. Mit Ende der 14. Rottewoche wurden diese mit den größten Gehalten, gemessen an den geringen % Anteilen an den Gesamtpilzgehalten aber mit geringer Dominanz, nachgewiesen.

Das Auftreten von *A.fumigatus* ließ sich wie folgt charakterisieren. *A.fumigatus* wurde in allen Rottephasen nachgewiesen, gegen Ende der 11. und 14. Rottewoche bei gleichzeitig vorhandenen großen Gesamtpilzgehalten mit den größten Gehalten. Deutlich war aber ein Verbreitungsschwerpunkt während der Anfangsphase der Rotte aufgrund der vergleichsweise hohen % Anteile von *A.fumigatus* an den Gesamtpilzgehalten gegenüber den % Anteilen an den Gesamtpilzgehalten während der von thermophilen Pilzen bestimmten späten Rottephase.

Bei den bei 25°C Bebrütungstemperatur nachgewiesenen mesophilen Pilztaxa war die Gattung *Penicillium* mit vielen Arten vertreten. Maßgeblich waren *P.glabrum* beim Aufsetzen der Miete (A) mit bis zu 19 % Anteil an den Pilzgehalten 25°C sowie *P.variabile* am Ende der 14. Rottewoche mit bis zu 31 % Anteilen

an den Pilzgehalten 25°C. Bei einzelnen Probenahmen zu den Zeiten abnehmender Rottetemperatur traten desweiteren *Doratomyces microsporus* und *Scopulariopsis spp.* mit hohen % Anteilen an den Pilzgehalten bei 25°C Bebrütungstemperatur dominant in Erscheinung.

Rottebox - Verfahren (4)

In der Fahrerkabine des Radladers beim Entladen von Frischkompost waren thermotolerante Aspergillus-Arten vorherrschend. *A.fumigatus* bestimmte mit maximal $1,1 \times 10^6$ KBE m^{-3} über weitere thermotolerante Arten, im einzelnen *A.nidulans*, *A.flavus/parasiticus*, *A.niger* und *A.terreus* sowie *R.rhizopodiformis* und *P.crustosum* (mesophil), die mit weit geringeren Gehalten auftraten.

Offene Mietenkompostierung (5)

Sowohl in der Fahrerkabine als auch in der Außenluft waren die Belastungen durch thermotolerante Pilzarten charakterisiert. *A.nidulans* und *A.fumigatus* waren gleichermaßen dominant.

Statische Nachrotte (6)

In der Fahrerkabine wurden thermotolerante/phile und mesophile Pilztaxa in ähnlichen Gesamtgehalten nachgewiesen. Belastungen durch *Thermomyces lanuginosus* mit max. $2,8 \times 10^4$ KBE m^{-3} lagen dabei noch über den Belastungen durch die ebenfalls dominanten Arten *A.fumigatus* mit max. $4,5 \times 10^3$ KBE m^{-3} , *A.nidulans* $3,1 \times 10^3$ KBE m^{-3} und *P.brevicompectum* mit $2,8 \times 10^3$ KBE m^{-3} .

3.2.2 Innenraumarbeitsbereiche zur Kompostierung

Gekapselte Mietenkompostierung (1)

Die in der Rottehallenluft während dem Umsetzen der Vorrottmieten auftretenden Pilzbelastungen waren durch mesophile und thermotolerante Arten gleichermaßen gekennzeichnet. Mehrere Pilztaxa, darunter *P.variabile* mit dem größten Gehalt, sowie mit

abnehmenden Gehalten *Aspergillus spp.* mit *A.fumigatus*, *A.versicolor*, *A.nidulans* und *A.niger*, weiter *Doratomyces microsporus* sowie *Trichoderma spp.* waren maßgeblich an der Zusammensetzung der Pilzflora beteiligt. Die nachgewiesenen Gehalte lagen zwischen $9,8 \times 10^6$ KBE m^{-3} und $2,1 \times 10^6$ KBE m^{-3} .

