

Werner Mathys - Herbert Rehms

Gesundheitlich-hygienische Bewertung neuartiger Biofilter in Biotonnen



Abschlußbericht für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück
22. Dezember 1995

1	EINLEITUNG.....	1
2	MATERIAL UND METHODEN.....	3
2.1	HERSTELLUNG UND MONTAGE DER DECKEL MIT BIOFILTER	3
2.1.1	Dichtung	3
2.1.2	Filtergehäuse	3
2.1.3	Filtermaterial.....	7
2.2	FELDVERSUCHE	7
2.2.1	Feldversuch I.....	7
2.2.2	Feldversuch II.....	7
2.2.3	Feldversuch III	7
2.2.4	Feldversuch IV.....	7
2.3	VERSUCHE UNTER KONTROLLIERTEN BEDINGUNGEN	8
2.3.1	Außenversuch am Institut für Hygiene	8
2.3.2	Außenversuche Biologic	8
2.3.3	Umtonnenversuch	9
2.3.3.1	Versuchsaufbau.....	9
2.3.4	Innenraumversuche Institut für Hygiene	12
2.4	ANALYSENVERFAHREN	12
2.4.1	Geruchs- und Madenmessungen.....	12
2.4.2	Bestimmung der Pilzsporenemission	13
2.4.2.1	Fangplattenmethode	13
2.4.2.2	Impaktormessung	13
2.4.2.3	Expositionsmodell	13
2.4.2.4	Kulturbedingungen	14
2.4.2.5	Aufarbeitung fester Proben (Substrat)	14
2.4.3	Statistische Auswertung.....	14
2.4.4	Hemmtests.....	15
2.4.5	Olfaktometrie	15
3	ERGEBNISSE.....	16
3.1	GERUCH.....	16
3.1.1	Feldversuch I.....	16
3.1.2	Feldversuch III	19
3.1.3	Feldversuch IV.....	21
3.1.3.1	Zwischenbefragung.....	21
3.1.3.2	Abschlußbefragung.....	24

Inhaltsverzeichnis

3.1.4 Außenversuche.....	26
3.1.4.1 Außenversuche Institut für Hygiene.....	26
3.1.4.2 Außenversuche Biologic.....	27
3.1.5 Olfaktometrische Messungen im Umtonnenversuch.....	32
3.2 MADEN.....	33
3.3 PILZEMISSIONEN.....	44
3.3.1 Feldversuch I.....	44
3.3.2 Feldversuch II.....	45
3.3.3 Feldversuch III.....	47
3.3.4 Außenversuche Institut für Hygiene.....	55
3.3.5 Innenraumversuche Institut für Hygiene.....	58
3.3.6 Umtonnenversuche Gewächshaus Leeden.....	65
3.4 HEMMTESTS.....	66
3.5 BIOFILTER FÜR BIOTONNEN - SERIENAUSFÜHRUNG.....	71
4 DISKUSSION.....	74
5 RESÜMEE:.....	82
6 LITERATUR:.....	83

1 Einleitung

Die Entsorgung von mehr als 40 Millionen Tonnen Hausmüll in der Bundesrepublik ist mit so erheblichen Kosten und Problemen verbunden, dass alle sinnvollen Maßnahmen zur Reduzierung und zur getrennten Erfassung verschiedener Müllqualitäten zu begrüßen sind. Bei der separaten Sammlung kompostierbarer Abfälle („Biomüll“) müssen aber - wie beim Restmüll und dem Dualen System - die durch die spezifische Eigenart dieser Abfallart entstehenden Probleme adäquat berücksichtigt werden, damit nicht durch eine fehlende Akzeptanz der getrennten Abfallsammlung in der Bevölkerung die eingeleiteten Aktionen wirkungslos werden.

Die gute biologische Abbaubarkeit des Biomülls sowie die Entsorgung auch geruchsintensiver Lebensmittelreste können neben seuchenhygienischen Problemen, vergleichbar den Problemen bei Kompostierungsanlagen (Ruf 1994), auch erhebliche Geruchsemissionen verursachen, die - u.U. kombiniert mit einer starken Maden- und Fliegenentwicklung - beim Betreiber zu Ekelgefühlen führen und häufig erheblichen Widerstand gegen die Benutzung einer Biotonne produzieren. Es ist deshalb bei der Einführung der Biotonne besonders wichtig, entweder durch kurze Abfuhrintervalle oder technische Maßnahmen die Benutzung für den Bürger akzeptabel zu gestalten. Eine schlechte Akzeptanz der Biotonne führt zwangsläufig zu einer schlechten Trennung von Abfällen und zu einer Entsorgung „geruchsproblematischer“ Stoffe in die Restmülltonne und damit zu einer schlechten Effizienz des Gesamtsystems.

Darüber hinaus stellt Biomüll wie Kompost ein Eldorado für den Mikrobiologen dar (Kutzner u. Jäger 1994). Kompost und Biomüll sind Biotope für verschiedenste Bakterien und Pilze, darunter auch medizinisch relevanter Arten wie z.B. *Aspergillus fumigatus*.

Aus dänischen Studien ist bekannt, daß bei Müllwerkern, die kompostierbare Abfälle entsorgen, mehrere arbeitsbedingte Krankheitsfälle aufgetreten sind, die offensichtlich durch Freisetzung von Endotoxinen verursacht wurden (Nielsen et al. 1994).

Durch diverse Veröffentlichungen bzw. Bekanntmachungen des **Bundes Gesundheits Amtes** (BGA) und des **Robert Koch Instituts** (RKI) (Staib 1991, Staib 1992, Lukassowitz 1992, BGA 1991, RKI 1995) wurde auf mögliche Gesundheitsrisiken durch Freisetzung von Pilzsporen aus Bioabfall für immungeschwächte Personen hingewiesen, ohne daß jedoch konkrete Untersuchungsergebnisse vorgelegt werden konnten. Staib (1993) fordert zum Schutz der Bevölkerung u.a. eine gezielte Aufklärung der Bevölkerung und das Fernhalten von Biomüll von Immungeschwächten. Weiter fordert er eine besondere Konstruktion der Biotonne, die Staub- und Aerosolaustrag verhindert sowie weitergehende Untersuchung zur Pilzentwicklung in der Biotonne. Das RKI (1995) wiederholt nochmals nachhaltig die Forderung, daß Schimmelpilzstreuquellen im Haushalt möglichst zu vermeiden sind und erwähnt in diesem Zusammenhang auch den Bioabfall.

Es bis heute völlig ungeklärt, welche Faktoren möglicherweise zu einer gesundheitlich relevanten Vermehrung von Mikroorganismen führen und ob z.B. ein Zusammenhang zwischen Bauform der Tonne, Leerungsintervall, Jahreszeit und der mikrobiologischen Belastung vorhanden ist.

Das Ziel dieser Studie war es deshalb, zu untersuchen, ob und wie die möglichen Nachteile der Sammlung kompostierbarer Abfälle: 1. Geruchs- und Madenentwicklung und 2. die Freisetzung von medizinisch relevanten Pilzsporen minimiert oder gar überwunden werden können. Aus diesem Grunde wurde von der Firma Biologic ein spezieller Abfallbehälter konstruiert, der im wesentlichen aus einem dichtschießenden Behälterdeckel mit integriertem biologisch aktiven Filtersystem besteht (Euro Patent Nr. 0597282). In Feldversuchen unter realen Bedingungen und in kontrollierten Laborversuchen wurde die Wirksamkeit des Filters in Hinblick auf eine Reduzierung der Geruchsemissionen, der Ungezieferbelastung und der Beeinflussung der Pilzentwicklung untersucht. Die in den verschiedenen Versuchsreihen (Laborexperimente, Außenversuche) und im Feldversuch gewonnene Erkenntnisse wurden bei der Planung und Entwicklung des fertigen Produktes mit berücksichtigt.

Darüberhinaus sollten Faktoren mitanalysiert werden, die möglicherweise zu einer Verschlechterung des hygienischen Zustandes des Biomülls führen, wie z.B. Standzeit, Abfuhrintervall, Jahreszeit.

Das Projekt wurde durchgeführt durch die Firma Biologic, Münster und das Institut für Hygiene der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster mit finanzieller Unterstützung durch die Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück.

2 Material und Methoden

2.1 Herstellung und Montage der Deckel mit Biofilter

Um die Biotonnen mit funktionsfähigen Biofiltern ausrüsten zu können, mußten zunächst die herkömmlichen Behälterdeckel mit einer Dichtung und einem Filtergehäuse ausgerüstet werden. Die Dichtung war notwendig, damit die in der Biotonne entstehenden Gase zwangsläufig durch das Filtermaterial geführt wurden.

2.1.1 Dichtung

Als Dichtung wurde ein Gummiprofil aus EPDM mit einer Härte von 55° Shore A verwendet. Es erwies sich als unmöglich, das Gummiprofil mit dem PE-Material des Deckels zu verkleben. Daher wurden alle Dichtungen mit einem Lötkolben heiß verschweißt. Dies geschah durch „durchstechen“ der aufgeschobenen Dichtung und des Deckels mit einem heißen Lötkolben. Dabei wurden beide Materialien angeschmolzen und gingen beim Erkalten eine dauerhafte Verbindung ein.

2.1.2 Filtergehäuse

Es wurden zwei verschiedene Filtergehäuse eingesetzt:

Modell I:

Eine PP-Schüssel mit einer Größe von 28 x 28 x 6 cm und einem Fassungsvermögen von etwa 4,7 ltr. wurde unter einem herkömmlichen Deckel festgenietet (vgl. Foto 1 bis Foto 4). Die Schüssel enthielt neben einen Beutel aus synthetischem Material mit 1,5 ltr. Filtermaterial einen weiteren Beutel mit einem mit Styroporkugeln als Füllsubstanz. Mit einer weichen Isolierschicht aus Armaflexplatten und quer eingelegten Armaflex Schläuchen wurde der Gasstrom durch das Filtermaterial sichergestellt (Foto 1). Ein- und Austritt der Gase erfolgte durch Löcher mit 1 cm Durchmesser.

Modell II:

Bei Modell II wurde eine Rubbermaid 1,2 ltr. Frischhaltedose als Filtergehäuse verwendet (vgl. Foto 5 bis Foto 6). In den Deckel der Dose wurden Löcher von 1,5, in den Boden mit 2,5 cm Durchmesser gebohrt. Damit das Filtermaterial nicht herausrieseln konnte, wurde der Boden vor der Befüllung mit Filtermaterial mit synthetischem Gewebe bedeckt. In den Deckel wurde zur mechanischen Verstärkung ein Blech eingelegt. Die gefüllte Dose wurde unter den Behälterdeckeln mit Dichtung festgenietet.



Foto 1: Deckel mit Biofilter (Modell I) und umlaufender Dichtung (Aufsicht)



Foto 2: Deckel mit Biofilter(Modell I) und umlaufender Dichtung (Sicht von unten)



Foto 3: Deckel mit Biofilter(Modell I), Filter von innen



Foto 4: Mit Biofilter (Modell I) ausgerüstete Biotonnendeckel



Foto 5: Deckel mit Biofilter (Modell II) und umlaufender Dichtung, Ansicht von unten



Foto 6: Deckel mit Biofilter (Modell II), Gehäuseteile ohne Füllung

2.1.3 Filtermaterial

Das Filtermaterial wurde in umfangreichen Versuchsreihen der Firma Biologic entwickelt. Rindenumus zeigte trotz Zuschlagstoffen zur Auflockerung eine zu starke Vererdung verbunden mit kurzen Standzeiten. Zum Einsatz kam schließlich eine genau definierte Mischung aus geschnittener Kokosfaser, Perlite und Kalk verschiedener Körnung. Vor dem Einbau wurde das Material mit der Bakterienmischkultur Hi-Clean und 5 verschiedenen, in Submerskultur angezogenen, antimycotisch wirkenden *Bacillus* Isolaten angeimpft.

2.2 Feldversuche

Grundsätzlich wurden Messungen immer am Originalstandort der Tonne vorgenommen. Es wurde sorgfältig darauf geachtet, daß die Meßbedingungen den Umständen beim normalen Umgang mit den Tonnen entsprachen; insbesondere wurden die Tonnen vor der Messung nicht bewegt, um nicht unkontrollierte Freisetzungen von Sporen zu provozieren.

2.2.1 Feldversuch I

In Havixbeck, einer kleinen ländlichen Gemeinde im Münsterland, wurden im Juni 1994 etwa 100 Haushalte mit Biotonnen mit Biofilter ausgerüstet. 25 dieser Testhaushalte und 25 Haushalte mit herkömmlichen Biotonnen als Vergleichstonnen wurden für zusätzliche detaillierte hygienische Untersuchungen ausgewählt. Vom 19.7.94-28.9.94 wurden die Tonnen nach 5 Tagen und 14 Tagen Standzeit beprobt. Das Abfuhrintervall in der Gemeinde betrug 14 Tage.

Erhoben wurden Daten zum Standort, dem Füllzustand, der Standzeit, dem Geruch bei geschlossener und offener Tonne, der Madenentwicklung, dem Ameisenbefall sowie zur Pilzsporenemission der ungestörten Tonne mit Fangplatten. In Havixbeck wird seit 1989 Biomüll getrennt gesammelt, so daß alle Testhaushaltungen bereits über längere Erfahrungen mit der Biotonne verfügten.

2.2.2 Feldversuch II

Vom 28.10.94-4.11.95 wurden 10 der Tonnen (5 Standard, 5 mit Filter) in Havixbeck auf die Parameter nach 2.1.1 beprobt. Die Pilzsporenemission wurde mit einem Schlitzsammler (s.u.) über 2 Minuten an Tonnen mit geschlossenem und geöffnetem Deckel nach Abwurf eines 2 l Testkörpers vorgenommen. Eine zeitproportionale Auswertung erfolgte nicht.

2.2.3 Feldversuch III

An 20 der Tonnen (10 Standard, 10 mit Filter) in Havixbeck wurden in der Zeit vom 8.6.95-18.7.95 Daten wie bei 2.2.1 erhoben. Die Pilzsporenemission wurde mit dem Expositionsmodell (s.u.) bestimmt. Der Prüfkörper (Papiersack mit Rasenschnitt) verblieb in der Tonne.

2.2.4 Feldversuch IV

Ende Juli 1994 und Mitte Oktober 1994 wurde bei den Testhaushaltungen mit Biofilter eine Befragung zur Einschätzung des neuen Systems durch die Testpersonen durchgeführt. Bei der Zwischenbefragung im Juli wurden 38 Haushaltungen erreicht, bei der Abschlußbefragung im Oktober 71. Die Befragungen wurden durch studentische Hilfskräfte und Mitarbeiter der Fa. Biologic durchgeführt.

2.3 Versuche unter kontrollierten Bedingungen

2.3.1 Außenversuch am Institut für Hygiene

Vom 25.7.-15.8.94 wurden 4 Tonnen (2 Standard und 2 mit Filter) unter einer offenen Bedachung am Institut für Hygiene beprobt. Die Tonnen wurden zur Hälfte mit jeweils 50% Essensresten aus der Kantine (einschließlich Knochenresten) und 50% Gartenabfällen (Rasenschnitt, Unkräuter, Strauchschnitt) einmalig befüllt und über 21 Tage täglich kontrolliert. Protokolliert wurden die Parameter nach 2.2.1. Die Pilzsporemission wurde mit dem Expositionsmodell (s.u.) bestimmt; der Abwurfkörper wurde nach der Messung wieder entfernt. Zusätzlich wurde Biomüll aus den obersten 20 cm entnommen und die Konzentration der Pilze in diesem Substrat analysiert.

2.3.2 Außenversuche Biologic

Vom 19.07. - 05.08.94 und vom 16.08. - 08.09.94 wurden 14 Tonnen (4 herkömmliche Tonnen und 10 mit Biofilter) bei der Fa. Biologic beprobt. Die Tonnen wurden standardisiert mit Essensresten aus der Mensa einmalig befüllt und täglich hinsichtlich Geruch und Madenwachstum in der Tonne begutachtet. Zur Dokumentation wurden die Tonneninhalte regelmäßig fotografiert und z.T. per Videokamera gefilmt. Die Behälteraufstellung ist auf den folgenden Fotos (Foto 7 und Foto 8) abgebildet.



Foto 7: Außenversuch Biologic, Behälteranordnung



Foto 8: Außenversuch Biologic, Behälteranordnung

2.3.3 Umtonnenversuch

Emissionen aus Müllbehältern lassen sich nur schwer eindeutig messen und zuordnen. Grundsätzlich haben auch äußere Faktoren, wie Füllmaterial, Wetter, Wind und Standort der Tonne einen wesentlichen Einfluß auf die Meßergebnisse. Um äußere Beeinflussungen möglichst auszuschließen, wurde von der FH Münster im Rahmen einer Diplomarbeit (Betreuer: Prof. Schirz) nach Vorstellungen der Fa. Biologic eine Versuchsanordnung nach dem Umtonnensystem entwickelt und in einem Gewächshaus in Leeden (Kreis Steinfurt) aufgebaut. Der Versuch wurde in einem Gewächshaus durchgeführt, um auch in der kalten Jahreszeit sommerliche Temperaturen zu simulieren. Die Befüllung erfolgte bei allen Behältern identisch durch Mischen des Sammelgutes vor der Verteilung auf die Behälter. Um hohe Geruchsbildung zu erreichen, wurden auch Essensreste incl. Fleisch und Knochenreste mit eingefüllt.

2.3.3.1 Versuchsaufbau

Die 120 ltr. Versuchstonnen wurden in geschlossene 240 ltr. Behälter gestellt, die über einen Kleinkompressor kontinuierlich und gleichmäßig belüftet wurden (vgl. Foto 10, Foto 12). In diesen Umtonnen erfolgte die Probenahme für die olfaktometrischen Messungen und für die Pilzemissionen.



Foto 9: Umtonnenversuch, Mischung des Biomülls vor der standardisierten Befüllung



Foto 10: Umtonnenversuch, Biotonne in Umtonne zur standardisierten Erfassung von Emissionen



Foto 11: Umtonnenversuch, belüftete Tonne



Foto 12: Umtonnenversuch, Versuchsaufbau

In der Zeit vom 16.1.95 - (Tonne 1 und 2) und vom 2.3.95-28.3.95 (Tonne 3 - 6) wurden 6 Tonnen in einem Gewächshaus in Leeden untersucht:

TONNE 1:	MIT BIOFILTER, (UMTONNE TAGSÜBER BEHEIZT) 14 TAGE VORLAUF
TONNE 2:	MIT BIOFILTER (UNBEHEIZT) 14 TAGE VORLAUF
TONNE 3:	MIT BIOFILTER (UMTONNE TAGSÜBER BEHEIZT)
TONNE 4:	BELÜFTETE TONNE (Foto 11), UMTONNE TAGSÜBER BEHEIZT)
TONNE 5:	NORMALE STANDARDTONNE (UMTONNE TAGSÜBER BEHEIZT)
TONNE 6:	MIT BIOFILTERDEPOT OHNE LÖCHER IM DECKEL (UMTONNE TAGSÜBER BEHEIZT)

Tab. 1: Im Umtonnenversuch untersuchte Behälter

Die Tonnen 1 und 2 wurden 4 mal bis zum 10.Tag mit neuem Bioabfall beschickt und dann nicht mehr neu befüllt. Die Probenentnahmen erfolgten am 14., 17., 21. und 28.Tag nach der Erstbeschickung. Es wurden zusätzlich Substratproben entnommen. Die Tonnen 3-6 wurden jeweils nach der Probennahme neu beschickt. Probennahme am: 4., 7., 11. und 18. Tag nach Erstbeschickung. Es wurden zusätzlich Substratproben entnommen.

Die Probenahme für die olfaktometrischen Messungen und die Pilzmissionen wurden mit diesem Umtonnenverfahren durchgeführt.

2.3.4 Innenraumversuche Institut für Hygiene

Vom 22.4.-11.5.95 wurden im Institut für Hygiene 4 Tonnen (2 Standard, 2 mit Filter) unter konstanten Temperaturbedingungen (22°C) auf die Höhe der Pilzmission getestet. Die Tonnen wurden nur einmal zu 75% befüllt und die Pilzentwicklung mit dem Expositionsmodell (s.u.) analysiert. Die Beprobung erfolgte alle 2 Tage bis zu 21 Tagen Standzeit der Tonnen. Der Meßkörper wurde nach der Messung wieder entfernt.

2.4 Analysenverfahren

2.4.1 Geruchs- und Madenmessungen

Bei den Feldversuchen I-III in Havixbeck wurde durch 2-3 Probanden, bei den Außenversuchen (2.3.1) durch 8 Probanden der Geruch der geschlossenen Tonne in 1 m Abstand und der Geruch der geöffneten Tonne in Höhe des aufgestellten Deckels nach einem Klassifizierungsschema beurteilt. Berücksichtigt wurde jeweils der Mittelwert der Klassifizierung durch die Probanden.

0	KEIN GERUCH
1	SCHWACHER GERUCH
2	DEUTLICHER GERUCH
3	STARKER GERUCH
4	STARKER, UNANGENEHMER GERUCH
5	SEHR STARKER, UNANGENEHMER GERUCH
6	SEHR STARKER, EKELERREGENDER GERUCH

Tab. 2: Klassifizierungsschema für die Geruchsintensität

Bei der Beurteilung der Madenentwicklung wurde analog verfahren:

0	KEINE MADEN VORHANDEN (AUCH NICHT BEIM UMRÜHREN DES TONNENINHALTES)
1	EINZELNE MADEN AUF DEM MÜLL
2	GERINGE MADENENTWICKLUNG AUF DEM MÜLL
3	DEUTLICHE MADENENTWICKLUNG IN DER TONNE, BESONDERS BEIM UMRÜHREN ERKENNBAR
4	STARKE MADENENTWICKLUNG IN DER TONNE, EKELERREGEND
5	STARKE MADENENTWICKLUNG IN DER TONNE, TEILWEISE DECKELRAND BEFALLEN, EKELERREGEND
6	MASSIVE MADENENTWICKLUNG IN DER TONNE UND AM DECKEL, TEILWEISE FLÄCHIGER BESATZ DES INHALTES MIT MADEN, STARK EKELERREGEND

Tab. 3: Klassifizierungsschema für die Beurteilung der Madenentwicklung

2.4.2 Bestimmung der Pilzsporenemission

2.4.2.1 Fangplattenmethode

Beim Feldversuch I wurden die Pilzsporenemissionen mittels Fangplatten (Malzagar mit Antibiotikazusatz) bestimmt. Dazu wurden 2 Malzplatten jeweils 30 sec der Luft im Tonneninneren exponiert und dann verschlossen.

2.4.2.2 Impaktormessung

Bei allen anderen Versuchen wurden die Sporenkonzentrationen mit dem Schlitzsammler DEHA Impaktor FH 2 bestimmt. Bei diesem Gerät dreht sich eine Agarplatte unter der Zutrittsöffnung (Schlitz) des Sammlers innerhalb von 2 Minuten um 360°. Die durchgesaugte Luftmenge betrug 100 l.