Rottetrommel - Verfahren (3)

Bei den Probenahmen bei einem ständigen Aufenthalt in der Rottetrommelhalle und bei einem Aufenthalt in der Halle sowie im gesamten Arbeitsbereich wurden *P.glabrum* mit $5,7 \times 10^4$ KBE m^{-3} sowie *P.crustosum* mit $3,4 \times 10^4$ KBE m^{-3} neben *A.fumigatus* mit $2,2 \times 10^4$ KBE m^{-3} mit den größten Gehalten nachgewiesen.

4 Diskussion

Ziel der vorliegenden Teilstudie im Rahmen des BMFT Vorhabens war die Beschreibung der personenbezogenen Belastungen von Müllwerkern in Arbeitsbereichen zur Bioabfallkompostierung. Welche Arbeitsbedingungen in einzelnen Kompostierungen die Pilzbelastungen mitbestimmten und welche Faktoren für die Artenzusammensetzung der Pilzflora der Luft Bedeutung hatten, waren für ein Gesamtbild über die Belastungssituationen wichtig. Bewertet wurden Untersuchungsergebnisse personenbezogener Probenahmen bei Arbeitsgängen, die Verfahrensbestandteile bei verschiedenen Mietenkompostierungen, bei einer Statischen Nachrotte auf Tafelmieten, einem Rottebox-Verfahren sowie einer Rottetrommelkompostierung darstellen.

4.1 Probenahmeverfahren und Wahl der Isolierungsmedien

Die Wahl des Probenahmeverfahrens orientierte sich u.a. nach den von der ACGIH formulierten Empfehlungen zur Analyse

biologischer Aerosole (Hering, 1989). Da zur Untersuchung von Pilzaerosolen in hochbelasteten Arbeitsbereichen Impaktorverfahren wie der Andersen - Kaskaden - Impaktor und Schlitzsammler wegen der Überladungen der Sammler und der dabei zu beobachtenden Unterschätzung der tatsächlichen Pilzbelastungen in der Luft wenig geeignet sind, werden alternativ Filterkassetten zur Beprobung empfohlen. Diese können auch für personenbezogene Untersuchungen eingesetzt werden.

In dieser Arbeit beprobte Arbeitsgänge hatten eine Dauer zwischen 30 Minuten bis zu 150 Minuten. Bei Untersuchungen hochbelasteter Arbeitsbereiche war bei der Auswertung von Verdünnungen der aufgelösten Gelatinefilter eine obere Nachweisgrenze nicht limitierend. Pilzgehalte von ca. 100 KBE m⁻³ Luft waren andererseits ebenfalls noch nachweisbar.

Die festgestellten Unterschiede zwischen den Pilzgehalten bei einer Probenahme und gleicher Bebrütungstemperatur lassen sich auf die verschieden gute Nachweisbarkeit der Pilztaxa mit den drei Isolierungsmedien M2%, DG18 und GPY zurückführen. Beispielsweise wurde *Talaromyces thermophilus* mit GPY Medium mit weit größeren Gehalten in den Luftproben als mit den Medien M2% und DG18 nachgewiesen. Xerophile Pilzarten (Pitt, 1975), wie *Wallemia sebi* (a_w Wert 0,75) wurden vor allem mit DG18 Medium isoliert.

4.2 Pilzbelastungen bei Arbeiten in Bioabfallkompostierungen

Trotz deutlicher Unterschiede zwischen den festgestellten Belastungen von 10³ KBE m⁻³ bis zu 5 x 10⁷ KBE m⁻³ bei den beprobten Arbeitsgängen, ist bei dem verschieden großen Untersuchungsumfang nur bedingt ein Vergleich verschiedener Kompostierungs-Verfahren zulässig. Direkte Vergleiche mit den Ergebnissen anderer Untersucher können, da personenbezogene Untersuchungen über die Pilzbelastungen von Müllwerkern in Kompostierbereichen bisher nicht publiziert vorliegen, nicht vorgenommen werden.

Für die hier untersuchten Kompostierungsbereiche können aber einige Schlußfolgerungen aus den festgestellten Pilzbelastungen der Beschäftigten bei den Arbeitsgängen gezogen werden. Anhand der verfügbaren Literatur über Ergebnisse aerobiologischer Untersuchungen und Kompostuntersuchungen sollen diese diskutiert werden. Auf der Grundlage der nachgewiesenen Pilzgehalte und Pilztaxa können die Pilzbelastungen in den beprobten Kompostierbereichen charakterisiert werden. Ein Ausblick für eine arbeitsschutzorientierte Praxis bei der Kompostierung unter Bezugnahme auf die in den Werken ergriffenen Maßnahmen zur Luftreinhaltung wird gegeben.

4.2.1 Geschlossene Rottehalle -Luftreinhaltungsmaßnahmen in Fahrererkabinen auf Radladern

Übereinstimmend mit Untersuchungen anderer Arbeitsgruppen in geschlossenen Kompostierungsbereichen (Kempf & Kutzner, 1993) wurden auch in dieser Studie die massivsten Belastungen in der geschlossenen Rottehalle (2), die von den Beschäftigten mit Atemschutz (P3-Helm) betreten wurde, gefunden. Im Zusammenhang mit dem Fehlen von effizienten Luftreinhaltungsmaßnahmen an den Arbeitsmitteln müßen die in den Fahrererkabinen vorhandenen, insbesondere beim Rottebox-Verfahren sogar massiven Pilzgehalte, beurteilt werden: nur in einem (4) der vier beprobten Fahrererkabinen war eine Entstaubung der Kabinenluft (Grobstaubfilter) vorgesehen. Keine Entstaubung lag beim Umsetzen von Hauptrottemieten einer offenen Mietenkompostierung (5) vor, bei dem in der Fahrererkabine verglichen mit den direkten Belastungen in der Außenluft im Bereich des Radladers nicht nahezu gleich große Belastungen auftraten.

4.2.2 Einfluß der Rottephase und der Kompostfeuchte auf die Pilzgehalte bei Arbeiten in der Außenluft

Mehrere Faktoren hatten Einfluß auf die Größe der Pilzgehalte bei Arbeiten in der Aussenluft an der Versuchsmiete. Dabei ist zu berücksichtigen, daß bei 45°C Bebrütungstemperatur verschiedene thermophile und thermotolerante Pilze nachgewiesen, letztere

aber bei 25°C Bebrütungstemperatur neben mesophilen Pilzen ebenfalls erfaßt werden. Bei der Interpretation von Gesamtpilzgehalten müssen daher Überschneidungen beachtet werden, die Verweise auf die Artenzusammensetzung notwendig machen. Weiter können rotteabhängige Einflüsse nicht in jedem Fall losgelöst von der Witterung zu den Probenahmezeiten betrachtet werden.

Von der Witterung unbeeinflußt ist aber das Verhältnis der Pilzgehalte 45°C: Pilzgehalte 25°C. Dieses war Zeit- und temperaturabhängig von der Rotte verschieden geprägt. Während in der Temperaturanstiegsphase die Pilzgehalte bei 25°C Bebrütungstemperatur noch größer waren als die Pilzgehalte bei 45°C Bebrütungstemperatur, waren mit Beginn der Phase hoher Temperaturen in der Miete die Pilzgehalte bei 45°C Bebrütungstemperatur weit größer. Extrem hohe Pilzgehalte insbesondere bei 45°C Bebrütungstemperatur waren charakteristisch für die späte Rottephase.