2.4.2.3 Expositionsmodell

0-30 SEC	DIE BIOTONNE IST GESCHLOSSEN. DIE MESSUNG ERGIBT DIE VORBELASTUNG DER UMGEBUNGSLUFT.
30-45 SEC	DER DECKEL IST GEÖFFNET.
35 SEC	DER PRÜFKÖRPER (PAPIER- BZW. KUNSTSTOFFSACK VON 8 L INHALT, GEFÜLLT MIT RASENSCHNITT, BLÄTTERN, SAND) WIRD EWORFEN
45 SEC	DER DECKEL WIRD GESCHLOSSEN.
50-120 SEC	DIE BIOTONNE IST WIEDER GESCHLOSSEN.

Tab. 4: Zeitabschnitte des Expositionsmodells

Die Ansaugung für den Impaktor wurde in Gesichtshöhe (ca. 1,65 m) vorgenommen, um die Verhältnisse beim Befüllen und die wirkliche Exposition des Befüllers möglichst naturgetreu simulieren zu können. Das Meßverfahren entsprach der Impaktormessung. Es erfolgte jedoch eine zeitproportionale Auswertung, indem bei der 2 minütigen Meßphase alle 15 sec. die Konzentrationen ausgewertet wurden, so daß eine Zuordnung zu den jeweils gerade durchgeführten Tätigkeiten möglich wurde. Die Messungen erfolgten jeweils parallel mit 2 Impaktoren.

2.4.2.4 Kulturbedingungen

Nährmedien:

für die Probenahme:

Malzagar = Oxytetracyclin-Glucose-Yeast-Extract-Agar (OGYE), Oxoid CM 545

zur Subkultur und Differenzierung:

Kimmig-Agar, Merck 1.05414.0000 mit Supplement Oxytetracylin (100 mg/l) und Chloramphenicol (100 mg/l)

Es wurden bei allen Versuchen grundsätzlich Malzagarplatten parallel bei 30°C und 44°C bis zu 10 Tagen bebrütet. Die Kulturen wurden täglich kontrolliert und ausgezählt.

Differenzierung:

Nativpräparate mit Tesafilm und Zugabe von Lactophenolblaulösung

Zupfpräparate mit Lactophenolblaulösung

Objekträgerkulturen

Besonderen Wert wurde auf die Differenzierung des thermotoleranten *Aspergillus fumigatus* gelegt, der bei einer Kulturtemperatur von 44°C mit Hilfe einer Ito-Refai-Platte anhand der Sporenform differenziert wurde.

2.4.2.5 Aufarbeitung fester Proben (Substrat)

50 g Substrat (Biomüll) wurden in einen Stomacher-Beutel gegeben und mit 50 g NaCl-Lösung (0,85%) im Stomacher homogenisiert.

Aus der Suspension wurden Verdünnungsreihen mit physiologischer Kochsalzlösung angelegt, auf Malzagar mit Oxytetracyclin ausgestrichen, für drei Tage bei 30°C bebrütet und dann ausgezählt.

Die Bestimmung erfolgte jeweils an drei Stichproben.

2.4.3 Statistische Auswertung

Die gesamte statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm Statgraphics, Version 1.0 für Windows (Statistical Graphics Corporation, Rockville, USA).

Die Auswertung umfaßte die beschreibenden Parameter: arithmetischer Mittelwert, Median, Varianz, Quartile.

Graphisch dargestellt wurden die Mittelwerte mit 95% Konfidenzintervall nach Scheffe sowie die Mediane mit Interquartilbereichen (Box und Whiskerplots bzw. Notched Box und Whiskerplots, Abb. 1).

Varianzanalyse

Anwendung fanden:

1. die Einweg Varianzanalyse von Mittelwerten (ANOVA).

Konfidenzintervalle der Mittelwerte wurden nach der Scheffe-Methode berechnet und ausgewertet.

2. der nicht-parametrische Test nach Kruskal-Wallis (Kruskal-Wallis Einweg Ranganalyse).

Zur Prüfung der Gleichheit zweier Mittelwerte wurde zusätzlich die Zwei-Proben Analyse angewendet (t-Test).

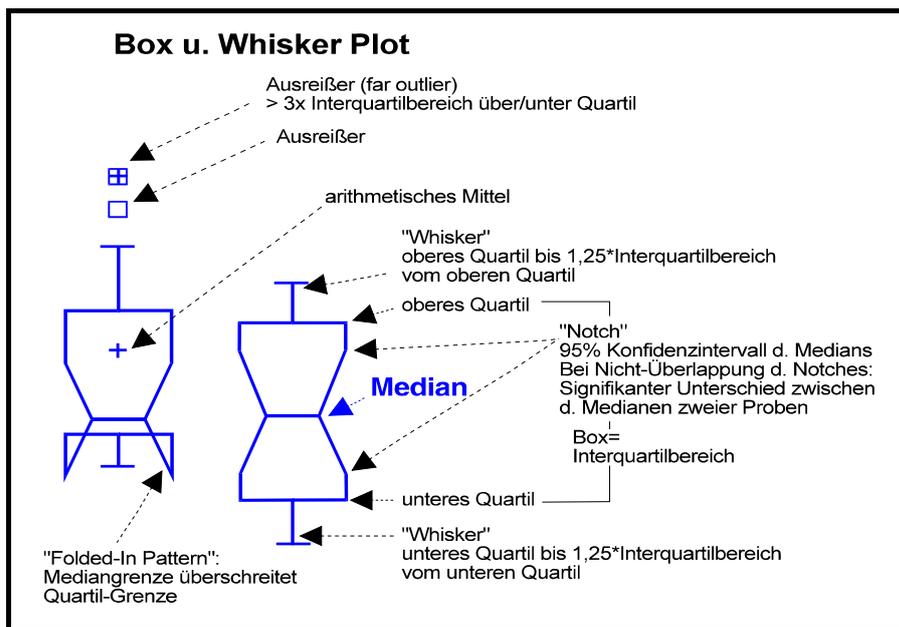


Abb. 1: (Notched) Box u. Whisker Plot

2.4.4 Hemmtests

Die Hemmtests wurde auf Kimmig Agar (Merck Nr. 10421) durchgeführt. Die *Bacillus*-Isolate wurden in Reinkultur zentral angeimpft. Gleichzeitig wurden verschiedene Pilze entweder strichförmig vom Zentrum weg oder punktförmig am Rand der Agarplatte aufgetragen. Die fertig beimpften Platten wurden mit Parafilm oder Isolierband verschlossen und bei 30°C im Brutschrank bebrütet. Nach 2 bis 20 Tagen wurde die Hemmwirkung fotografisch dokumentiert.

2.4.5 Olfaktometrie

Die olfaktometrischen Messungen wurden an der FH Münster im Labor für Immissionsschutz unter Leitung von Prof. Schirz durchgeführt. Die statische Probenahme erfolgte einmal wöchentlich in geruchsneutralen Polyamid-Beuteln. Am selben Tag fanden die Messungen am Olfaktometer (T0 6-SIH, System Mannebeck) nach der VDI Richtlinie 3881 Blatt 1 statt.

3 Ergebnisse

3.1 Geruch

3.1.1 Feldversuch I

Die Untersuchungen fanden vom Sommer 1994 mit ausgeprägt heißen Temperaturen im Juli und August (mehrere Tage hintereinander Maximalwerte von $>30^{\circ}\text{C}$) bis zum Frühherbst statt.

Bei allen Biotonnen, ob mit oder ohne Filterdeckel, waren starke Geruchsemissionen bei geöffnetem Deckel zu verzeichnen (Abb. 2, Abb. 3). Teilweise war extrem ekelerregender Geruch zu beobachten, der zu erheblichen Belästigungen führte. Die Unterschiede zwischen einzelnen Tonnen und den verschiedenen Testtagen waren außerordentlich groß und offensichtlich von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt, die unter Feldbedingungen statistisch nicht immer sicher abgeklärt werden konnten.

Mit wachsender Standzeit nahm die Intensität des Geruchs bei geschlossener und offener Tonne zu, diese Abhängigkeit konnte jedoch statistisch nicht signifikant abgesichert werden (Abb. 8, Abb. 6). Der Füllzustand wies ebenfalls keinen gesicherten Zusammenhang zur Geruchsproduktion auf. Auch leere Tonnen führten im geöffneten Zustand vereinzelt zu erheblichen Geruchsbelästigungen, mit wachsendem Tonneninhalt stiegen die Emissionen, insbesondere bei geöffnetem Deckel, an und erreichten ein schwaches Maximum bei 75% Füllzustand (Abb. 10, Abb. 12, Abb. 14). Sonnige Standorte führten zu stärkerer Geruchsbelästigung als schattige, am stärksten waren die Belästigungen in geschlossenen Räumen (Abb. 11).

Bei Beurteilung der geschlossenen Tonnen war insgesamt eine deutliche Verringerung der Emissionen feststellbar (Abb. 4, Abb. 5). Bei den normalen Standardtonnen waren aber auch im geschlossenen Zustand immer noch erhebliche Geruchsbelästigungen vorhanden (Abb. 4).

Der Einsatz des dicht schließenden Deckelsystems mit Biofilter erbrachte eine statistisch hochsignifikante Reduzierung der Geruchsemissionen aus geschlossenen Tonnen (Abb. 5, Abb. 17). In der Regel war bei Tonnen mit Filterdeckel kein spezifischer Geruch mehr wahrnehmbar. Einzelne Ausnahmen wurden praktisch immer durch nicht völlig geschlossene Deckel oder schadhafte Dichtungen hervorgerufen. In einigen Fällen wurden Tonnen mit offenen Deckeln betrieben.

Eine verlängerte Standzeit oder zunehmende Füllhöhe zeigten bei Tonnen mit Filterdeckel keinerlei Erhöhung der Geruchsproduktion im geschlossenen Zustand (Abb. 9, Abb. 13, Abb. 15). Extremwerte mit ekelerregenden Emissionen wie bei den normalen Standardtonnen konnten in keinem Fall beobachtet werden.

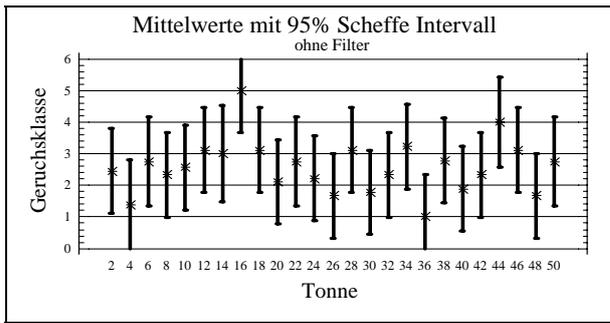


Abb. 2: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geöffneter* Tonnen *ohne* Filtereinsatz

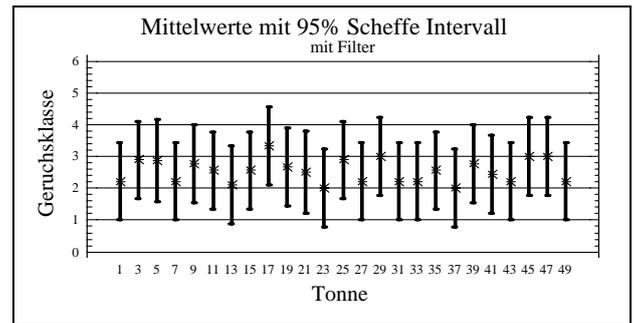


Abb. 3: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geöffneter* Tonnen *mit* Filtereinsatz

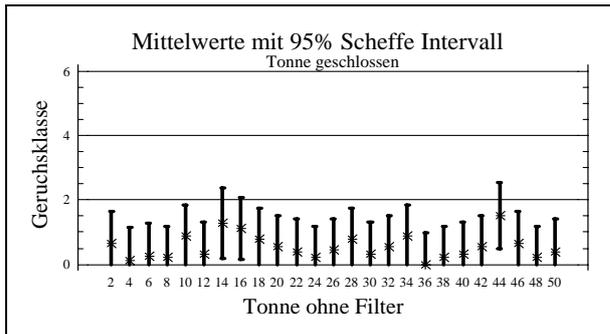


Abb. 4: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geschlossener* Tonnen *ohne* Filtereinsatz

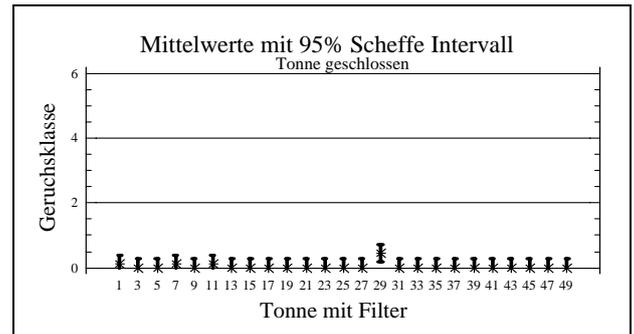


Abb. 5: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geschlossener* mit Filtereinsatz

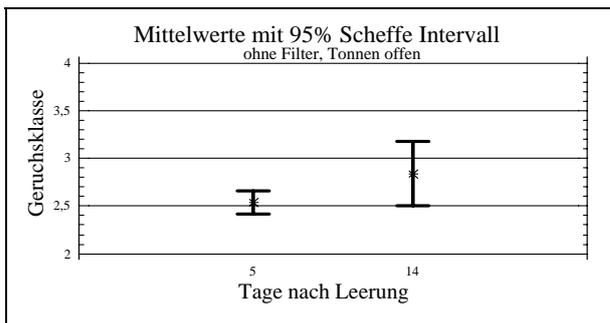


Abb. 6: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geöffneter* Tonnen *ohne* Filtereinsatz, in Abhängigkeit von der Standzeit ($p=0,23$)

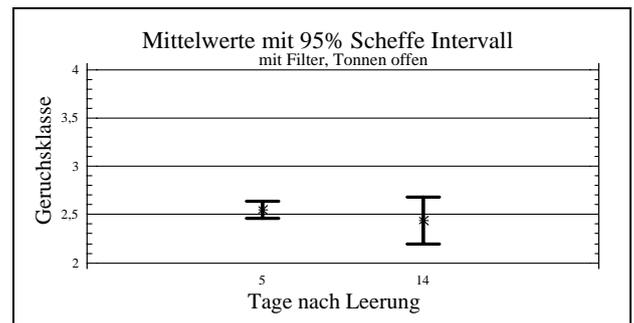


Abb. 7: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geöffneter* Tonnen *mit* Filtereinsatz, in Abhängigkeit von der Standzeit ($p=0,56$)

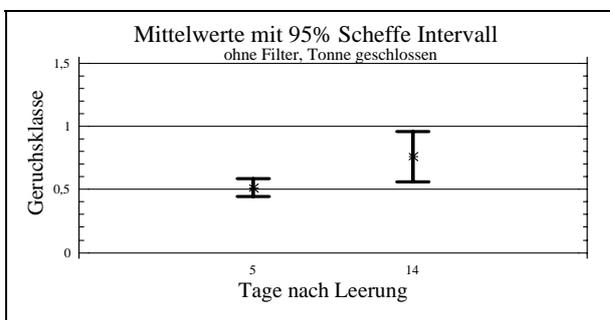


Abb. 8: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geschlossener* Tonnen *ohne* Filtereinsatz, in Abhängigkeit von der Standzeit ($p=0,11$)

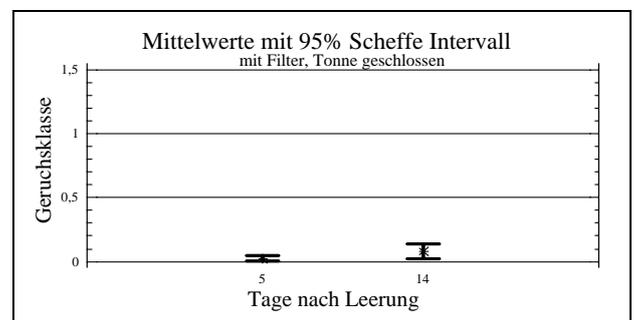


Abb. 9: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geschlossener* Tonnen *mit* Filtereinsatz ($p=0,20$)

Geruchsklassen: 0=kein 1=schwach 2=deutlich 3=stark 4=stark unangenehm
5= sehr stark unangenehm 6=sehr stark ekeleregend

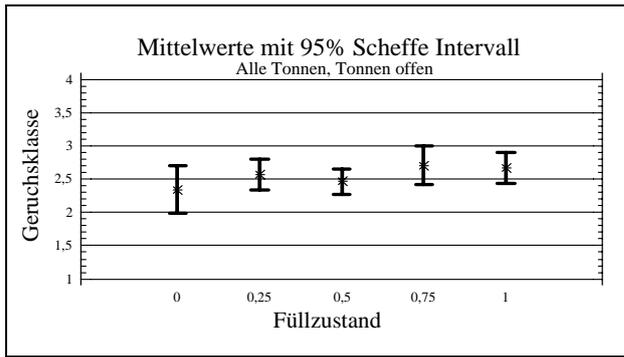


Abb. 10: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geöffneter* Tonnen, *alle* Tonnen, in Abhängigkeit vom Füllzustand ($p=0,26$)

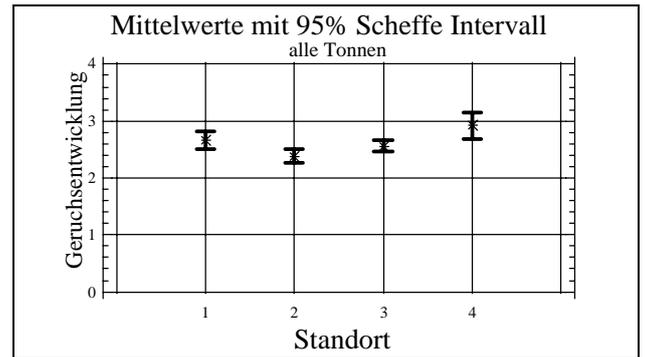


Abb. 11: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geöffneter* Tonnen, *alle* Tonnen, in Abhängigkeit vom Standort (1=sonnig, 2=halbschattig, 3=schattig, 4=Garage; $p=0,69$)

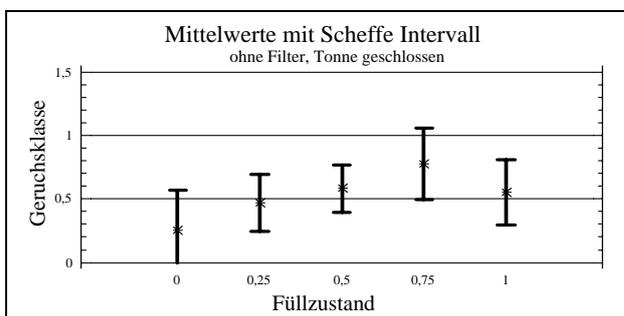


Abb. 12 Geruchsbelästigung in der Umgebung *geschlossener* Tonnen *ohne* Filtereinsatz, in Abhängigkeit vom Füllzustand ($p=0,63$)

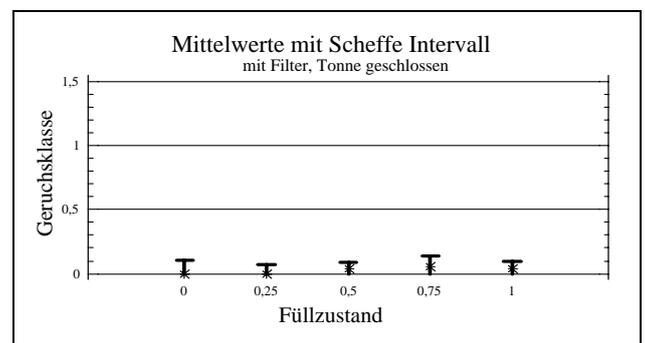


Abb. 13: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geschlossener* Tonnen *mit* Filtereinsatz, in Abhängigkeit vom Füllzustand ($p<0,05$)

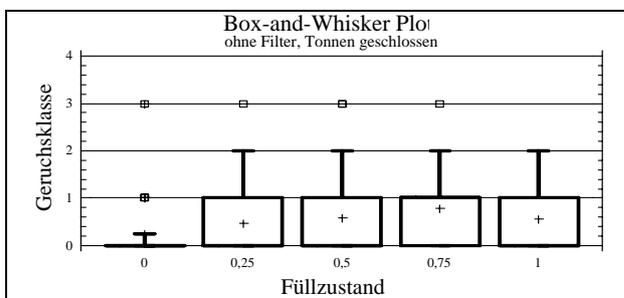


Abb. 14: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geschlossener* Tonnen *ohne* Filtereinsatz, in Abhängigkeit vom Füllzustand

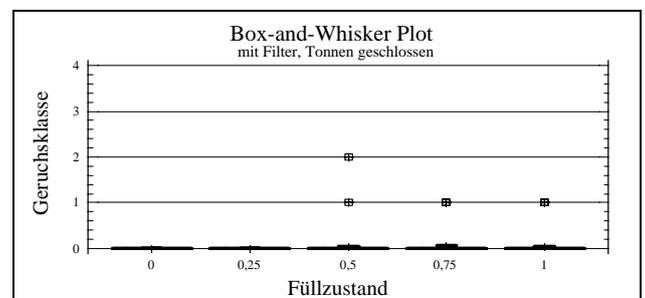


Abb. 15: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geschlossener* Tonnen *mit* Filtereinsatz, in Abhängigkeit vom Füllzustand

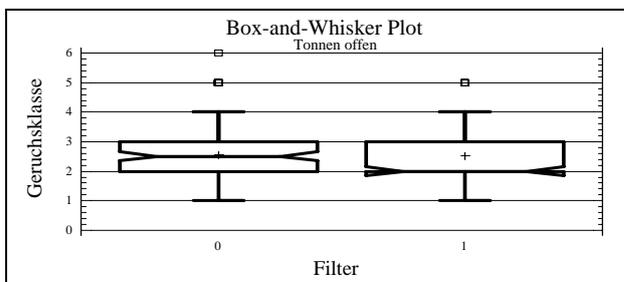


Abb. 16: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geöffneter* Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filtereinsatz ($p=0,76$)

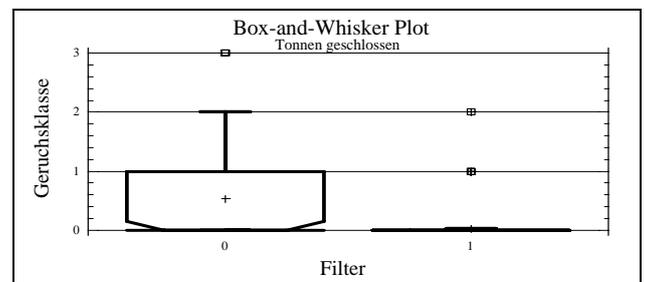


Abb. 17: Geruchsbelästigung in der Umgebung *geschlossener* Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filtereinsatz ($p<0,001$)

3.1.2 Feldversuch III

Die Ergebnisse des ersten Feldversuches konnten im dritten Feldversuch Havixbeck innerhalb einer insgesamt etwas kühleren Wetterperiode (18°C-24°C) bestätigt werden. Bei geöffneter Tonne war in allen Tonnen trotz der kühleren Witterung eine starke Geruchsproduktion zu verzeichnen. (Abb. 18, Abb. 20, Abb. 21). Mit zunehmender Standzeit nahmen die Emissionen deutlich zu (Abb. 24, Abb. 25). Die Geruchsintensität am 12. Tag (2 Tage vor Leerung) waren signifikant ($p < 0,001$) höher als am 6. Tag (Abb. 24). Bei dreiviertel gefüllten und vollen Tonnen war der Geruch am stärksten (Abb. 26, Abb. 27). Auch bei diesem Versuch war auffällig, daß auch leere Tonnen unmittelbar nach Leerung noch erhebliche Geruchsemissionen produzierten (Abb. 27).