Erklären lassen sich diese Befunde mit der rottephasenabhängigen Besiedlung von Komposten durch Pilze mit unterschiedlichen Temperaturansprüchen (siehe 4.3). Die Ergebnisse aus Studien verschiedener Arbeitsgruppen (Finstein & Morris, 1975) an Kompostierungsanlagen und Modellkompostierungen legen für die Kardinaltemperatur, bei der kein Pilzwachstum in tieferen Mietenzonen mehr feststellbar ist, eine Rottetemperatur von ca. 65°C fest. Da in äußeren Randzonen von Mieten, die sich durch Trockenheit und niederere Temperaturen von den Mietenkernen unterscheiden, zu allen Rottezeiten ein Pilzwachstum festgestellt werden kann (Klopotek, 1962; Fergus, 1964; Chang & Hudson, 1967), können Emissionen von Pilzsporen allerdings immer stattfinden.

Dies bestätigen auch die zu allen Rottezeiten festgestellten Pilzbelastungen bei Arbeiten an der Versuchsmiete. Aufgrund der Artenzusammensetzung der festgestellten Aerosole, insbesondere der Dominanz thermotoleranter und thermophiler Pilzarten sind diese eindeutig auf das Kompostarbeitsmaterial zurückzuführen. Aus den einmalig in der Phase hoher Rottetemperaturen festgestellten geringsten Pilzgehalten bei beiden Be-

brütungstemperaturen können keine eindeutigen Schlußfolgerungen über den Einfluß hoher und langanhaltender Rottemperaturen auf die Größe des Pilzaustrags beim Arbeiten an der Miete gezogen werden. Zur Probenahmezeit herrschten leichter Regen und hohe Luftfeuchte.

Da die meisten der nachgewiesenen Pilztaxa (siehe 4.3) sogenannte "trockensporige" Arten sind, die in der Luft leicht verbreitet werden und außerdem insbesondere trockene und gut durchlüftete Zonen in den Mieten gute Voraussetzungen für "Verpilzungen" bieten, ist zu vermuten, daß die Kompostfeuchte die Größe der Pilzbelastungen der Luft mitbeeinflussen kann.

Das Kompostmaterial der Versuchsmiete wies über die gesamte Rottezeit unterschiedliche Feuchtegehalte auf. Es korrelierte dabei eine einmalig aufgetretene, auffallend niedrigere Materialfeuchte in der späten Rottephase mit großen Pilzgehalten bei beiden Bebrütungstemperaturen.

4.3 Nachgewiesene Pilztaxa

Die für die Rotte typische Besiedlung von Komposten durch wärmeliebende Pilzarten (Klopotek, 1962; Chang & Hudson, 1967; Strom, 1985; Bertoldi & Zucconi, 1987; Knösel, & Resz, 1973) ist bei allen Arbeitsgängen klar an der Verbreitung thermotoleranter und thermophiler Pilzarten in der Luft zu erkennen. Es liegen damit besondere, durch das pilzbesiedelte, verrottende Arbeitsmaterial bestimmte Belastungssituationen vor. Folgern läßt sich dies außerdem aus den geringen Gehalten der üblicherweise in der Luft häufig auftretenden Pilze *Cladosporium spp.* und *Alternaria spp.* (Lacey & Crook, 1988; Miller et al., 1988; Krempl-Lamprecht, 1985).

In der Regel werden bei Untersuchungen in Kompostierungen *A.fumigatus* und *Rh.pusillus* sowohl in den Komposten als auch in der Luft in hohen Gehalten gefunden (Klopotek, 1962; Millner et al., 1977; Kane & Mullins, 1973). Dies bestätigen auch die dargestellten Untersuchungsergebnisse über die personenbezogenen Belastungen von Müllwerkern. In der unbelasteten Au-

Benluft sind *A.fumigatus* und *Rh.pusillus* ebenfalls mit die häufigsten thermotoleranten Pilzen, treten dort aber im Unterschied zu den Belastungen in Kompostierungsbereichen nur mit sehr geringen Gehalten auf (Evans, 1972).

Aufgrund der Ergebnisse dieser Studie können darüberhinaus eine Reihe weiterer Pilztaxa die Belastungssituationen mitbestimmen. Zu nennen sind *A.nidulans* und *A.niger*, sowie *P. crustosum*, die immer und mit unterschiedlicher Dominanz bei den beprobten Kompostierungs-Verfahren auftraten. *A.nidulans* wurde mehrfach in hohen Gehalten nachgewiesen und hat möglicherweise eine besondere Bedeutung bei der Verrottung von Abfallstoffen. Xerophile Wachstumsansprüche (a_w Wert 0,8) (Reiß, 1986) und Ascosporenbildung der perfekten Form *Emmericella nidulans* sind zu beachten. Thermophilen Arten wie *Talaromyces thermophilus*, *Thermomyces lanuginosus* und *Malbranchea sulfurea* sowie auch die mesophilen Arten *A.versicolor*, weiter *P. variable*, *P.crustosum* und *P.glabrum* sowie *Doratomyces microsporus* und die Gattung *Trichoderma spp.* waren bei einzelnen Untersuchungen charakteristisch für die Luftbelastungen und wurden mit großen Gehalten nachgewiesen. Penicillium-Arten waren insbesondere bei den zwei beprobten Innenraumarbeitsbereichen dominant.

Aus den Untersuchungen in der Außenluft zur Präferenz einzelner Pilztaxa in den Aerosolen über die gesamte Rotte der Versuchsmiete kann außerdem auf unterschiedliche Verbreitungsschwerpunkte thermotoleranter und thermophiler Pilzarten in der Luft geschlossen werden. Deren Auftreten zeigte sich rottephasenabhängig und läßt sich auf die temperaturabhängige Sukzession verschiedener Mikroorganismengruppen in den Komposten im Verlauf der Rotte zurückführen (in Finstein, 1975).

A.fumigatus, der bei allen Kompostierungs-Verfahren in hohen Gehalten auftrat und auch bei anderen Untersuchungen (Milner et al., 1977; Crook et al., 1988) in hohen % Anteilen an den Gesamtpilzbelastungen der Luft in Kompostierungsbereichen gefunden wird, kann aufgrund der Ergebnisse der Probenahmen in der Außenluft als charakteristisch für die Pilzflora der Luft bei Arbeitsgängen während der Temperaturanstiegsphase der Rotte angesehen werden.

4.4 Ausblicke für die Praxis

Aus den Ergebnissen der personenbezogenen Probenahmen zur Charakterisierung der Pilzbelastungen in Kompostierungsbereichen ergeben sich Grunddaten, die zum Kenntnisstand über die spezifischen Expositionen bei der Kompostierung beitragen.

Weiter lassen sich anhand der in den beprobten Werken ergriffenen Luftreinigungsmaßnahmen Ausblicke für die arbeitsschutzorientierte Planung von Arbeiten mit pilzbesiedelten Arbeitsstoffen geben.

Der Nachweis dominanter sowie häufiger Pilztaxa in den Aerosolen ist für die arbeitsmedizinische Bewertung der besonderen Belastungssituationen in Kompostierungsbereichen wichtig. Bei bekanntem Artenspektrum können die spezifischen Arbeitsbelastungen von den generellen Expositionen gegenüber den üblicherweise in der Luft nachweisbaren Pilztaxa unterschieden werden. Weiter sind Schlußfolgerungen über mögliche gesundheitliche Folgen bei der Inhalation der Pilzsporen anhand der Kenntnisse über die Pathogenität, Allergenität und Toxizität der einzelnen Arten möglich.

Zu beachten ist allerdings, daß Angaben zu den Pilzgehalten der Luft, die auf Lebendkeimzahlbestimmungen beruhen, weder die Zahl an toten Pilzfragmenten noch Pilzstoffwechselprodukte erfassen. Damit sind lediglich Hinweise auf die Höhe der tatsächlich vorliegenden Pilzallergenkonzentration möglich.