Aus Tonnen mit Filterdeckel, der in der Zwischenzeit nicht ausgewechselt wurde und seit ca. einem Jahr in Betrieb war, war im geschlossenen Zustand praktisch kein Geruch mehr wahrnehmbar (Abb. 19, Tonnen 1-10). Eine Verschlechterung der Filterleistung nach über einem Jahr Standzeit der Filter konnte somit nicht festgestellt werden. Verlängerte Standzeit und wachsender Füllzustand führten hier wie beim 1. Feldversuch zu keiner wesentlichen Erhöhung der Geruchsemissionen (Abb. 28, Abb. 29).

Ausreißer wurden auch bei dieser Testperiode durch teilweise geöffnete Deckel hervorgerufen (Abb. 19, Tonne 4).

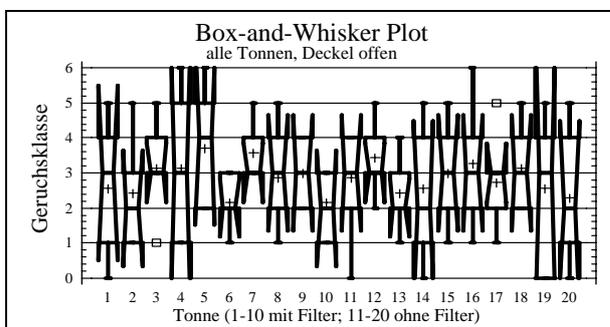


Abb. 18: Geruchsbelastigung in der Umgebung *geöffneter* Tonnen, Tonnen 1-10 mit Filter, 2-20 ohne Filter

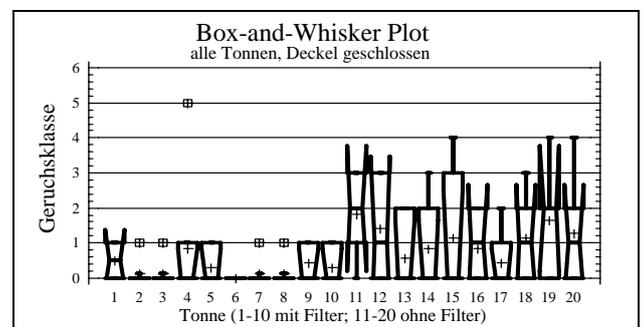


Abb. 19: Geruchsbelastigung in der Umgebung *geschlossener* Tonnen, Tonnen 1-10 mit Filter, 2-20 ohne Filter

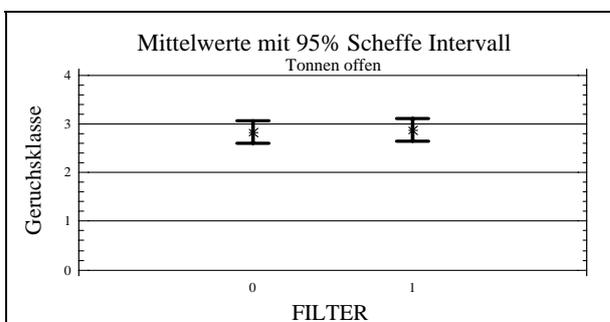


Abb. 20: Geruchsbelastigung in der Umgebung *geöffneter* Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter ($p=0,86$)

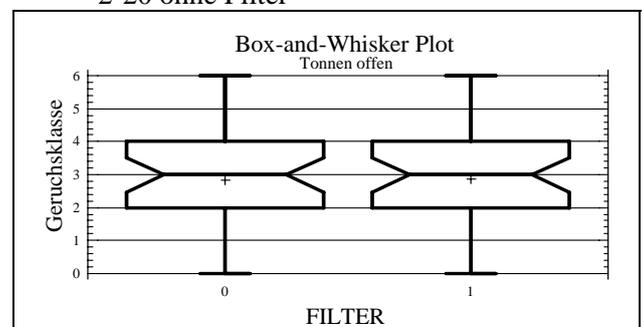


Abb. 21: Geruchsbelastigung in der Umgebung *geöffneter* Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter

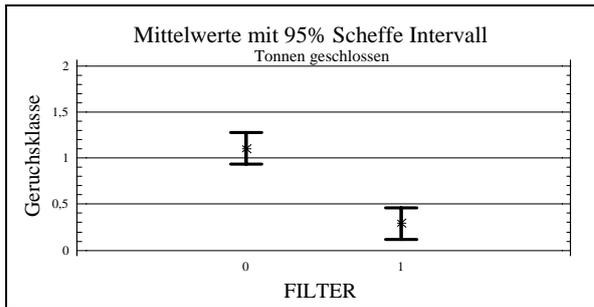


Abb. 22: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter ($p < 0,001$)

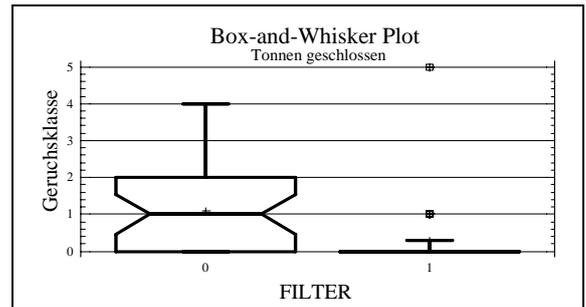


Abb. 23: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter

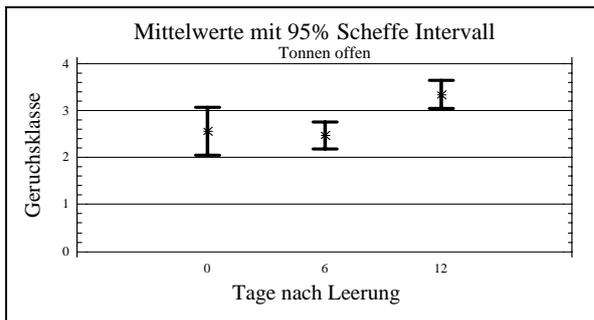


Abb. 24: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen in Abhängigkeit von der Standzeit, alle Tonnen ($p < 0,001$)

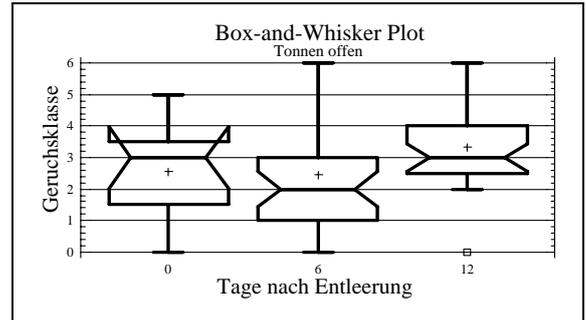


Abb. 25: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen in Abhängigkeit von der Standzeit, alle Tonnen

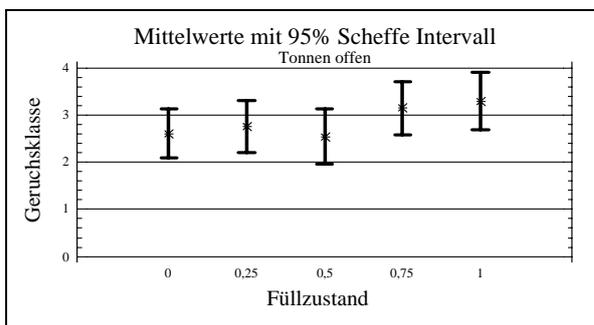


Abb. 26: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen in Abhängigkeit vom Füllzustand, alle Tonnen ($p = 0,18$)

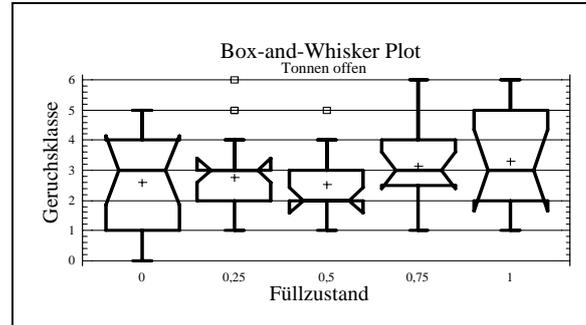


Abb. 27: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen in Abhängigkeit vom Füllzustand, alle Tonnen

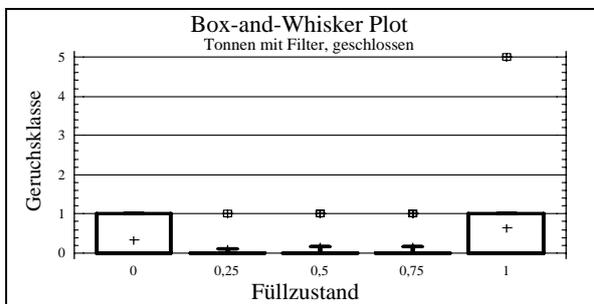


Abb. 28: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen mit Filter, in Abhängigkeit vom Füllzustand

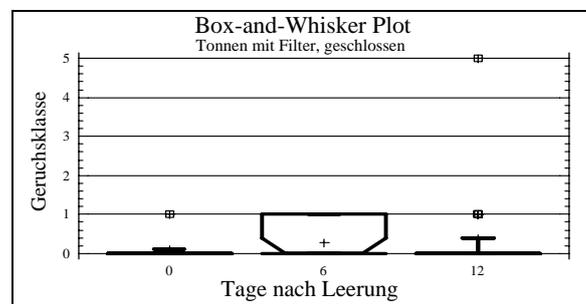


Abb. 29: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen mit Filter, in Abhängigkeit von der Standzeit

3.1.3 Feldversuch IV

Parallel zu den Untersuchungen des Instituts für Hygiene wurde eine Befragung der Versuchsteilnehmer durchgeführt. Die Befragung erfolgte anhand vordruckter Fragebögen durch studentische Hilfskräfte und Mitarbeiter der Fa. Biologic. Die Ergebnisse bringen die hohe Akzeptanz des neuen Systems und die Wirksamkeit gegen Maden und Geruch klar zum Ausdruck.

3.1.3.1 Zwischenbefragung

Die Zwischenbefragung wurde ca. 5 Wochen nach der Umrüstung der Tonnen nach einer ebenso langen Hitzeperiode durchgeführt.

Die guten Ergebnisse (Tab. 5 und Tab. 6) bestätigen Eignung und Akzeptanz des Biofiltersystems in der Praxis. Sie sind vor allem auch deshalb sehr beeindruckend, weil die technische Ausbildung der Prototypen eine Luftführung durch den Biofilter nicht immer zu 100 % gewährleisten konnte.

Bei fortschreitender Versuchsdauer trat aufgrund der nicht optimalen technischen Ausführung des Deckels Materialermüdung auf. Diese konnte auch bei einwandfreier Funktion des Biofilters dazu führen, daß Gase ungefiltert entweichen oder daß Fliegen in das Innere des Behälters gelangen konnten.

Um derartige "Fehlfunktionen" weitestgehend auszuschließen, wurden in KW 31/ 32 alle Deckel mit einem Spanngummi nachgerüstet, durch das die Filter fest an die Unterseite der Deckel angedrückt wurden. Alternativ wurden einige Deckel gegen Deckel mit Biofilter Modell II ausgetauscht.

Fragebogen zur vorläufigen vergleichenden Erfassung von Belästigungen durch Geruch und Ungeziefer bei der Sammlung von organischen Abfällen in Havixbeck			
Befragung am 26. und 28. 07. 1994			
Haushaltsgröße: Erwachsene Kinder Garten ja 38 nein 0			
Sammlung von organischem Abfall bei Ihnen seit: mehreren Jahren (In Havixbeck allgemein seit 5 Jahren)			
	Bei herkömmlichen, städtischen Sammelbehältern	Bei Behältern mit Biofilter im Deckel	Bewertungsfaktor
Wie häufig traten Geruchsbelästigungen in der Umgebung der Kompostsammelbehälter auf?	24 regelmäßig 9 manchmal 3 selten 2 nie	0 regelmäßig 1 manchmal 6 selten 31 nie	20 10 5 0
Die Gerüche waren auch bei geschlossener Biotonne	10 stark unangenehm 17 unangenehm 8 noch tolerierbar 3 kaum merklich	0 stark unangenehm 1 unangenehm 5 noch tolerierbar 32 kaum merklich	20 10 5 0
Die Geruchsbelästigung beim Öffnen des Behälters war	35 häufig 3 manchmal 0 selten	24 häufig 8 manchmal 6 selten	1 0,5 0,1
Bewertung: Häufigkeit x Stärke	35 unangenehm 2 noch tolerierbar 1 unwesentlich	5 unangenehm 20 noch tolerierbar 13 unwesentlich	10 2 0
In den Sommermonaten gab es Belästigungen durch Fliegen	21 ständig 10 häufig 5 selten 2 nie	0 ständig 1 häufig 9 selten 28 nie	20 10 5 0
In den Sommermonaten gab es Belästigungen durch Maden	21 ständig 9 häufig 5 selten 3 nie	1 ständig 1 häufig 4 selten 32 nie	20 10 5 0
In den Sommermonaten gab es Belästigungen durch Ameisen	2 ständig 4 häufig 1 selten 31 nie	0 ständig 0 häufig 3 selten 35 nie	10 5 2 0
∅ Summe der Belästigungsfaktoren	63 von 100 100 = max. Belästigung	8 von 100 100 = max. Belästigung	

Tab. 5: Fragebogen (Seite 1) mit Ergebnissen der Zwischenbefragung des Feldversuchs in Havixbeck

Wie würden Sie die Wirkung des Biofilters in Hinblick auf die Geruchsbelästigung in der Umgebung der geschlossenen Tonne benoten (Schulnoten)?		16 Sehr gut 19 gut 3 zufriedenstellend 0 ausreichend 0 mangelhaft 0 ungenügend	1 2 3 4 5 6
Wie beurteilen Sie die Wirkung des Biofilters in Hinblick auf die Geruchsbelästigung bei Öffnung der Tonne? Der Geruch innerhalb der Tonne wird durch den Biofilter		32 vermindert 6 nicht beeinflusst 0 verstärkt	1 2 3 4 5 6
Wie würden Sie die Wirkung des neuartigen Deckels in Hinblick auf die Belästigung durch Ungeziefer (Fliegen, Maden, Ameisen, Anziehung von Ratten und Mäusen) benoten?		14 Sehr gut 19 gut 5 zufriedenstellend 0 ausreichend 0 mangelhaft 0 ungenügend	1 2 3 4 5 6
Summe Noten / Anzahl Durchschnittsbenotung		180 / 38 1,58	
<p>0 Ich halte den Einsatz eines Biofilters grundsätzlich für unsinnig oder unnötig</p> <p>38 Ich halte den Einsatz eines Biofilters grundsätzlich für sinnvoll zur</p> <p>38 Verminderung von / Vermeidung von 38 Geruchsbelästigungen 38 Ungezieferbefall</p> <p>Ein zur Serienreife verbesserter Biofilter darf nach meiner Einschätzung Mehrkosten verursachen und zwar von jährlich maximal</p> <p>DM 20.-- 17 DM 30.-- 9 DM 50.-- 6 k. A. 6</p>			

Tab. 6: Fragebogen (Seite 2) mit Ergebnissen der Zwischenbefragung des Feldversuchs in Havixbeck

3.1.3.2 Abschlußbefragung

Die Abschlußbefragung wurde nach dem extrem heißen Sommer im Oktober 1994 mit einem überarbeiteten Fragebogen durchgeführt. Es wurden insgesamt 71 Haushalte befragt. Ein Fragebogen mit der Häufigkeit der dokumentierten Antworten ist in Tab. 7 und Tab. 8 dargestellt.

Feldversuch Biotonne mit eingebautem Biofilter: Juni bis Sep. 1994			
Fragebogen zur vergleichenden Erfassung von Belästigungen durch Geruch und Ungeziefer bei der Sammlung von organischen Abfällen in Havixbeck. Befragung vom 22.09. - 11.10.1994			
Garten: ja 71 nein 0 Sammlung von organischem Abfall seit: mehreren Jahren (In Havixbeck allgemein seit 5 Jahren) Bei zwei Haushaltungen handelt es sich um Zuzüge, die vorher noch keine Biotonne hatten.			
	Bei herkömmlichen, städtischen Sammelbehältern	Bei Behältern mit Biofilter im Deckel (Handgefertigte Prototypen)	Bewertungsfaktor
Wie häufig traten im Sommer Geruchsbelästigungen in der Umgebung der Kompostsammelbehälter auf? (Häufigkeit bei geschl. Tonne)	30 ständig 27 häufig 11 selten 1 nie	0 ständig 0 häufig 24 selten 47 nie	20 10 5 0
Die Gerüche waren auch bei geschlossener Biotonne (Intensität bei geschl. Tonne)	45 unangenehm 17 noch tolerierbar 7 kaum merklich	0 unangenehm 5 noch tolerierbar 66 kaum merklich	20 10 0
Die Geruchsbelästigung beim Öffnen des Behälters war häufig (Intensität bei offener Tonne)	40 stark unangenehm 25 unangenehm 4 noch tolerierbar 0 unwesentlich	1 stark unangenehm 11 unangenehm 28 noch tolerierbar 31 unwesentlich	20 10 5 0
In den Sommermonaten gab es Belästigungen durch Fliegen	33 ständig 24 häufig 6 selten 6 nie	0 ständig 0 häufig 27 selten 44 nie	20 10 5 0
In den Sommermonaten gab es Belästigungen durch Maden	34 ständig 18 häufig 12 selten 5 nie	0 ständig 1 häufig 16 selten 54 nie	20 10 5 0
∅ Summe der Belästigungsbewertungsfaktoren	<u>72</u> von 100 100 = max. Belästigung	<u>9</u> von 100 100 = max. Belästigung	

Tab. 7: Fragebogen (Seite 1) mit Ergebnissen der Abschlußbefragung des Feldversuchs in Havixbeck

Wie würden Sie die Wirkung des Biofilters in Hinblick auf die Geruchsbelästigung in der Umgebung der geschlossenen Tonne benoten (Schulnoten)?		27 Sehr gut 37 gut 7 zufriedenstellend 0 ausreichend 0 mangelhaft 0 ungenügend	1 2 3 4 5 6
Wie beurteilen Sie die Wirkung des Biofilters in Hinblick auf die Geruchsbelästigung bei Öffnung der Tonne? Der Geruch innerhalb der Tonne wird durch den Biofilter		62 vermindert 9 nicht beeinflusst 0 verstärkt	1 2 3 4 5 6
Wie würden Sie die Wirkung des neuartigen Deckels in Hinblick auf die Belästigung durch Ungeziefer (z. B. Maden) benoten?		31 Sehr gut 30 gut 9 zufriedenstellend 0 ausreichend 1 mangelhaft 0 ungenügend	1 2 3 4 5 6
Möchten Sie Ihren Deckel mit Biofilter behalten?		71 ja 0 nein	
Summe Noten / Anzahl Durchschnittsbenotung		Durchschnitt 1,6	

0 Ich halte den Einsatz eines Biofilters **grundsätzlich für unsinnig oder unnötig**

71 Ich halte den Einsatz eines Biofilters **grundsätzlich für sinnvoll zur** Verminderung / Vermeidung von: **71** Geruchsbelästigungen **71** Ungezieferbefall
Ein zur Serienreife verbesserter Biofilter darf nach meiner Einschätzung **Mehrkosten verursachen** von **monatlich** maximal

- 8** 0,80 DM
- 11** 1,00 DM
- 10** 1,50 DM
- 11** 2,00 DM
- 3** 3,00 DM
- 5** 4,00 DM
- 18** Ich bin **nicht** bereit, für den Biofilter Kosten in Kauf zu nehmen, da diese bereits in den bestehenden Kosten enthalten sein sollten
- 5** keine Angaben

Tab. 8: Fragebogen (Seite 2) mit Ergebnissen der Zwischenbefragung des Feldversuchs in Havixbeck

3.1.4 Außenversuche

Die Faktorenanalyse, die bei den Feldexperimenten auf Grund vieler unkontrollierbaren Einflüsse nur schwierig durchzuführen war, ergab unter kontrollierten Bedingungen signifikantere Ergebnisse.

3.1.4.1 Außenversuche Institut für Hygiene

Um möglichst hohe Geruchsbelästigungen zu produzieren, wurden die Testtonnen zu 50% mit Essensresten, auch Knochen, befüllt und über drei Wochen bei Tagestemperaturen zwischen 25°C und 30°C ohne Neubefüllung stehengelassen. Bei den Versuchen wurde darauf geachtet, daß die Biofilterdeckel immer dicht geschlossen waren. Eine Befeuchtung der Biofilter erwies sich als unnötig, da durch die Kondenswasserbildung ausreichend Feuchtigkeit produziert wurde.

Innerhalb von ca. 6 Tagen kam es zu einer erheblichen Geruchsbildung in allen Tonnen, die zwischen dem 8. und 14. Tag ihr Maximum hatte und von allen Probanden übereinstimmend als stark ekelerregend beurteilt wurde (Abb. 30, Abb. 31). In der dritten Woche Standzeit nahm der Geruch langsam wieder ab (Abb. 30, Abb. 31).

Auch bei geschlossenem Deckel war die Geruchsbelästigung durch die Standardtonnen sehr hoch und zeigte zwischen dem 7. und 16. Tag ihr Maximum (Abb. 30)

Der Einsatz des dicht schließenden Filterdeckels erbrachte eine erhebliche Reduzierung der Geruchsemissionen bei geschlossenem Deckel. Erst nach dem 14.-16. Tag stiegen die Emissionen leicht an, ohne daß jedoch ekelerregende Qualitäten erreicht wurden. Die Unterschiede zu den Standardtonnen waren erheblich und statistisch hochsignifikant (Abb. 33).

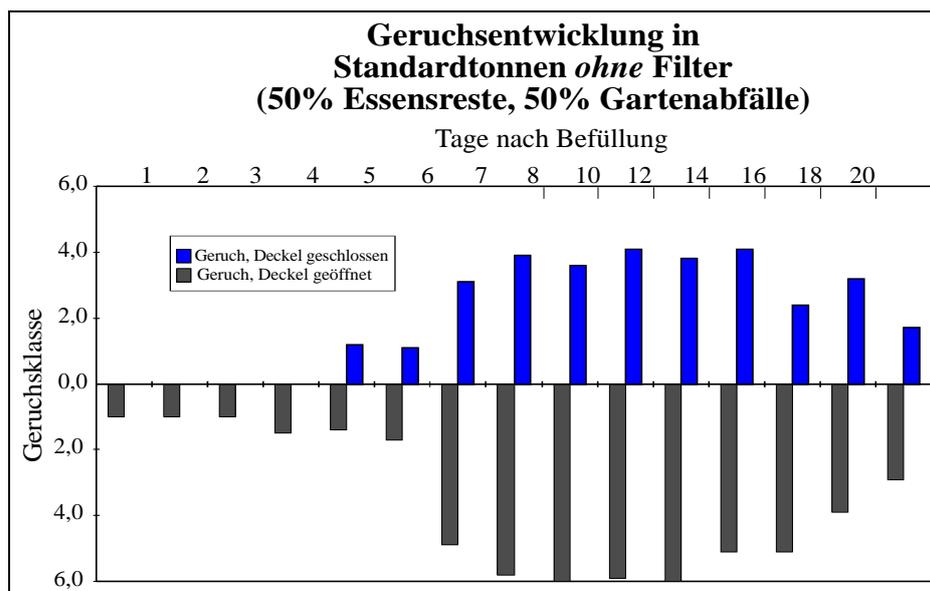


Abb. 30: Geruchsbelästigung in der Umgebung *normaler Standard-Tonnen* in Abhängigkeit von der Standzeit im geschlossenen und geöffnetem Zustand

Geruchsklassen: 0=kein 1=schwach 2=deutlich 3=stark 4=stark unangenehm
5= sehr stark unangenehm 6=sehr stark ekelerregend

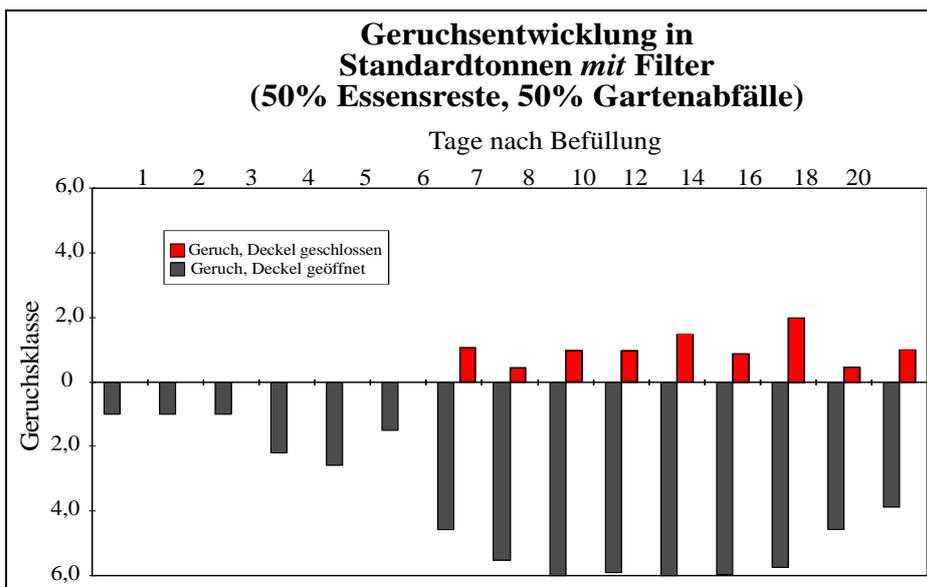


Abb. 31: Geruchsbelästigung in der Umgebung von Tonnen mit Filterdeckel in Abhängigkeit von der Standzeit im geschlossenen und geöffnetem Zustand

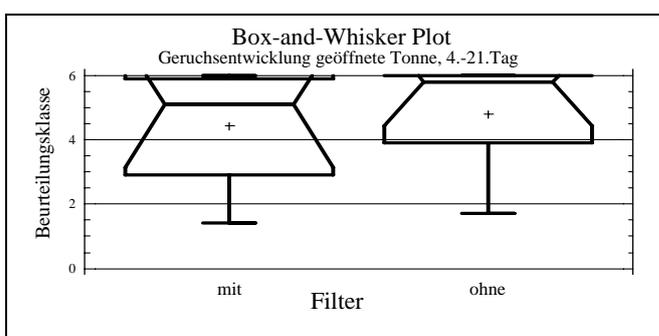


Abb. 32: Geruchsbelästigung in der Umgebung von Tonnen mit und ohne Filter, Deckel geöffnet ($p > 0,05$)

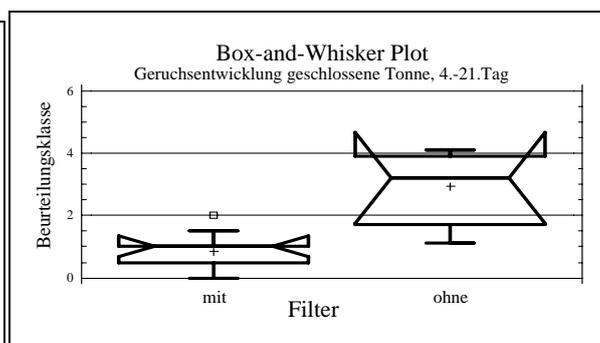


Abb. 33: Geruchsbelästigung in der Umgebung von Tonnen mit und ohne Filter, Deckel geschlossen ($p < 0,001$)

3.1.4.2 Außenversuche Biologic

Im Gegensatz zu den Außenversuchen am Institut für Hygiene wurden die Tonnen hier mit reinen Essensresten aus der Mensa incl. Fleisch und Knochen befüllt. Die Ergebnisse (Abb. 34 bis Abb. 65) bestätigen die Resultate der Außenversuche am Institut für Hygiene. Die gute Wirkung des Filters konnte in beiden Versuchsreihen aufgrund der extremen Befüllung noch klarer aufgezeigt werden. Durch die Behälterzahl und die Durchführung von zwei unabhängigen Versuchsreihen wurden die Ergebnisse noch weiter abgesichert. Die Unterschiede zwischen den Kontrolltonnen 1-4 ohne Filter und den Tonnen 5-14 mit Biofilter waren auch hier statistisch hochsignifikant. Auch bei extremster Geruchsproduktion im Inneren der Tonnen gewährleistete der Biofilter eine Geruchsreduktion, die so erheblich war, daß an den Luftaustrittsöffnungen der Biofilter keine oder nur geringe Gerüche auftraten. Gefäße mit Biofilter sind daher auch geeignet, Essensreste in Gaststätten und Kantinen zu sammeln, ohne die sonst unvermeidlichen Geruchsbelästigungen oder extrem kurze Abholintervalle in Kauf nehmen zu müssen.

Geruchsklassen: 0=kein 1=schwach 2=deutlich 3=stark 4=stark unangenehm
 5= sehr stark unangenehm 6=sehr stark ekeleregend

1. VERSUCHSREIHE

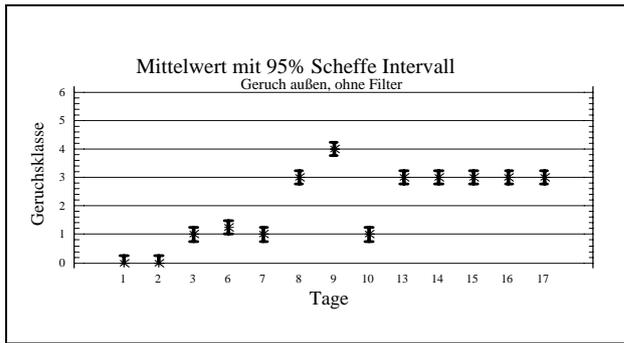


Abb. 34: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen ohne Filter in Abhängigkeit von der Standzeit ($p < 0,001$)

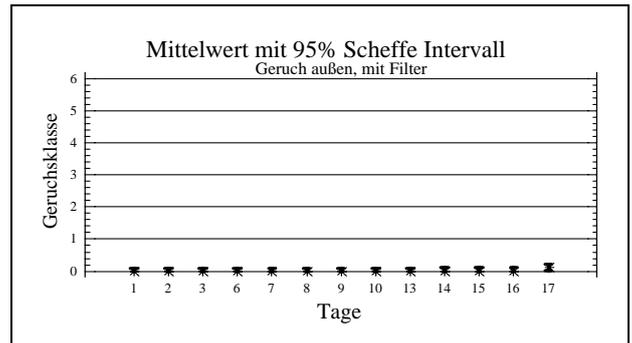


Abb. 35: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen mit Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

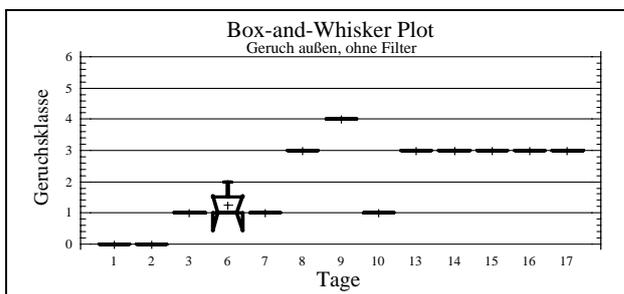


Abb. 36: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen ohne Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

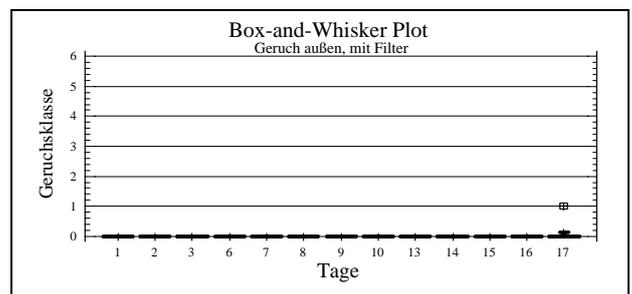


Abb. 37: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen mit Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

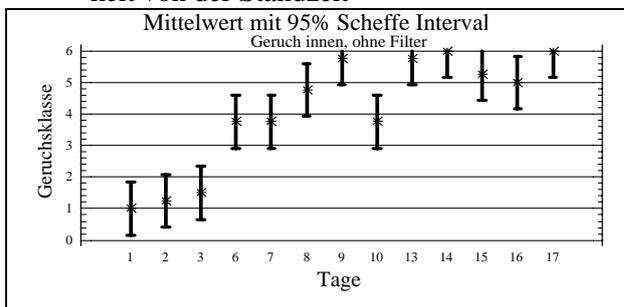


Abb. 38: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen ohne Filter in Abhängigkeit von der Standzeit ($p < 0,001$)

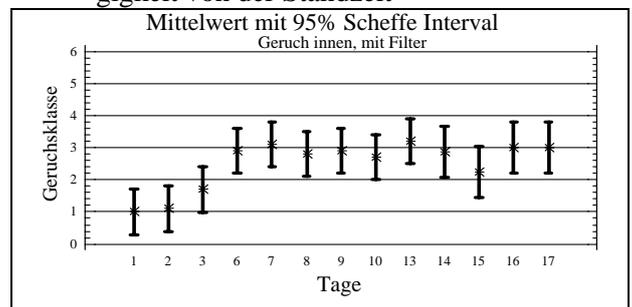


Abb. 39: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen mit Filter in Abhängigkeit von der Standzeit ($p < 0,01$)

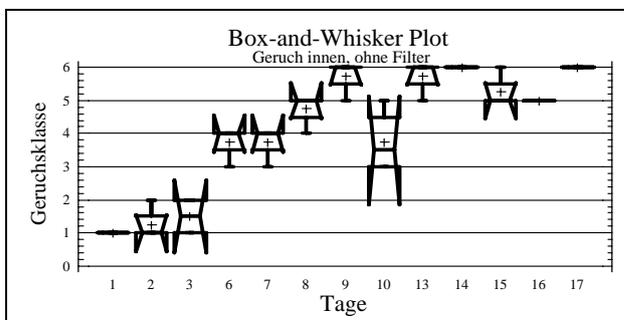


Abb. 40: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen ohne Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

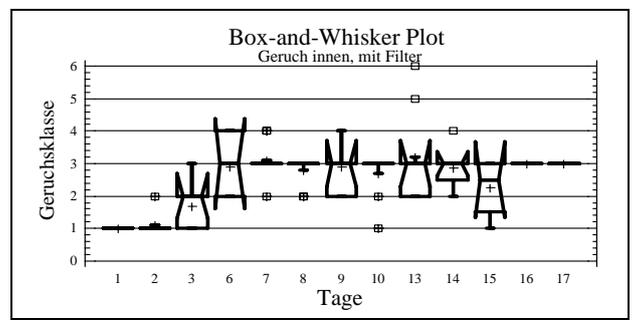


Abb. 41: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen mit Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

Geruchsklassen: 0=kein 1=schwach 2=deutlich 3=stark 4=stark unangenehm
5= sehr stark unangenehm 6=sehr stark ekelerregend

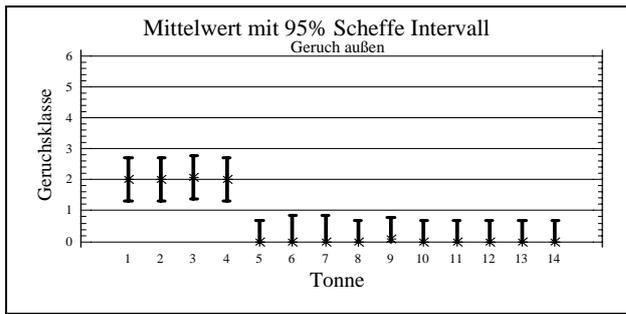


Abb. 42: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen, Tonnen 1-4 ohne, Tonnen 5-14 mit Biofilter

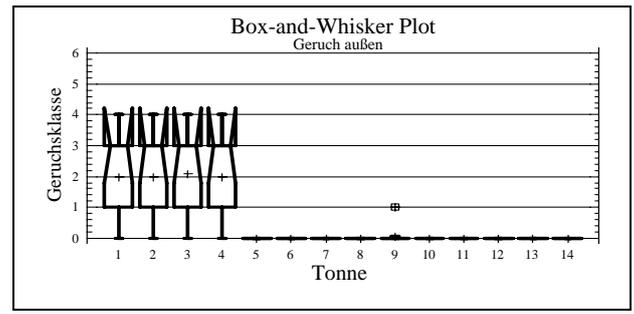


Abb. 43: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen, Tonnen 1-4 ohne, Tonnen 5-14 mit Biofilter

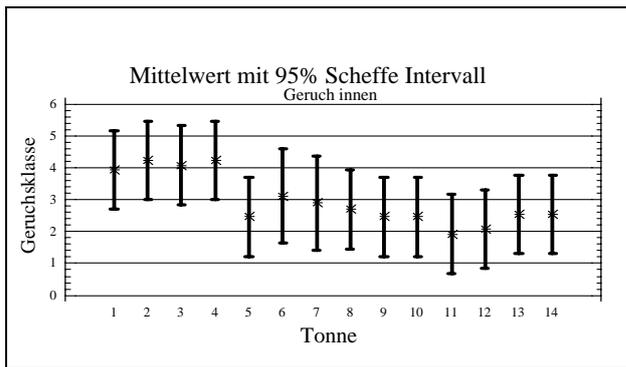


Abb. 44: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen, Tonnen 1-4 ohne, Tonnen 5-14 mit Biofilter

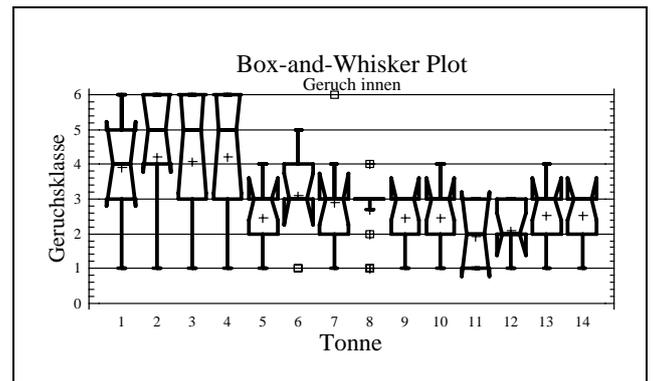


Abb. 45: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen, Tonnen 1-4 ohne, Tonnen 5-14 mit Biofilter

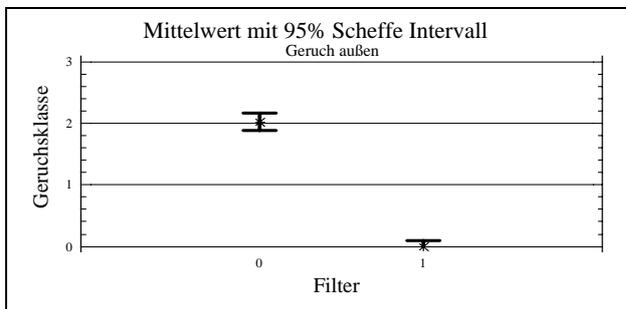


Abb. 46: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter ($p < 0,001$)

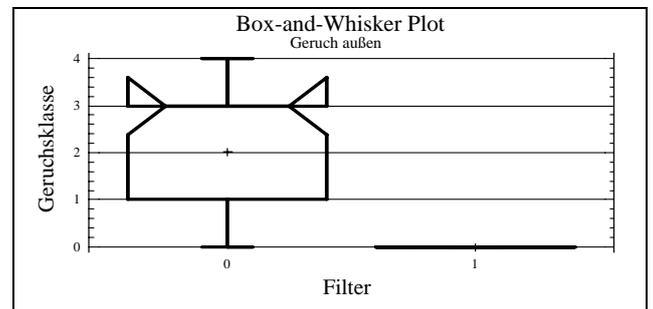


Abb. 47: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter

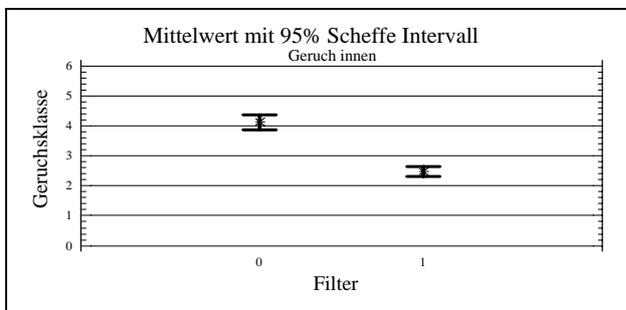


Abb. 48: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter ($p < 0,001$)

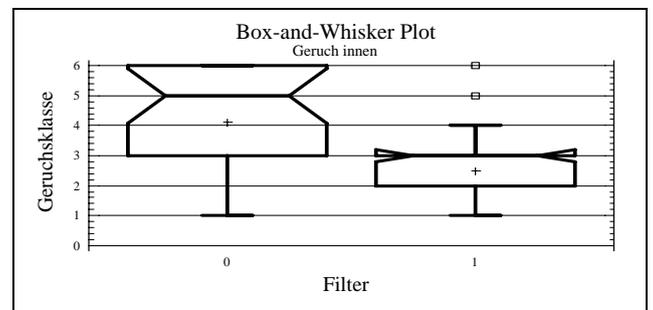


Abb. 49: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter

Geruchsklassen: 0=kein 1=schwach 2=deutlich 3=stark 4=stark unangenehm
5= sehr stark unangenehm 6=sehr stark ekelerregend

2. VERSUCHSREIHE

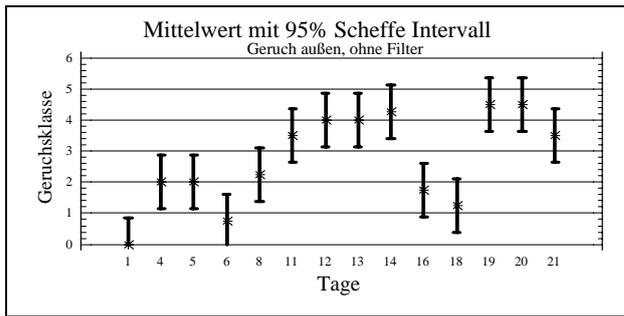


Abb. 50: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen ohne Filter in Abhängigkeit von der Standzeit ($p < 0,001$)

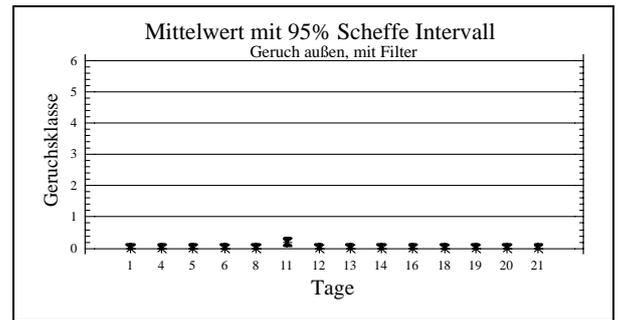


Abb. 51: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen mit Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

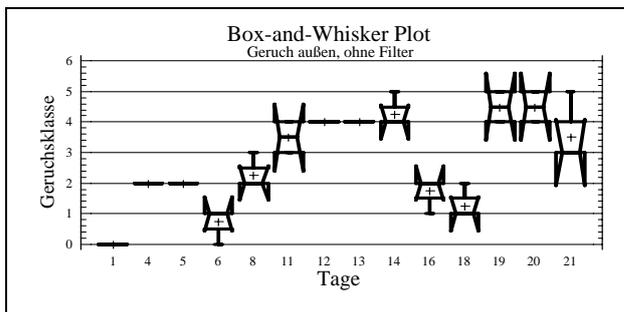


Abb. 52: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen ohne Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

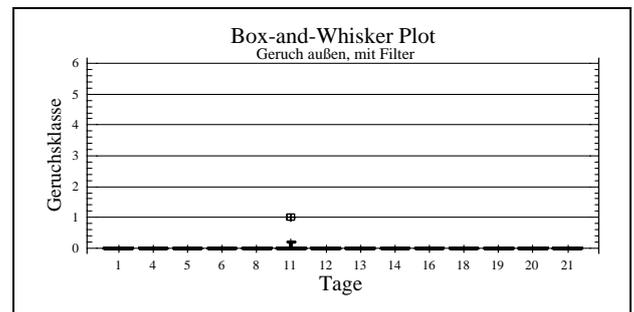


Abb. 53: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen mit Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

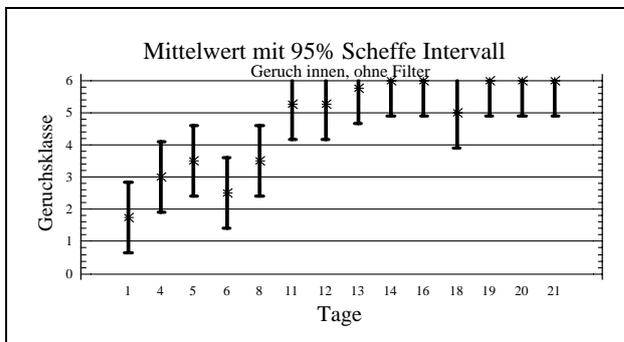


Abb. 54: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen ohne Filter in Abhängigkeit von der Standzeit ($p < 0,001$)