Die Untersuchungsergebnisse dieser Studie zeigen, daß die Art und das Ausmaß der Belastungen von der werksspezifischen Arbeitssituation abhängen. Eigenschaften des Kompostmaterials sowie die in den Werken durchgeführten Maßnahmen zur Luftreinigung und die Lage der Arbeitsbereiche sind maßgeblich und mögliche Ansatzpunkte für Verbesserungen. Hinsichtlich einer arbeitsschutzorientierten Gestaltung der Arbeitsgänge ergeben sich aufgrund dem meist vorgefundenen Mangel an sicherheitstechnischen Maßnahmen an den Radladern gute Ausblicke die Pilzbelastungen in den Fahrerkabinen zu vermindern. Weiter kann das Vorliegen stark ausgetrockneter Rottekomposte, das für das Entstehen massiver Pilzbelastungen der Luft verantwortlich sein kann, vermieden werden.

In geschlossenen Rottebereichen allerdings sind die Pilzbelastungen der Luft durch das Zusammenwirken mehrerer Faktoren bestimmt. Hier ist die unterschiedliche Pilzbesiedlung verschieden alter Komposte sowie die Ausbreitung von Kontaminationen über den gesamten Arbeitsbereich zu berücksichtigen. Eine Charakterisierung der Pilzbelastungen der Luft anhand der rottephasenabhängigen Dominanz einzelner Pilzarten, ist hier kaum möglich.

Literatur

- Arx, J.A.von (1981): The genera of fungi sporulating in pure culture. J.Cramer Verlag
- Bertoldi, M., Zucconi, F. (1987): Composting of Organic Residues. In: Bioenviron. Systems, Wise, D.L. (Hrsg.). CRC Press, Inc. Boca, Florida. Vol III, 95-141
- Chang, Y., Hudson, H.J. (1967): The Fungi Of Wheat Straw Compost. II. Biochemical and Physiological Studies. Trans. Br. Mycol. Soc. 50, 667-677
- Cooney, D.G., Emerson, R. (1964): Thermophilic fungi. An Account of their Biology, Activities and Classification. Freeman, W.H. (Hrsg.). San Fransisco and London.
- Crook, B., Bardos, R.P., Lacey, J. (1988): Domestic waste composting plants as sources of airborne micro-organisms. In: Aerosols. Their Generation, Behaviour and Application. Aerosol Society Second Conference. Griffiths, W.D.(Hrsg.) Aerosol Society, London, 63-68
- Domsch, K.H., Gams, W., Anderson, T. (1980): Compendium of soil fungi. Vol I, II, Academic Press, London
- Ellis, M.B. (1971): Dematiaceous Hyphomycetes. Commonw.Mycol.Inst. Kew
- Ellis 1976, M.B. (1976): More Dematiaceous Hyphomycetes. Commonw.Mycol.Inst. Kew
- Evans, H.C. (1972): Thermophilous Fungi Isolated From The Air. Trans. Br. Mycol. Soc. 59, 516-519