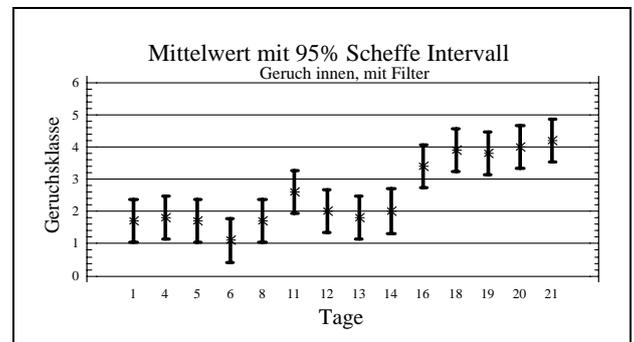


Abb. 55: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen mit Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

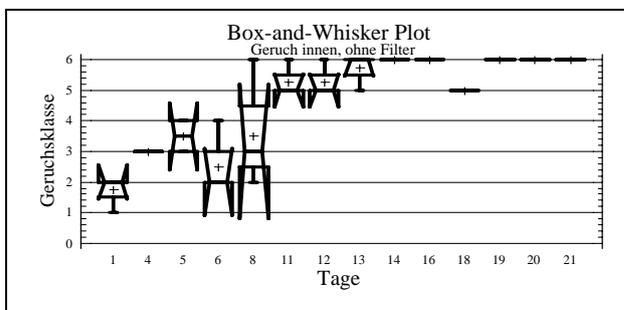


Abb. 56: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen ohne Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

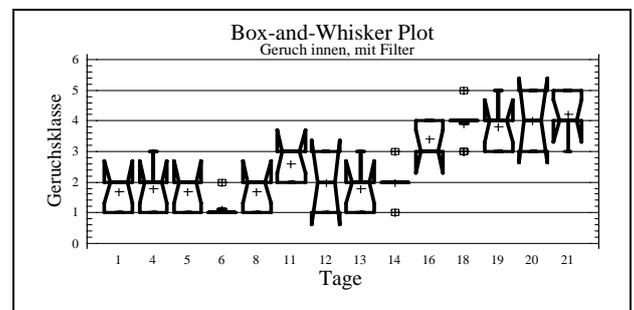


Abb. 57: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen mit Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

Geruchsklassen: 0=kein 1=schwach 2=deutlich 3=stark 4=stark unangenehm
5= sehr stark unangenehm 6=sehr stark ekelerregend

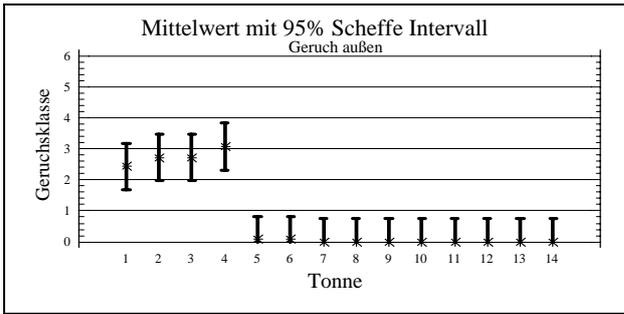


Abb. 58: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen, Tonnen 1-4 ohne, Tonnen 5-14 mit Biofilter

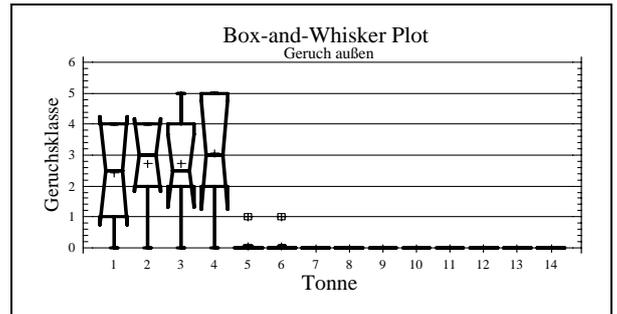


Abb. 59: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen, Tonnen 1-4 ohne, Tonnen 5-14 mit Biofilter

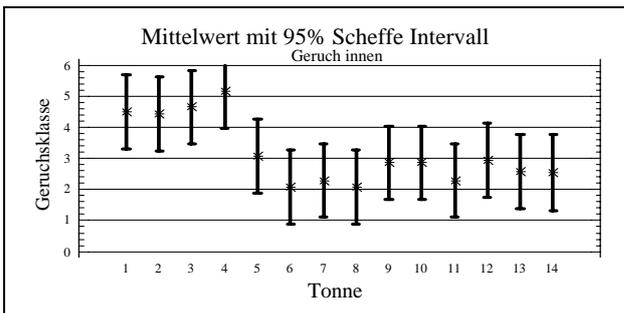


Abb. 60: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen, Tonnen 1-4 ohne, Tonnen 5-14 mit Biofilter

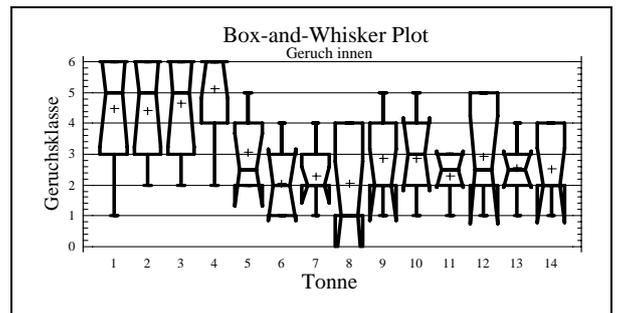


Abb. 61: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen, Tonnen 1-4 ohne, Tonnen 5-14 mit Biofilter

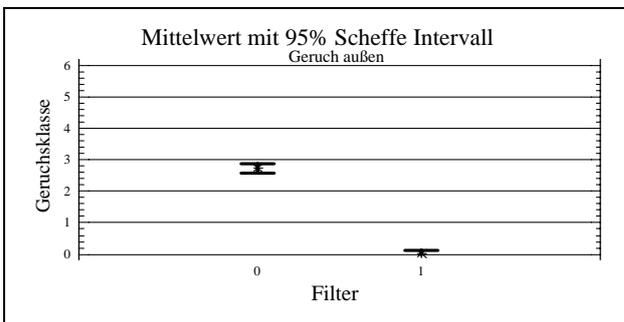


Abb. 62: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter ($p < 0,001$)

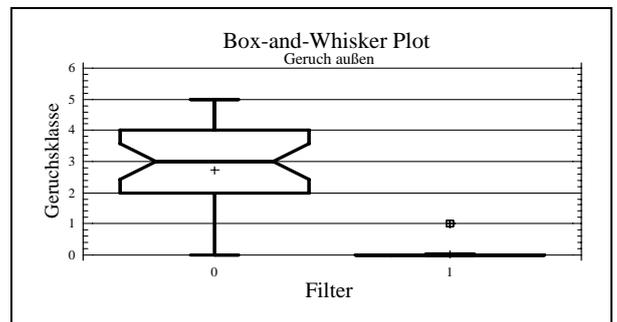


Abb. 63: Geruchsbelästigung in der Umgebung geschlossener Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter

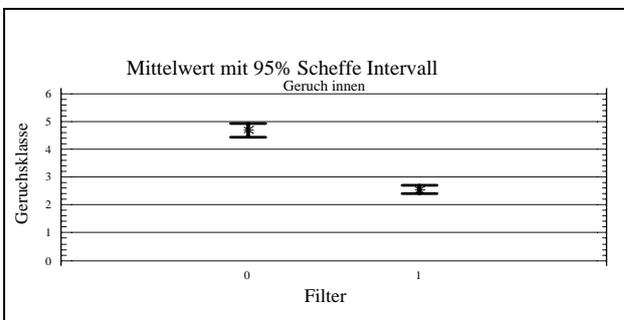


Abb. 64: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter ($p < 0,001$)

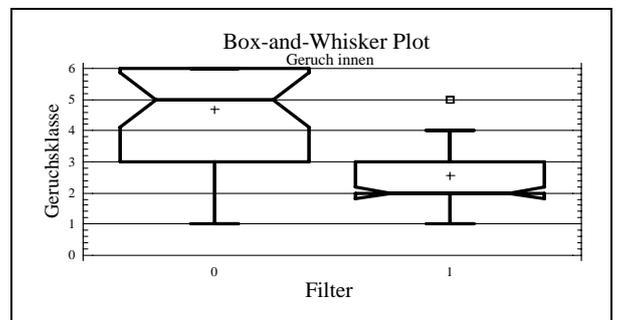


Abb. 65: Geruchsbelästigung in der Umgebung geöffneter Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter

Geruchsklassen: 0=kein 1=schwach 2=deutlich 3=stark 4=stark unangenehm
 5= sehr stark unangenehm 6=sehr stark ekeleregend

3.1.5 Olfaktometrische Messungen im Umtonnenversuch

Mit Hilfe der Olfaktometrie konnte die Geruchsminderung der verschiedenen Sammelsysteme gemessen und berechnet werden. Die im Umtonnenversuch (FH Münster, Labor für Immissionschutz) gemessenen Wirkungsgrade von unterschiedlichen Behältersystemen sind in Tab. 9 dargestellt. Der Wirkungsgrad (η) wurde nach der Formel $\eta = \frac{C_{\text{roh}} - C_{\text{rein}}}{C_{\text{roh}}}$ berechnet, wobei:

C_{roh} der Geruchskonzentration in den Tonnen und

C_{rein} der Geruchskonzentration in der Umtonne entspricht.

Datum	Wirkungsgrad			
	Biotonne mit Biofilter	Belüftete Biotonne	Herkömmliche Biotonne	Biotonne mit Bakteriendepot
30.01.1995	92,6%	64,6%	86,7%	86,0%
02.02.1995	90,4%	60,3%	80,2%	66,7%
09.02.1995	99,4 %	5,6%	70,3%	81,3%
16.02.1995	99,1%	15,9%	73,5%	92,6%

Tab. 9: Wirkungsgrad (Geruchsminderung) bei verschiedenen Biotonnen,

Bemerkenswert ist der hohe Wirkungsgrad des Biofilters von über 90% ohne Einlaufphase vom Tag der Inbetriebnahme an, der nur durch ein vorheriges Animpfen des Filtermaterials gewährleistet werden kann. Bereits nach 14 Tagen Einlaufzeit konnte ein Wirkungsgrad von über 99% gemessen werden. Obwohl die olfaktometrischen Messungen für sich alleine betrachtet keine statistische Relevanz besitzen, bestätigen sie wissenschaftlich exakt die in den übrigen Versuchen ermittelte Geruchsminderung durch den Biofilter.

3.2 Maden

Eine große Bedeutung für die Akzeptanz einer Biotonne hat die im Sommer auftretende teilweise extreme Madenbildung in Biotonnen, die bei den Betreibern zu einer erheblichen Ablehnung der Nutzung der Tonne insgesamt führt und bei den Probenahmen von den Betreibern immer wieder kritisiert wurde.

Beim **Feldversuch I**, innerhalb einer Heißwetterperiode, waren fast in allen normalen Standardtonnen Madenentwicklungen feststellbar (Abb. 66). Die Stärke der Madenbesiedlung nahm mit dem Füllzustand (Abb. 68) und der Standzeit (Abb. 70, Abb. 72) deutlich und signifikant zu. Nach 14 Tagen waren erheblich größere Belastungen zu verzeichnen, als nach 5 Tagen (Abb. 70).

Völlig anders waren die Verhältnisse bei den Tonnen mit dicht schließendem Filterdeckel. Hier war die Madenentwicklung in der Regel nur sehr schwach ausgeprägt, eine Vielzahl der Tonnen war madenfrei (Abb. 67). Auch mit zunehmender Standzeit und zunehmendem Füllgrad war keine Zunahme der Maden zu verzeichnen (Abb. 71, Abb. 73 und Abb. 69).

Im ein Jahr später durchgeführten **Feldversuch III** konnten diese Ergebnisse bestätigt werden. Die Madenentwicklung war zwar insgesamt deutlich geringer als im heißen Sommer 1994, aber auch hier war in den Tonnen mit Filterdeckel praktisch keine Madenentwicklung zu beobachten (Abb. 74). Erst nach 12 Tagen Standzeit oder gefüllter Tonne kam es vereinzelt zu einem geringen Befall (Abb. 78, Abb. 80 und Abb. 82, Abb. 84). Bei den normalen Standardtonnen nahm zwischen dem 6. und 12. Tag Standzeit der Madenbefall deutlich zu (Abb. 77, Abb. 79) und auch nach Leerung der Tonne konnten noch teilweise erhebliche Mengen an Maden an den Tonnenwandungen entdeckt werden.

Auch die Außenversuche (vgl. 2.3.1 und 2.3.2) zeigen deutlich, daß durch das Filtersystem eine Madenentwicklung weitestgehend unterdrückt werden konnte (Abb. 85 bis Abb. 102). Da wegen der parallel durchgeführten Pilzmessungen die Tonnen am Institut für Hygiene regelmäßig längere Zeit offen standen, war hier ein Eindringen von Fliegen nicht ganz zu verhindern.

Das Maximum der Madenentwicklung in herkömmlichen Biotonnen, bei denen teilweise der gesamte Biomüll von Maden bedeckt war, lag zwischen dem 7. und 12. Tag (Abb. 85, Foto 16 und Foto 17) und nahm dann deutlich ab. Bei den Tonnen mit Biofiltern konnten vereinzelt Maden zwischen dem 12. und 14. Tag Standzeit beobachtet werden, der Befall war insgesamt schwach (Abb. 85 bis Abb. 102, Foto 19, Foto 20).

FELDVERSUCH I

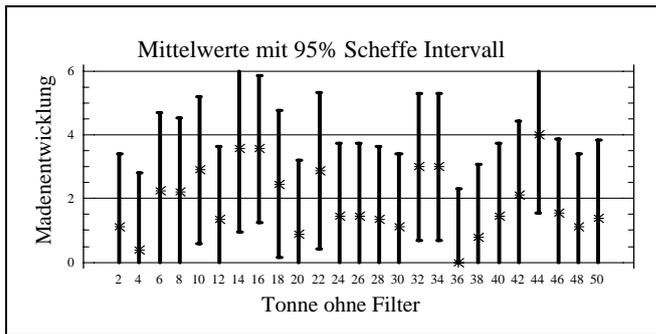


Abb. 66: Madenentwicklung innerhalb der Tonnen, Tonnen *ohne* Filtereinsatz

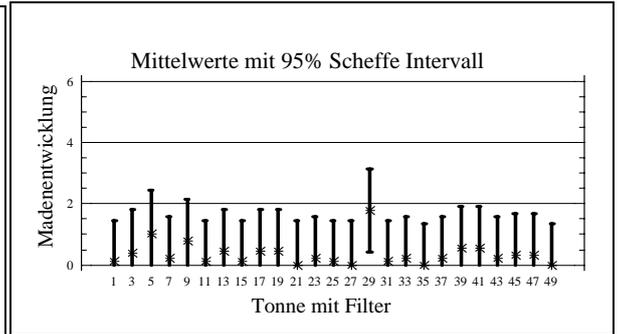


Abb. 67: Madenentwicklung innerhalb der Tonnen, Tonnen *mit* Filtereinsatz

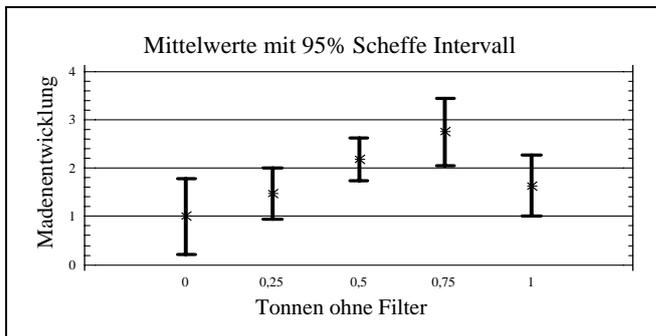


Abb. 68: Madenentwicklung innerhalb der Tonnen, Tonnen *ohne* Filtereinsatz, in Abhängigkeit vom Füllzustand ($p=0,001$)

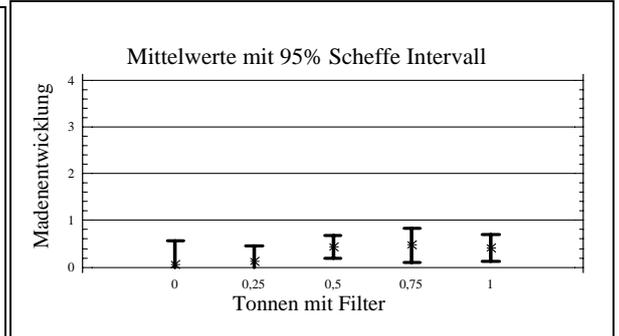


Abb. 69: Madenentwicklung innerhalb der Tonnen, Tonnen *mit* Filtereinsatz, in Abhängigkeit vom Füllzustand ($p=0,26$)

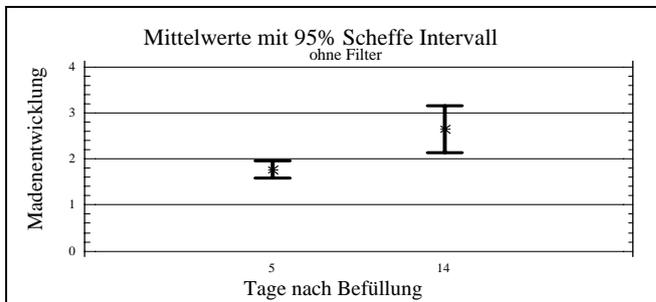


Abb. 70: Madenentwicklung innerhalb der Tonnen, Tonnen *ohne* Filtereinsatz, in Abhängigkeit von der Standzeit ($p<0,05$)

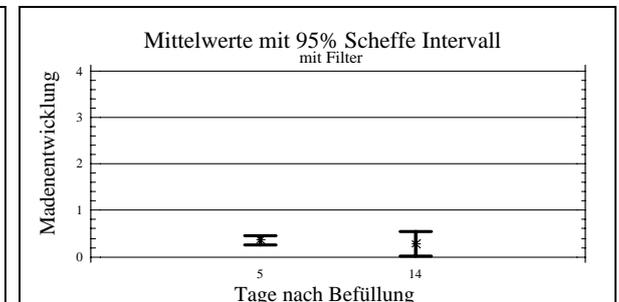


Abb. 71: Madenentwicklung innerhalb der Tonnen, Tonnen *mit* Filtereinsatz, in Abhängigkeit von der Standzeit ($p=0,71$)

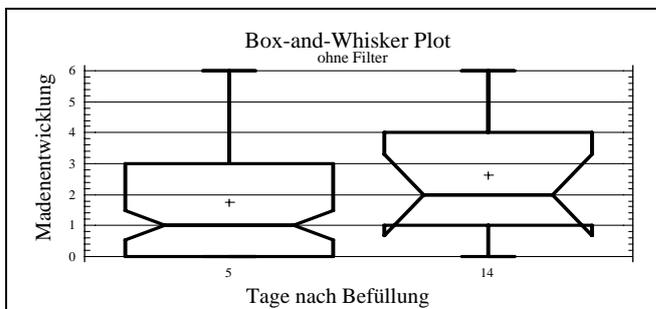


Abb. 72: Madenentwicklung innerhalb der Tonnen, Tonnen *ohne* Filtereinsatz, in Abhängigkeit von der Standzeit

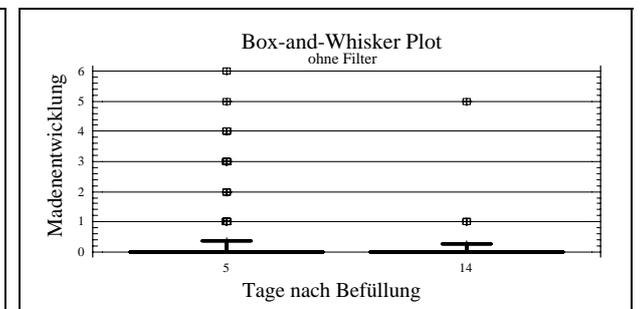


Abb. 73: Madenentwicklung innerhalb der Tonnen, Tonnen *mit* Filtereinsatz, in Abhängigkeit von der Standzeit

Madenentwicklung: 0=keine Maden 1=einzelle Maden 2=gering 3=deutlich 4=deutlich, ekeligerend
5= deutlich, ekeligerend, Deckelrand befallen 6=sehr stark, ekeligerend, flächiger Besatz des Inhaltes

FELDVERSUCH III

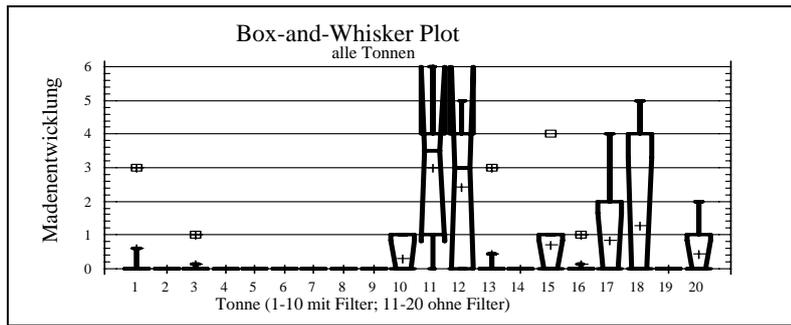


Abb. 74: Madenentwicklung innerhalb von Tonnen mit (1-10) und ohne (11-20) Filter

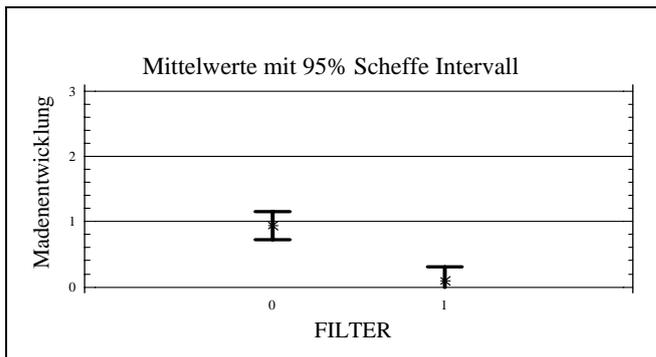


Abb. 75: Madenentwicklung innerhalb von Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter ($p < 0,001$)



Abb. 76: Madenentwicklung innerhalb von Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter

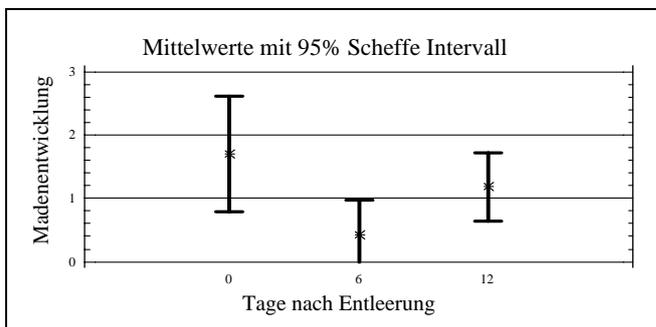


Abb. 77: Madenentwicklung innerhalb von Tonnen ohne Filter in Abhängigkeit von der Standzeit ($p = 0,07$)

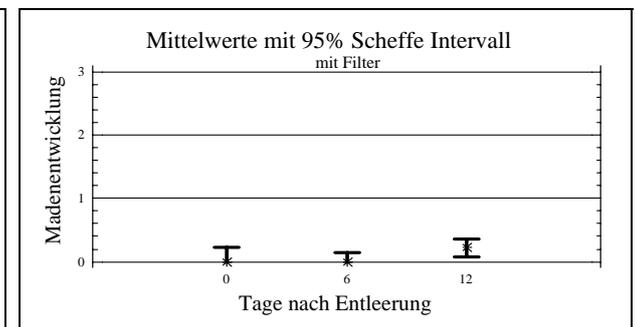


Abb. 78: Madenentwicklung innerhalb von Tonnen mit Filter in Abhängigkeit von der Standzeit ($p = 0,07$)

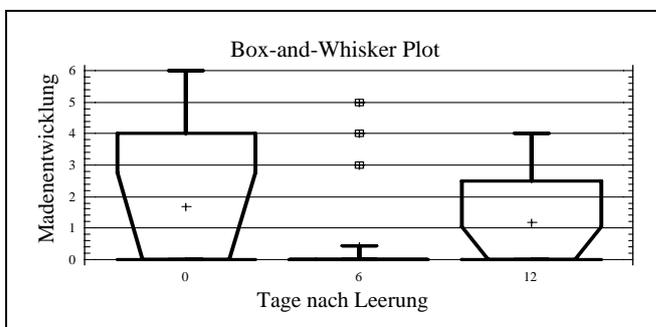


Abb. 79: Madenentwicklung innerhalb von Tonnen ohne Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

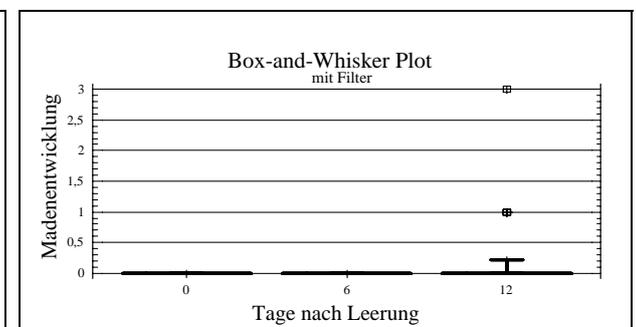


Abb. 80: Madenentwicklung innerhalb von Tonnen mit Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

Madenentwicklung: 0=keine Maden 1=einzelne Maden 2=gering 3=deutlich 4=deutlich, ekelierend
5=deutlich, ekelierend, Deckelrand befallen 6=sehr stark, ekelierend, flächiger Besatz des Inhaltes

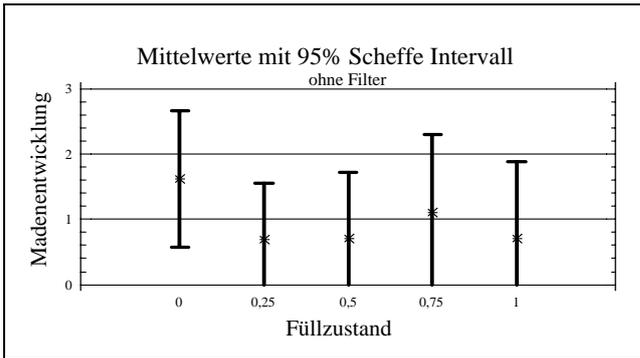


Abb. 81: Madenentwicklung innerhalb von Tonnen *ohne* Filter in Abhängigkeit vom Füllzustand ($p=0,54$)

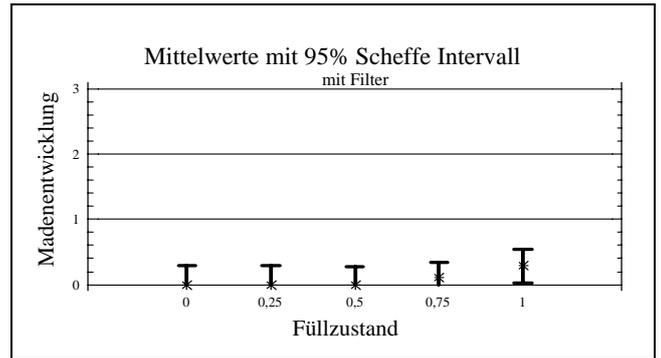


Abb. 82: Madenentwicklung innerhalb von Tonnen *mit* Filter in Abhängigkeit vom Füllzustand ($p=0,34$)

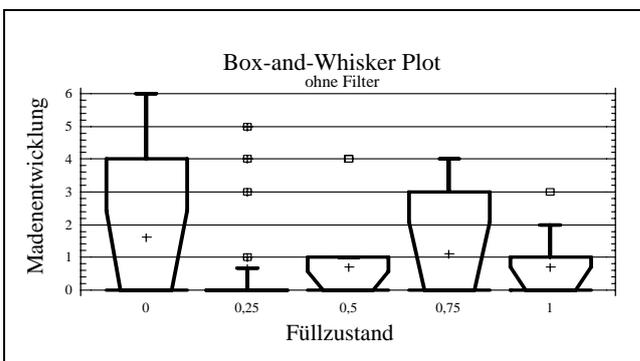


Abb. 83: Madenentwicklung innerhalb von Tonnen *ohne* Filter in Abhängigkeit vom Füllzustand

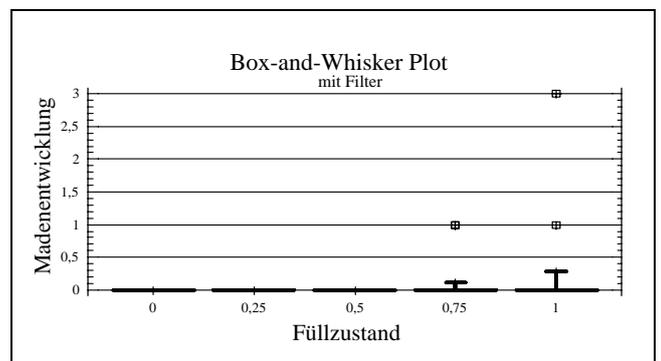


Abb. 84: Madenentwicklung innerhalb von Tonnen *mit* Filter in Abhängigkeit vom Füllzustand

AUSSENVERSUCH INSTITUT FÜR HYGIENE

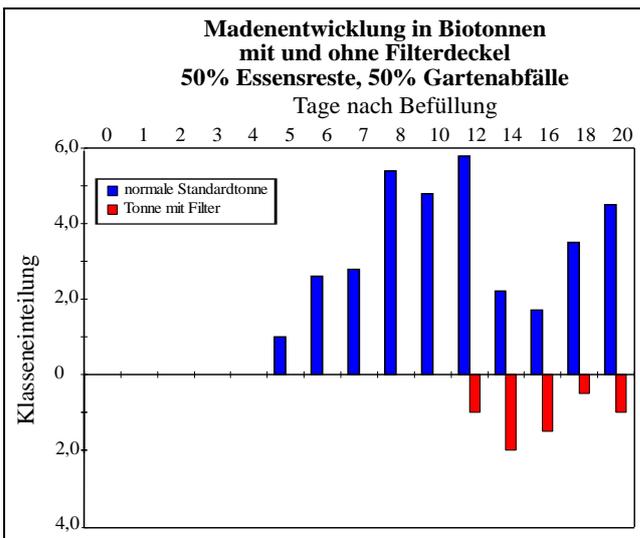


Abb. 85: Madenentwicklung in *normalen Standard-Tonnen* und in *Tonnen mit Filterdeckel* in Abhängigkeit von der Standzeit

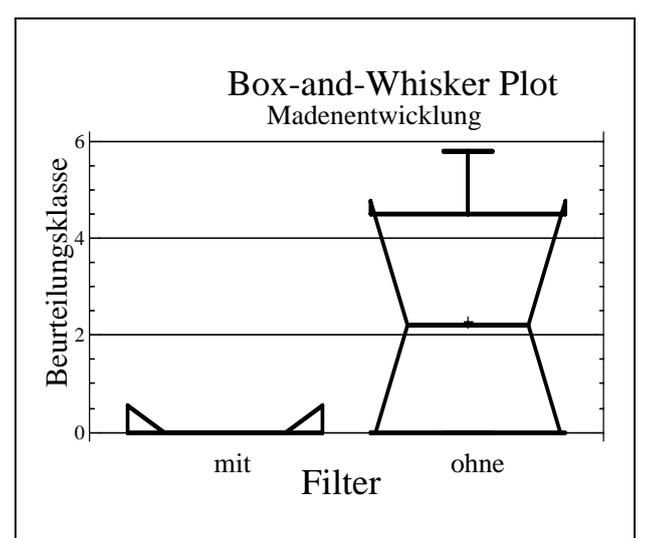


Abb. 86: Madenentwicklung in Tonnen mit und ohne Filter ($p<0,001$)

Madenentwicklung: 0=keine Maden 1=einzelne Maden 2=gering 3=deutlich 4=deutlich, ekelerregend
5= deutlich, ekelerregend, Deckelrand befallen 6=sehr stark, ekelerregend, flächiger Besatz des Inhaltes

AUSSENVERSUCHE BIOLOGIC

Um die extreme Gerüche deutlich darstellen zu können, wurden die Behälter bei diesem Versuch nur mit Essensresten aus der Mensa (incl. Fleisch und Knochen) gefüllt. Die Bonitierung erfolgte an Werktagen täglich. Deutlich wurde ein extremer Madenbefall bei den Kontrolltonnen (vgl. Foto 13 bis Foto 17, Foto 21, Abb. 87, Abb. 89 Abb. 95, Abb. 97). Madenbefall bei den Behältern mit Biofilter trat in Übereinstimmung mit den übrigen Versuchsergebnissen erst ab frühestens 10 Tagen auf und blieb grundsätzlich sehr gering (vgl. Foto 18 bis Foto 20, Foto 21 Abb. 88, Abb. 90, Abb. 96, Abb. 98).

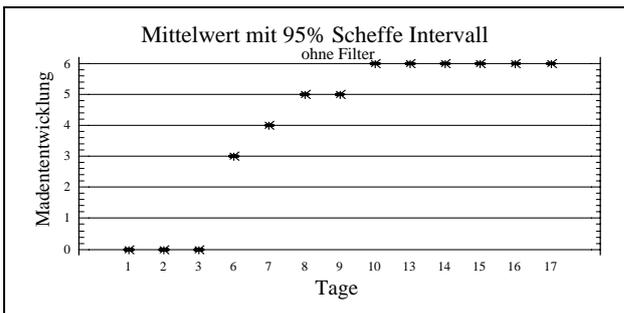


Abb. 87: Madenentwicklung in Tonnen ohne Filter in Abhängigkeit von der Standzeit (p<0,001)

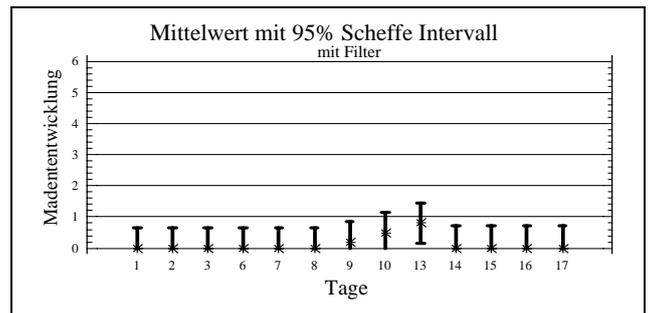


Abb. 88: Madenentwicklung in Tonnen mit Filter in Abhängigkeit von der Standzeit; (p<0,001)



Abb. 89: Madenentwicklung in Tonnen ohne Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

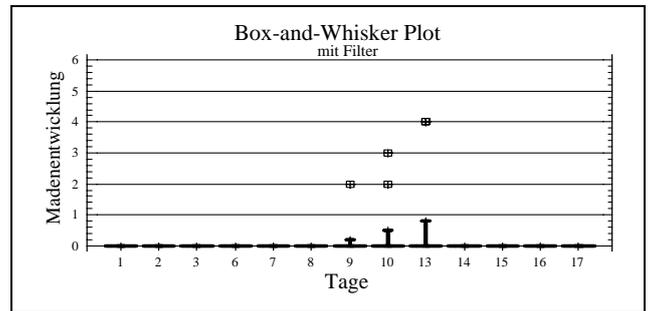


Abb. 90: Madenentwicklung in Tonnen mit Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

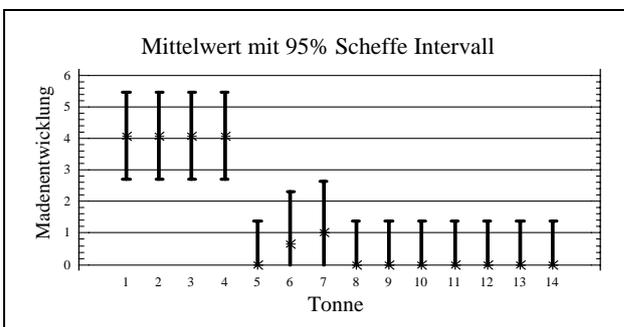


Abb. 91: Madenentwicklung in den Tonnen, Tonnen 1-4 ohne Filtereinsatz

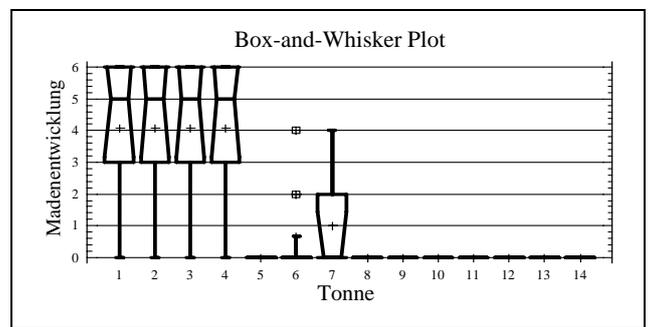


Abb. 92: Madenentwicklung in den Tonnen, Tonnen 1-4 ohne Filtereinsatz

Madenentwicklung: 0=keine Maden 1=einzeln Maden 2=gering 3=deutlich 4=deutlich, ekelregend
5= deutlich, ekelregend, Deckelrand befallen 6=sehr stark, ekelregend, flächiger Besatz des Inhaltes

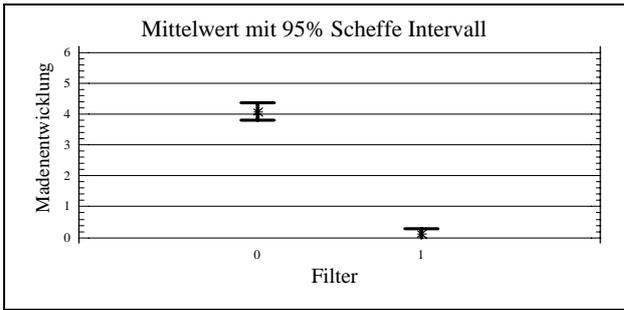


Abb. 93: Madenentwicklung in Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter ($p < 0,001$)

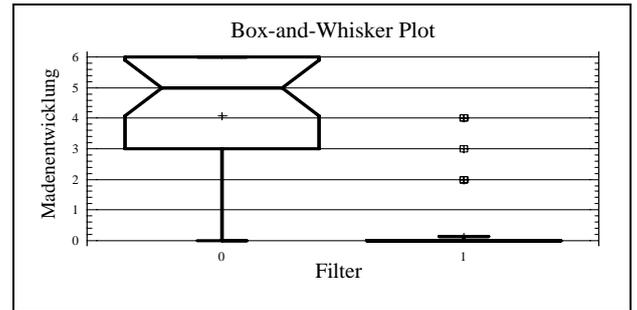


Abb. 94: Madenentwicklung in Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter

VERSUCHSREIHE 2

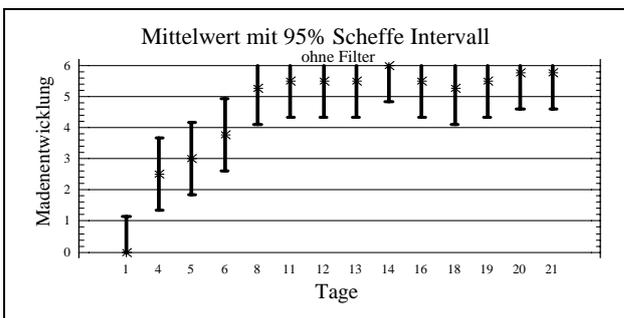


Abb. 95: Madenentwicklung in Tonnen ohne Filter in Abhängigkeit von der Standzeit ($p < 0,001$)

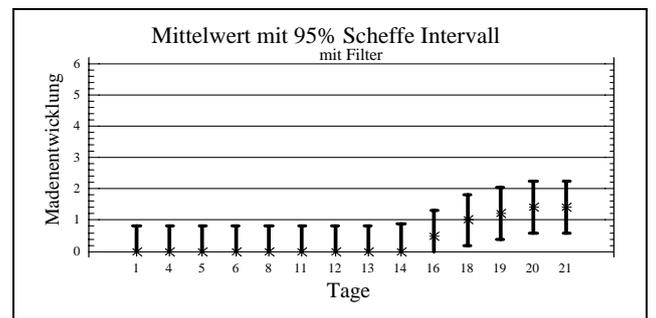


Abb. 96: Madenentwicklung in Tonnen mit Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

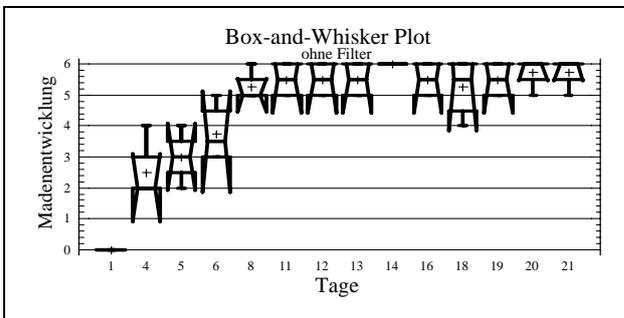


Abb. 97: Madenentwicklung in Tonnen ohne Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

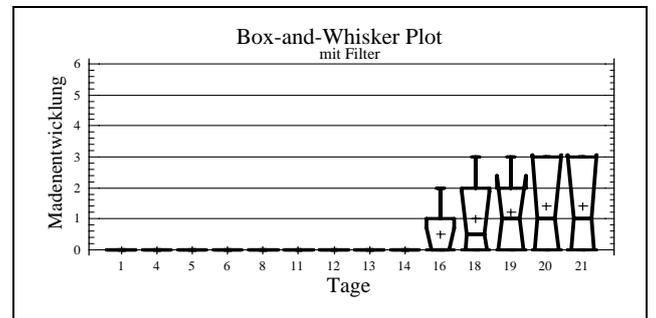


Abb. 98: Madenentwicklung in Tonnen mit Filter in Abhängigkeit von der Standzeit

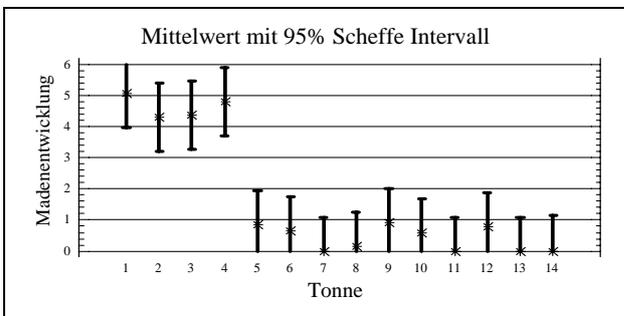


Abb. 99: Madenentwicklung in den Tonnen, Tonnen 1-4 ohne, Tonnen 5-14 mit Biofilter

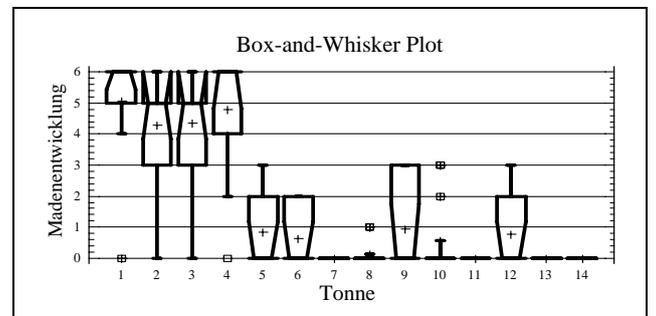


Abb. 100: Madenentwicklung in den Tonnen, Tonnen 1-4 ohne, Tonnen 5-14 mit Biofilter

Madenentwicklung: 0=keine Maden 1=einzelne Maden 2=gering 3=deutlich 4=deutlich, ekelerregend
5=deutlich, ekelerregend, Deckelrand befallen 6=sehr stark, ekelerregend, flächiger Besatz des Inhaltes

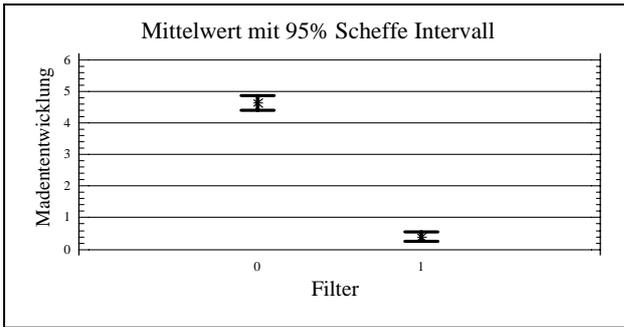


Abb. 101: Madenentwicklung in Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter ($p < 0,001$)

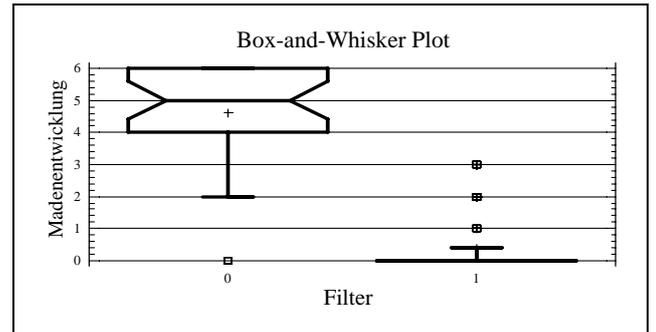


Abb. 102: Madenentwicklung in Tonnen ohne (0) und mit (1) Filter



Foto 13: Außenversuch Biologic, herkömmliche Biotonne, 2 Tage nach der Befüllung

Madenentwicklung: 0=keine Maden 1=einzelne Maden 2=gering 3=deutlich 4=deutlich, ekelerregend
 5= deutlich, ekelerregend, Deckelrand befallen 6=sehr stark, ekelerregend, flächiger Besatz des Inhaltes



Foto 14: Außenversuch Biologic, herkömmliche Biotonne, 7 Tage nach der Befüllung



Foto 15: Außenversuch Biologic, herkömmliche Biotonne, 10 Tage nach der Befüllung

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang



Foto 16: Außenversuch Biologic, herkömmliche Biotonne, 14 Tage nach der Befüllung



Foto 17: Außenversuch Biologic, herkömmliche Biotonne, 19 Tage nach der Befüllung

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang



Foto 18: Außenversuch Biologic, Biotonne mit Biofilter, 7 Tage nach der Befüllung



Foto 19: Außenversuch Biologic, Biotonne mit Biofilter, 10 Tage nach der Befüllung

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang



Foto 20: Außenversuch Biologic, Biotonne mit Biofilter, 19 Tage nach der Befüllung



Foto 21: Außenversuch Biologic, identisch befüllte Biotonnen 12 Tage nach Erstbefüllung. Links mit Biofilter (Vorserienmodell), rechts herkömmliche Biotonne mit seitlichen Belüftungsöffnungen am Deckel.