- Fergus, C.L. (1964): Thermophilic and Thermotolerant Molds and Actinomycetes of Mushroom Compost during Peak heating. *Mycologia* 56, 267-284
- Finstein, M.S., Morris, M.L. (1975): Microbiology of Municipal Waste Composting. *Adv. Appl. Microbiol.* 19, 113-151
- Gams, W., van der Aa, H.A., van der Plaats-Niterink, A.J., Samson, R.A., Stalpers, J.A. (1987): *CBS Course of Mycology*. 3.ed., Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn
- Hering, S.V. (1987): Air Sampling Instruments for evaluation of atmospheric contaminants. 7th ed. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., Cincinnati, Ohio.
- Kane, B.E., Mullins, J.T. (1973): Thermophilic Fungi in a Municipal Waste Compost System. *Mycologia* 65, 1087-1100
- Kempf, A., Kutzner, H.J. (1993): Untersuchungen zur Emission von Actinomyceten in Kompostwerken. Tagungsband zum Symposium "Gesundheitsrisiken bei der Entsorgung kommunaler Abfälle". Göttingen, in Vorb.
- Klopotek, A. von (1962): Über das Vorkommen und Verhalten von Schimmelpilzen bei der Kompostierung städtischer Abfallstoffe. *Antonie van Leeuwenhoek*, 28: 141-160
- Knösel, D., Resz, A. (1973): Pilze aus Müllkompost. *Städtehygiene* 6: 143-148
- Kreml-Lamprecht, L. (1985): Bedeutung saisonal auftretender Schimmelpilze als Allergene. *Allergologie* 8 (1), 26-30
- LAGA Merkblatt 10 (1985): Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost aus Müll und Müll/Klärschlamm. Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, 8. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Lacey, J. (1991): Aerobiology and Health: The role of airborne fungal spores in respiratory disease. In: *Frontiers in Mycology*. Hawksworth, D.L.. CAB International, 157-185
- Lacey, J., Crook, B. (1988): Fungal and Actinomycete Spores as Pollutants of the Workplace and Occupational Allergens. *Ann. occup. Hyg.* 32 (4), 515-533
- Miller, J.D., Laflamme, A.M., Sobol, Y., Lafontaine, P., Greenhalgh, R. (1988): Fungi and Fungal Products in some Canadian Houses. *Int. Biodeter.* 24, 103-120
- Millner, P.B., Marsh, P.B., Snowden, R.B., Parr, J.F. (1977): Occurrence of *Aspergillus fumigatus* during composting of sewage sludge. *Appl. Environ. Microbiol.* 34 (6), 765-772

- Mishra, S.K., Ajello, L., Ahearn, D.G., Burge, H.A., Kurup, V.P., Pierson, D.L., Price, D.L., Samson, R.A., Sandhu, R.S., Shelton, B., Simmons, R.B., Switzer, K.F. (1992): Environmental mycology and its importance to public health. *J. Med. Vet. Mycol.* 30, Supplement 1, 287-305
- Pitt, J.I. (1975): Xerophilic fungi and the spoilage of foods of plant origin. In: Water relations of foods. Duckworth, R.B. (Hrsg.) Academic Press, New York
- Pitt, J.I. (1979): The Genus *Penicillium* and its teleomorphic states *Eupenicillium* and *Talaromyces*. Academic Press, 1979
- Raper, K.B.; Fennell, D.I. (1965): The Genus *Aspergillus*. Williams & Wilkins Co., Baltimore
- Reiß, R. (1986): Schimmelpilze. Lebensweise, Nutzen, Schaden und Bekämpfung. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo
- Samson, R.A., van Reenen-Hoekstra, E.S (1988): Introduction To Food-Borne Fungi. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn
- Selldorf, P., Beffa, T., Gumowski, P., Aragno, M., Gandolla, M., Stettler, R., Schlunegger, B., Dunoyer-Geindre, S. (1992): The thermotolerant fungus *Aspergillus fumigatus* (Fres.) in municipal composting facilities. Proc. 6th International Exhibition and Congress of Solid Waste (ISWA), 1-10
- Strom, P.F. (1985): Identification of Thermophilic Bacteria in Solid-Waste Composting. *App. Environ. Microbiol.* 50 (4), 906-913
- Zycha, H., Siepman, R., Linnemann G. (1969): Mucorales, eine Beschreibung aller Gattungen und Arten dieser Pilzgruppe. J.Cramer Verlag

Danksagung

Für die Untersuchungen an der Versuchsmiete und die zur Verfügungstellung der Meßwerte sei Herrn J.Wurmthaler, Institut für Siedlungswasserbau der Universität Stuttgart gedankt.

Dank gilt auch dem Wetteramt Stuttgart des Deutschen Wetterdienstes für die Bereitstellung von Klimawerten der Meßstation Hechingen.

Die Studie ist Teil der Untersuchungen zum BMFT-Verbundprojekt "Abschätzung von Gesundheitsrisiken für Müllwerker durch Keimemissionen und Entwicklung von Arbeitsschutzmaßnahmen" 01 HK 659/6. Für die Förderung im Rahmen des AUT Programmes sei gedankt.