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang

3.3 Pilzemissionen

3.3.1 Feldversuch I

Beim 1. Feldversuch in Havixbeck wurde die Pilzsporenfreisetzung noch mittels Fangplatten bei geöffneter, aber ungestörter Biotonne untersucht. Unter diesen Testbedingungen waren nur geringe Pilzsporenkonzentrationen meßbar mit einem Maximum bei 200 KBE/Platte und Mittelwerten um 7 KBE/Platte (Tab. 10). Die Unterschiede zwischen den Tonnen waren gering (Abb. 103 und Abb. 104). Verlängerte Standzeiten und der Füllzustand zeigten keine messbaren Auswirkung auf die Freisetzung von Sporen (Abb. 105, Abb. 106 und Abb. 108).

Mit dieser Methodik ließen sich keine signifikanten Unterschied im Luftsporengehalt zwischen Tonnen mit und ohne Biofilter messen (Abb. 107, Tab. 10).

Pilze	N-Probenahmen	Mittelwert	Median	Varianz	Maximum	unteres Quartil	oberes Quartil
gesamt	442	6,7	1	390,8	200	1	4
mit Filter	222	6,99887	1,0	388,512	150,0	1,0	4,0
ohne Filter	220	6,47727	1,0	394,78	200,0	1,0	4,0

Tab. 10: Pilzsporenemission in Inneren von Biotonnen, Feldversuch I; Fangplattenmethode

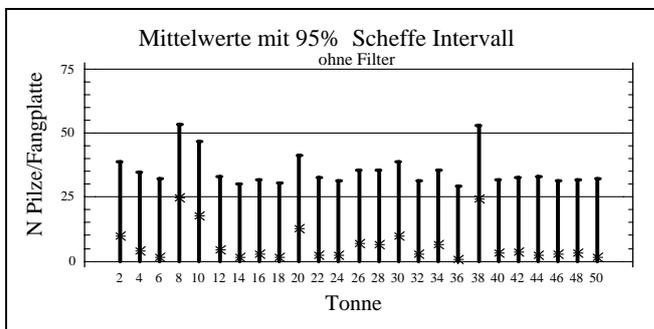


Abb. 103: Pilzsporenkonzentration in den Tonnen, Tonnen *ohne* Filtereinsatz, Fangplattenmethode

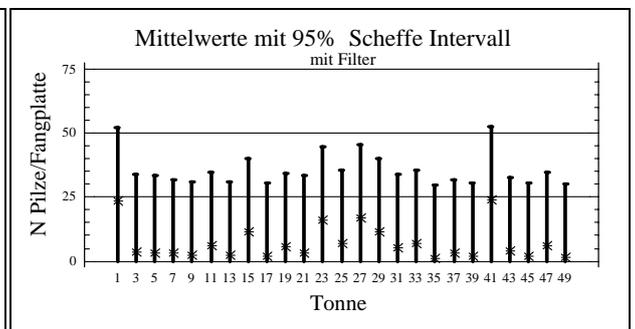


Abb. 104: Pilzsporenkonzentration in den Tonnen, Tonnen *mit* Filtereinsatz, Fangplattenmethode

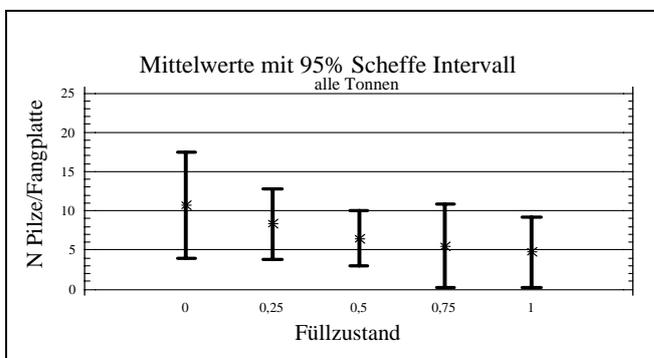


Abb. 105: Pilzsporengehalt in den Tonnen, *alle* Tonnen, in Abhängigkeit vom Füllzustand, Fangplattenmethode ($p=0,48$)

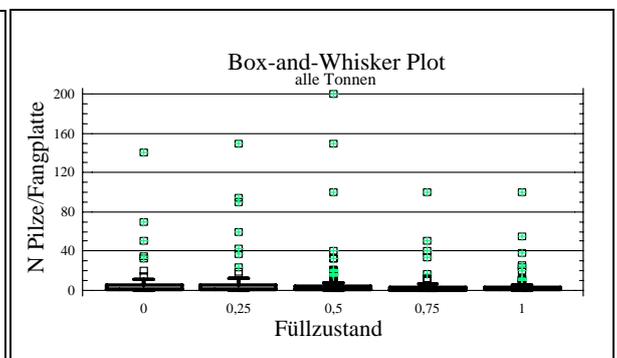


Abb. 106: Pilzsporengehalt in den Tonnen *alle* Tonnen, in Abhängigkeit vom Füllzustand, Fangplattenmethode

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
 bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang

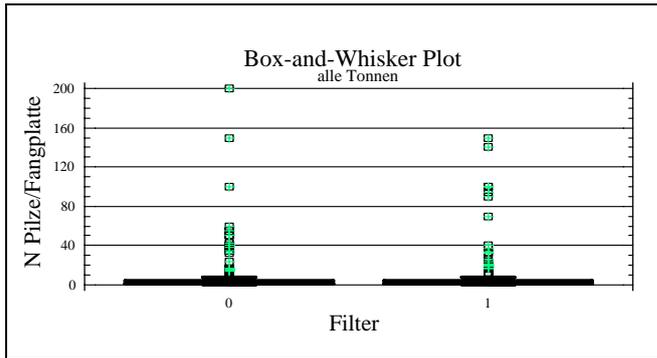


Abb. 107: Pilzsporengehalt in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter, Fangplattenmethode (p=0,78)

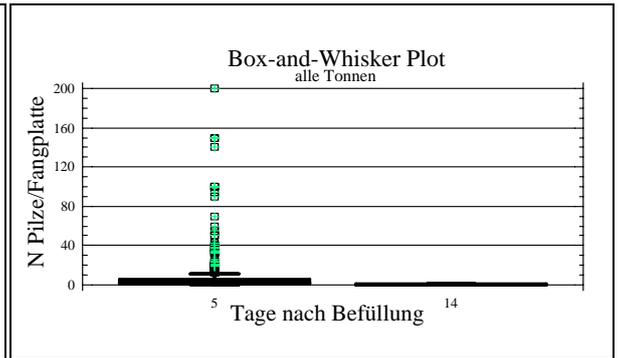


Abb. 108: Pilzsporengehalt in den Tonnen in Abhängigkeit von der Standzeit, *alle* Tonnen, Fangplattenmethode (p<0,05)

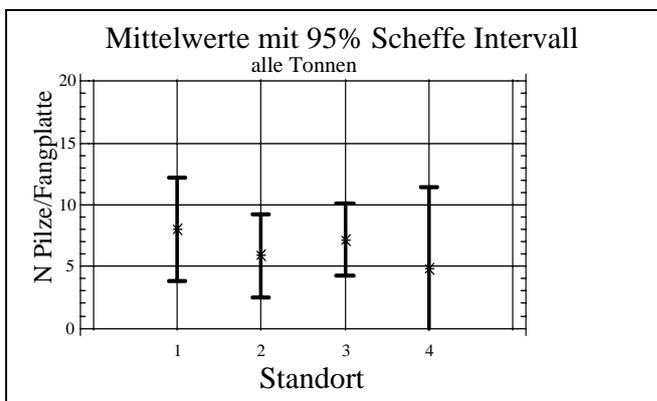


Abb. 109: Pilzsporenkonzentration in Biotonnen in Abhängigkeit vom Standort (1=sonnig, 2=halbschattig, 3=schattig, 4=Garage) Fangplattenmethode (p=0,79)

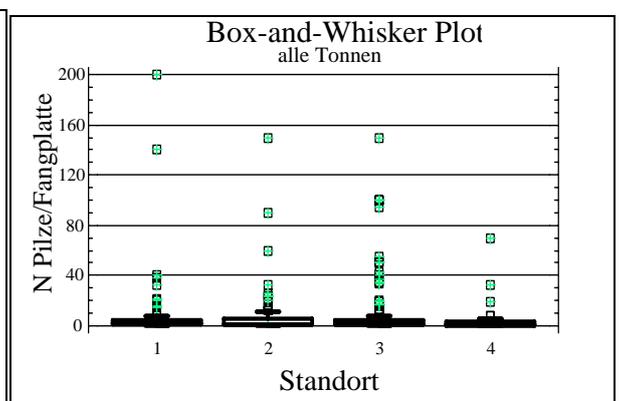


Abb. 110: Pilzsporenkonzentration in Biotonnen in Abhängigkeit vom Standort (1=sonnig, 2=halbschattig, 3=schattig, 4=Garage) Fangplattenmethode (p=0,79)

3.3.2 Feldversuch II

Bei dieser Versuchsreihe wurden die Sporenemissionen mittels Schlitzsammler jeweils bei geschlossener und geöffneter Tonne und Abwurf eines 2 l Testkörpers in 1 m Entfernung von der Tonne gemessen. Eine Abwurfssimulation wurde nicht durchgeführt.

KBE/m ³	N-Probenahmen	Mittelwert	Median	Varianz	Maximum	unteres Quartil	oberes Quartil
GESCHLOSSENER DECKEL, UMGEBUNGSLUFT							
gesamt	40	139,0	120,0	5156,84	360,0	95,0	175,0
mit Filter	20	167,0	125,0	7045,56	360,0	100,0	210,0
ohne Filter	20	111,0	105,0	2098,89	200,0	80,0	140,0
GEÖFFNETER DECKEL							
gesamt	40	310,5	165,0	135300,0	1700,0	105,0	385,0
mit Filter	20	174,0	140,0	13848,9	450,0	100,0	170,0
ohne Filter	20	447,0	315,0	230379,0	1700,0	160,0	550,0

Tab. 11: Pilzsporengehalte in der Luft über Biotonnen bei geschlossenem Deckel, Feldversuch II; Impaktormethode

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
 bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang

In der Umgebungsluft (Deckel geschlossen) waren maximal 360 KBE/m³ bei einem Mittelwert von 139 KBE/m³ meßbar (Tab. 11). Signifikante Unterschiede zwischen den Standorten von Tonnen mit und ohne Filter bestanden nicht (Abb. 111, Abb. 112).

Nach Öffnen der Tonne und einer leichten Störung durch Abwurf eines kleinen Testkörpers erhöhten sich in der Umgebung der Tonnen die Sporenzahlen signifikant (Tab. 11, Abb. 115, Abb. 116) und erreichten im Maximum 1700 KBE/m³ gemittelt über eine 2-minütige Meßperiode (Tab. 11). Bei Tonnen mit Filterdeckel war eine deutlich geringere, allerdings statistisch nicht gesicherte, Sporenemission zu verzeichnen (Abb. 113, Abb. 114).

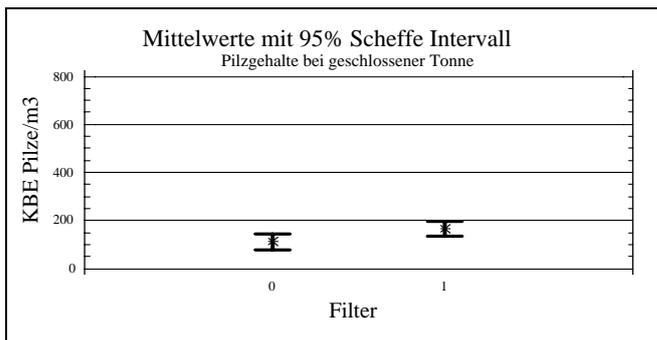


Abb. 111: Pilzsporenkonzentration in der Umgebung *geschlossener* Biotonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter (p=0,08); Impaktormessung

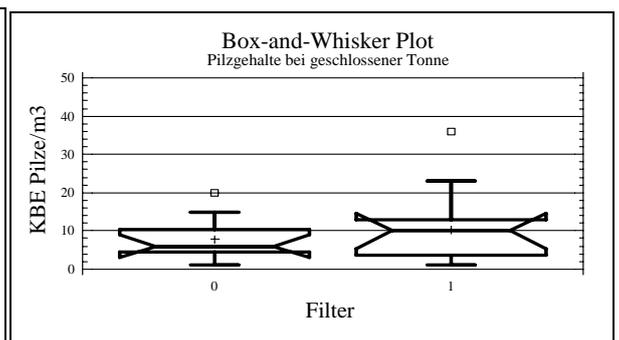


Abb. 112: Pilzsporenkonzentration in der Umgebung *geschlossener* Biotonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Impaktormessung

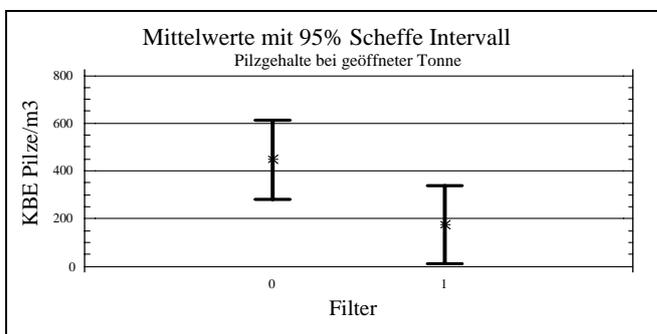


Abb. 113: Pilzsporenkonzentration in der Umgebung *geöffneter* Biotonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter (p=0,09); Impaktormessung

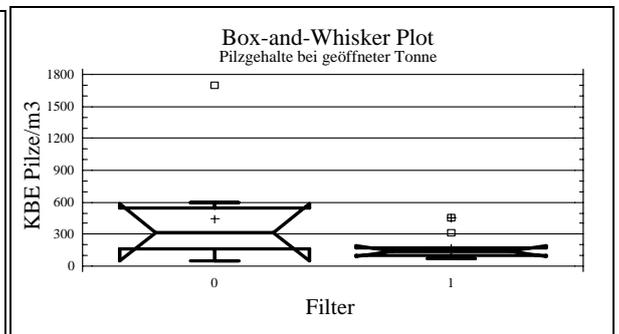


Abb. 114: Pilzsporenkonzentration in der Umgebung *geöffneter* Biotonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Impaktormessung

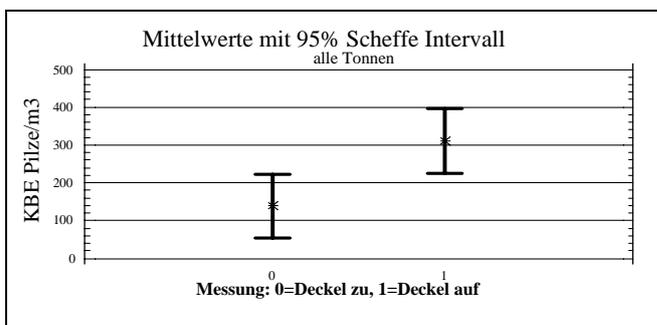


Abb. 115: Pilzsporenemission aus Biotonnen, in Abhängigkeit vom Deckelöffnen (p<0,05); Impaktormessung

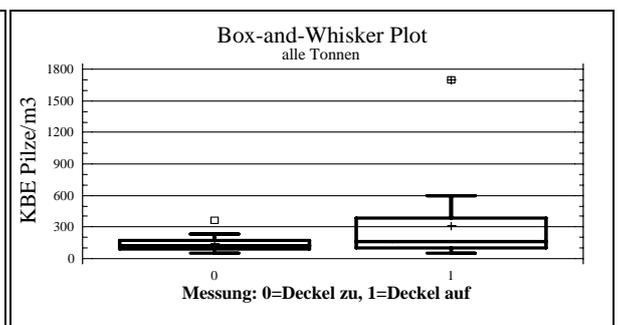


Abb. 116: Pilzsporenemission aus Biotonnen in Abhängigkeit vom Deckelöffnen; Impaktormessung

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
 bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang

3.3.3 Feldversuch III

Die Ergebnisse und Erfahrungen der vorangegangenen Feldexperimente hatten gezeigt, daß eine wirklichkeitsgetreue Abbildung der Sporenexposition des Menschen bei der Berschickung allein durch Messung von Luftqualitäten in der direkten Umgebung oder innerhalb der Tonne nicht möglich ist. Deswegen wurde ein Expositionsmodell entwickelt, mit dessen Hilfe eine zeitproportionale Messung und eine möglichst wirklichkeitsgetreue Simulation des Befüllungsvorganges erreicht werden sollte. Erst eine differenzierte Auswertung der Sporenemissionen erlaubte eine Abschätzung der tatsächlichen Belastung.

Die Sporenkonzentrationen in der Umgebungsluft entsprachen in etwa denen beim Feldversuch II, maximal wurden an einer Meßstelle 1920 KBE/m³ gemessen (Tab. 12).

Beim Abwurf kam es zu einer explosionsartigen kurzfristigen Freisetzung von Sporen, die im Maximum 800.000 KBE/m³ erreichte (Tab. 12). Eine zweite Emissionsspitze wurde durch das Schließen des Deckels hervorgerufen (Abb. 117 bis Abb. 122).

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Tonne waren sehr groß (Abb. 123 bis Abb. 126) und stark beeinflusst durch Witterungsverhältnisse (Wind, Luftfeuchte) und Inhalt der Tonnen.

Um eine statistisch abgesicherte Aussage zur Beeinflussung durch den Filterdeckel machen zu können, war in diesem Feldversuch die Anzahl der untersuchten Behälter bei Betrachtung der Gesamtemission zu niedrig (Abb. 127 bis Abb. 140). Nur im Zeitintervall von 45-60 sec (Deckelschließen, Abb. 131, Abb. 132) lagen die Sporenemissionen aus Tonnen mit Filterdeckel auch bei der kleinen Stichprobenzahl signifikant niedriger als bei normalen Standardtonnen.

Bei allen Tonnen nehmen die Konzentrationen zum Ende des Meßvorganges auf leicht über der Umgebungsluft erhöhte Werte ab.

Tonnen	N-Probenahmen	Mittelwert	Median	Varianz	Maximum	unteres Quartil	oberes Quartil
UMGEBUNGSLUFT 0-15 SEC							
gesamt	125	0,30848	0,16	0,136228	1,92	0,08	0,48
BEFÜLLUNG 30-75 SEC							
gesamt	125	8,32923	0,853	1056,49	267,093	0,213	3,013
mit Filter	62	7,95418	0,48	1332,11	267,093	0,133	1,653
ohne Filter	63	8,69833	1,333	802,073	218,773	0,453	6,88
ABWURF 30-45 SEC							
gesamt	125	20,3968	0,88	9037,22	800,4	0,32	4,48
mit Filter	62	21,7639	0,68	11564,2	800,4	0,24	2,08
ohne Filter	63	19,0514	1,12	6693,04	640,0	0,32	6,08

Tab. 12: Pilzsporenemission von Biotonnen beim Befüllungsvorgang, Feldversuch III; Expositionsmodell, 30°C Kulturtemperatur in KBE_x1000 /m³

Mit verlängerter Standzeit von 6 auf 12 Tage nahm die Sporenemission deutlich zu (Abb. 145, Abb. 146 und Abb. 143, Abb. 144). Wegen der starken Schwankungen waren die Abweichungen aber nicht signifikant. Der Füllzustand hatte keine signifikante Auswirkung auf die Höhe der Sporenemission. Auch bei leerer Tonne waren deutliche Emissionen beim Befüllen meßbar (Abb. 145, Abb. 146, und Abb. 147, Abb. 148).

Die Ergebnisse bei 44°C Kulturtemperatur, bei denen vorwiegend *Aspergillus fumigatus* und einige andere thermotolerante Arten wachsen, entsprachen in der Tendenz denen bei 30°C Kulturtemperatur (Abb. 149 bis Abb. 162). Die Sporenzahlen waren jedoch deutlich niedriger (Tab. 13, Abb. 149 bis Abb. 152).

Tonnen	N-Probenahmen	Mittelwert	Median	Varianz	Maximum	unteres Quartil	oberes Quartil
UMGEBUNGSLUFT 0-15 SEC							
gesamt	125	0,032	0,0	0,021	1,36	0,0	0,0
BEFÜLLUNG 30-75 SEC							
gesamt	125	0,129	0,0	0,088	1,573	0,0	0,08
ABWURF 30-45 SEC							
gesamt	125	0,275	0,0	0,576	4,20	0,0	0,08

Tab. 13: Pilzsporenemission von Biotonnen beim Befüllungsvorgang, Feldversuch III; Expositionsmodell, 44°C Kulturtemperatur in KBEx1000 /m³

Die gemessenen Sporenkonzentrationen waren bei Tonnen mit Filter geringfügig niedriger als bei Standardtonnen bezogen sowohl auf den gesamten Füllprozeß (Abb. 159, Abb. 160) als auch auf den eigentlichen Abwurf (Abb. 161, Abb. 162).

Der relative Anteil von *A. fumigatus* war bei diesem Feldversuch unter allen Bedingungen weitgehend identisch (Abb. 163 bis Abb. 165). Weder die Standzeit noch der Füllzustand veränderten den relativen Anteil dieses Pilzes an der Pilzflora. Mit zunehmenden Tagestemperaturen nahm die Sporenemission durch *A. fumigatus* jedoch zu. Aus Tonnen mit Filtern wurden insgesamt geringere *A. fumigatus*-Emissionen als aus Standardtonnen gemessen.

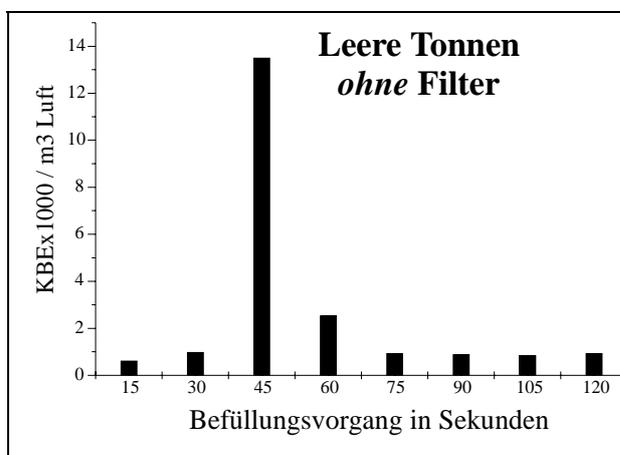


Abb. 117: Pilzsporenemissionen aus Biotonnen ohne Filter beim Befüllungsvorgang; Expositionsmodell

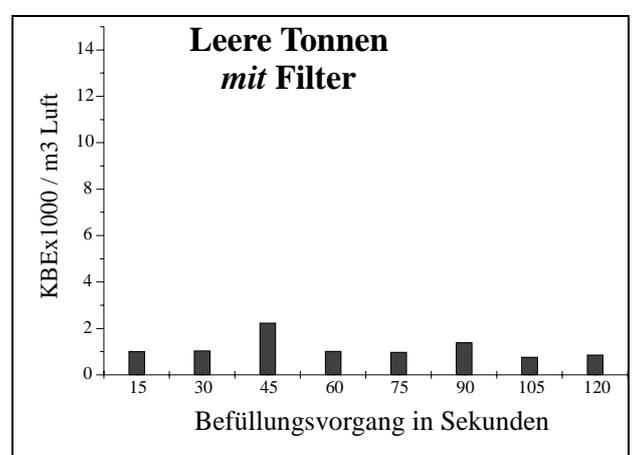


Abb. 118: Pilzsporenemissionen aus Biotonnen mit Filter beim Befüllungsvorgang; Expositionsmodell

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
 bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang

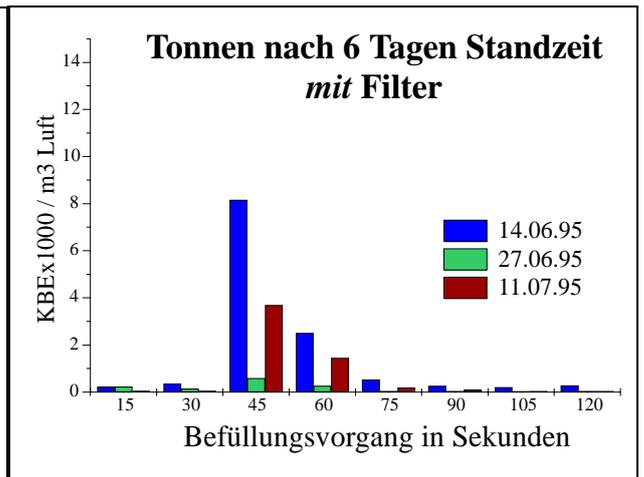
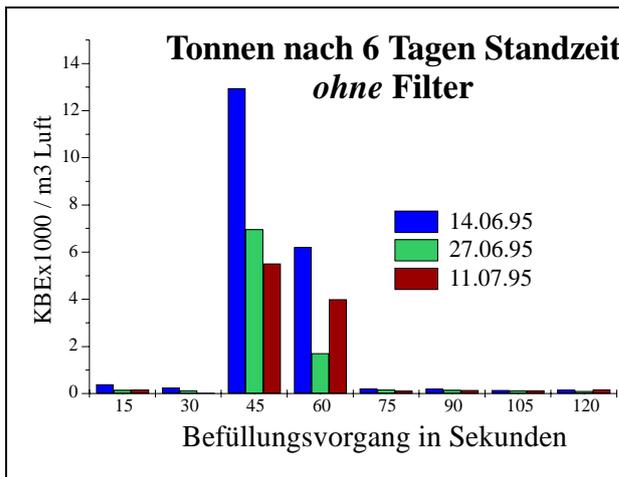


Abb. 119: Pilzsporenemission aus Biotonnen ohne Filter beim Befüllungsvorgang; Expositionsmodell

Abb. 120: Pilzsporenemission aus Biotonnen mit Filter beim Befüllungsvorgang; Expositionsmodell

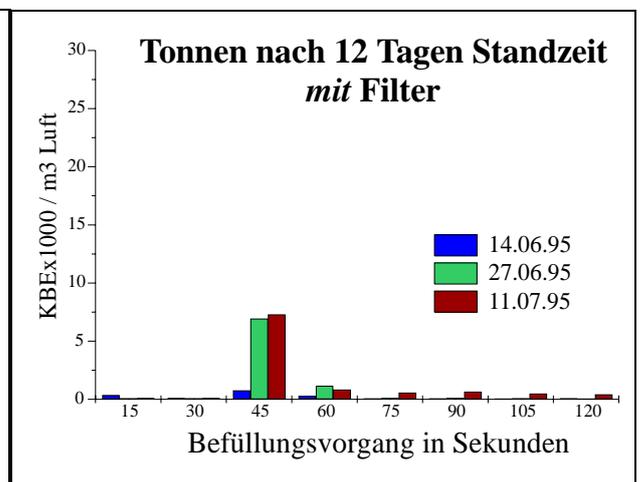
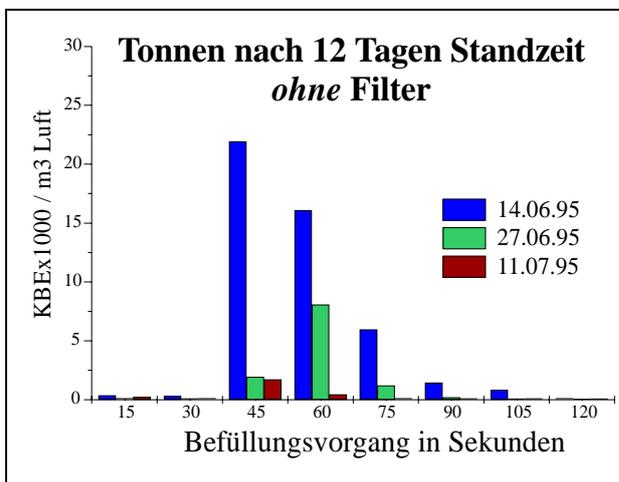


Abb. 121: Pilzsporenemission aus Biotonnen ohne Filter beim Befüllungsvorgang; Expositionsmodell

Abb. 122: Pilzsporenemission aus Biotonnen mit Filter beim Befüllungsvorgang; Expositionsmodell

30°C KULTURTEMPERATUR

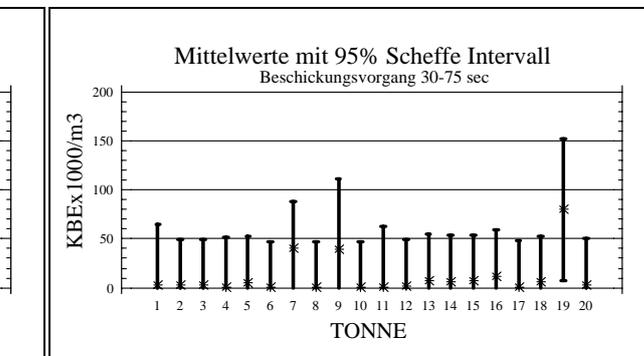
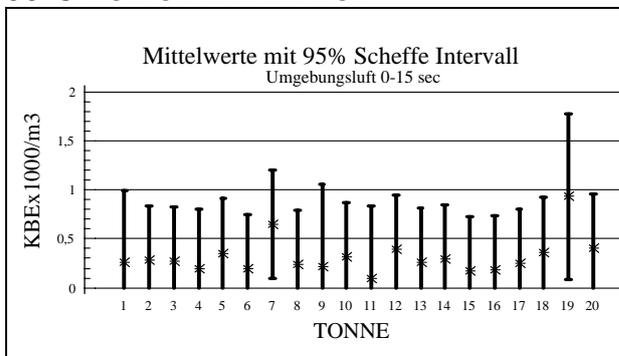


Abb. 123: Pilzsporengehalt in der Umgebungsluft von Biotonnen, Tonnen geschlossen, alle Tonnen, Expositionsmodell, Zeitabschnitt 0-15 sec

Abb. 124: Pilzsporenemission beim Befüllen von Biotonnen, alle Tonnen, Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-75 sec

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne bei 45 sec: Schließen des Deckels 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang

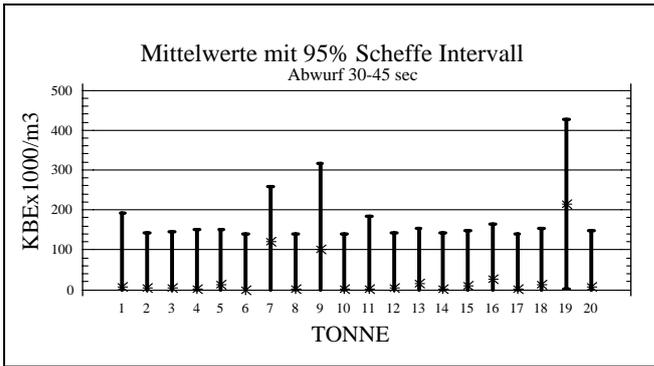


Abb. 125: Pilzsporemission beim Abwurf von Biomüll in Biotonnen, *alle* Tonnen; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-45 sec

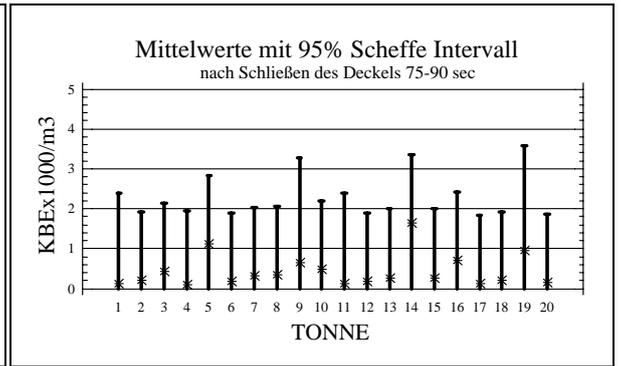


Abb. 126: Pilzsporemission nach Schließen des Deckels, *alle* Tonnen; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 75-90 sec

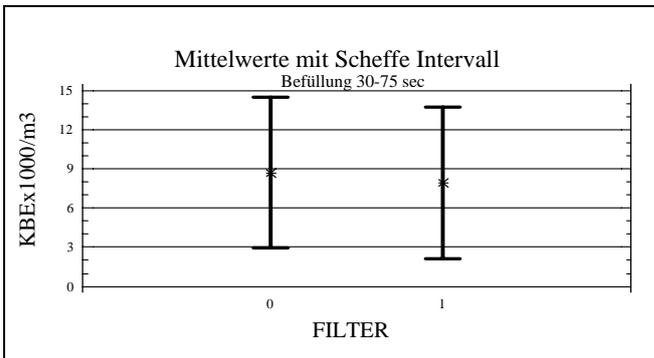


Abb. 127: Pilzsporemission bei Befüllung von Biotonnen in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter, Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-75 sec ($p=0,9$)

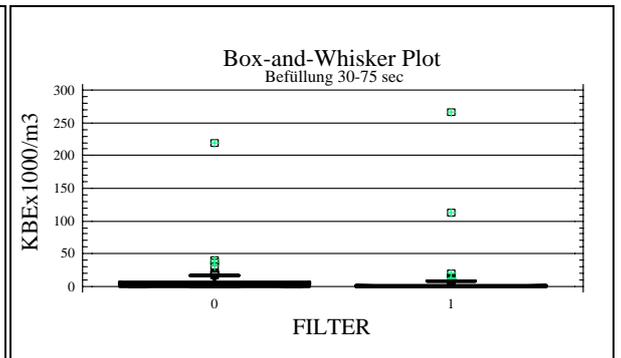


Abb. 128: Pilzsporemission bei Befüllung von Biotonnen in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-75 sec

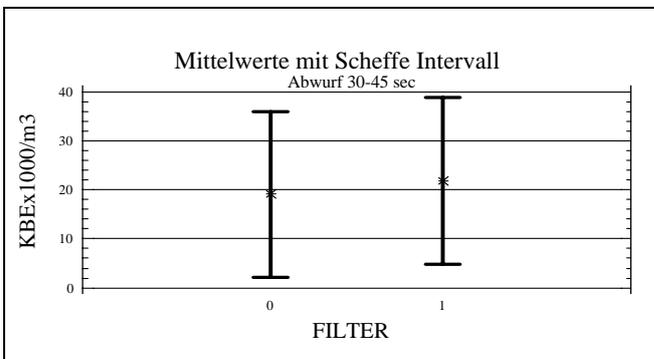


Abb. 129: Pilzsporemission beim Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-45 sec ($p=0,87$)

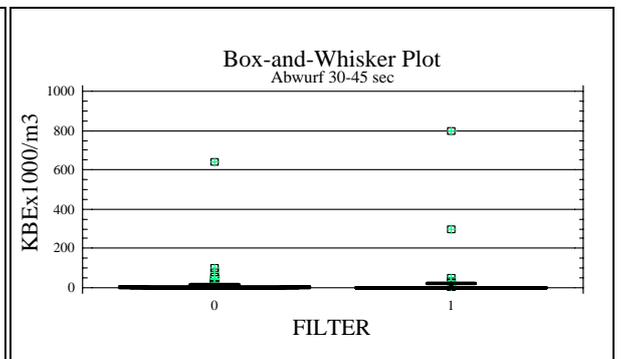


Abb. 130: Pilzsporemission beim Abwurf von Biomüll in *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-45 sec

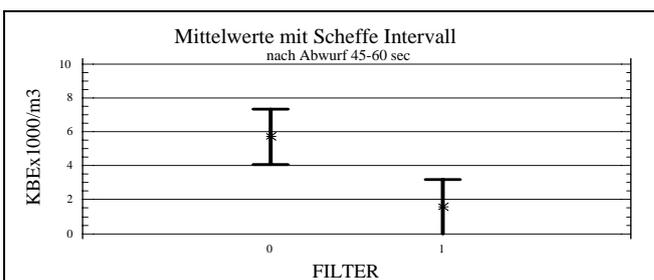


Abb. 131: Pilzsporemission nach dem Abwurf Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne bei 45 sec: Schließen des Deckels

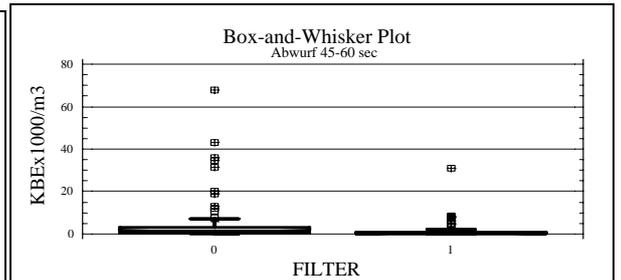


Abb. 132: Pilzsporemission nach dem Abwurf Expositionsmodell: 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang

von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter, Expositionsmodell, Zeitabschnitt 45-60 sec ($p=0,01$)

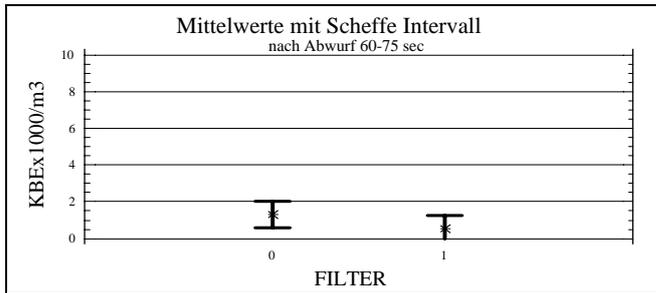


Abb. 133: Pilzsporenemission nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter, Expositionsmodell, Zeitabschnitt 60-75 sec ($p=0,29$)

von Biomüll in *ohne* (0) und *mit* (1) Filter, Expositionsmodell, Zeitabschnitt 45-60 sec

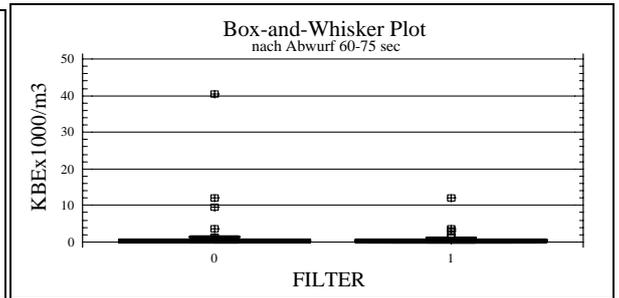


Abb. 134: Pilzsporenemission nach dem Abwurf von Biomüll in *ohne* (0) und *mit* (1) Filter, Expositionsmodell, Zeitabschnitt 60-75 sec

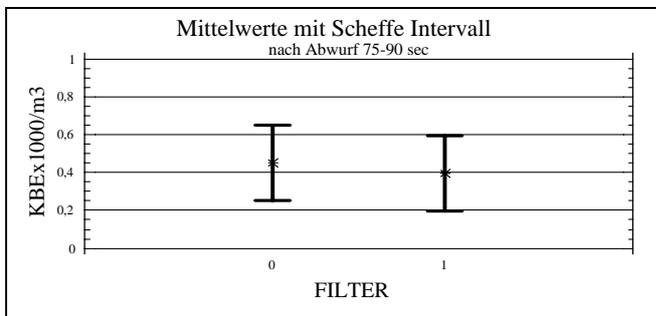


Abb. 135: Pilzsporenemission nach dem Abwurf von Biomüll in *ohne* (0) und *mit* (1) Filter, Expositionsmodell, Zeitabschnitt 75-90 sec ($p=0,79$)

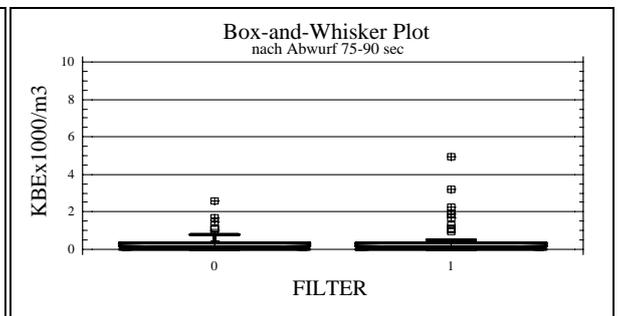


Abb. 136: Pilzsporenemission nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter, Expositionsmodell, Zeitabschnitt 75-90 sec

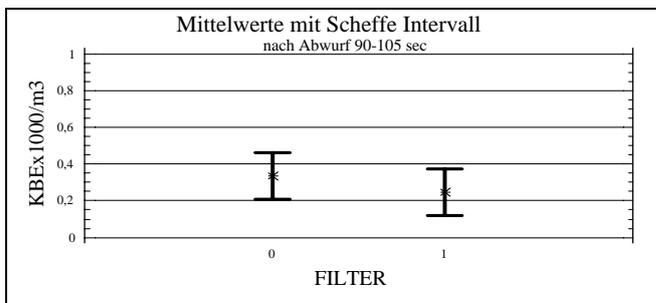


Abb. 137: Pilzsporenemission nach dem Abwurf von Biomüll in *ohne* (0) und *mit* (1) Filter, Expositionsmodell, Zeitabschnitt 90-105 sec ($p=0,79$)

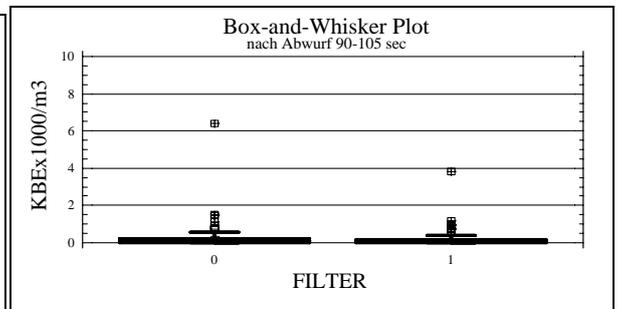


Abb. 138: Pilzsporenemission nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter, Expositionsmodell, Zeitabschnitt 90-105 sec

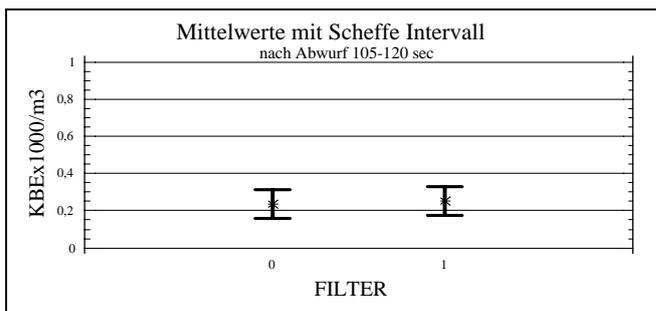


Abb. 139: Pilzsporenemission nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1)



Abb. 140: Pilzsporenemission nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter,

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
 bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang

Filter, Expositionsmodell, Zeitabschnitt 105-120 sec (p=0,83)

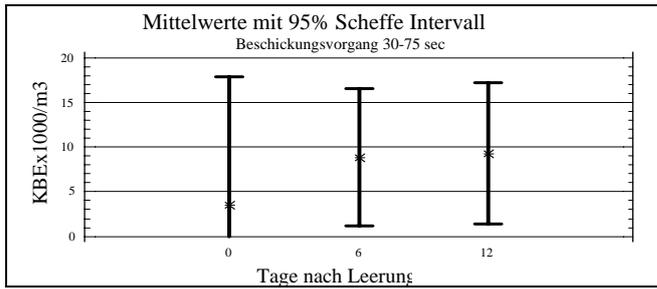


Abb. 141: Pilzsporenemission beim Beschicken von Tonnen, alle Tonnen, in Abhängigkeit von der Standzeit; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-75 sec (p=0,82)

Expositionsmodell, Zeitabschnitt 105-120 sec

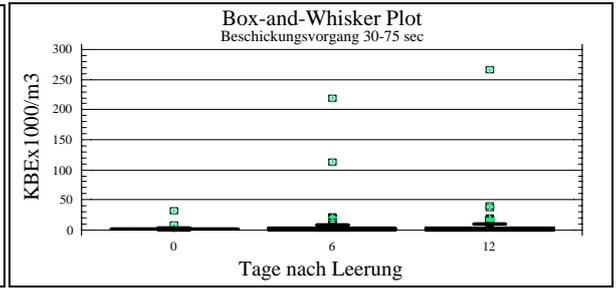


Abb. 142: Pilzsporenemission beim Beschicken von Tonnen, alle Tonnen, in Abhängigkeit von der Standzeit; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-75 sec

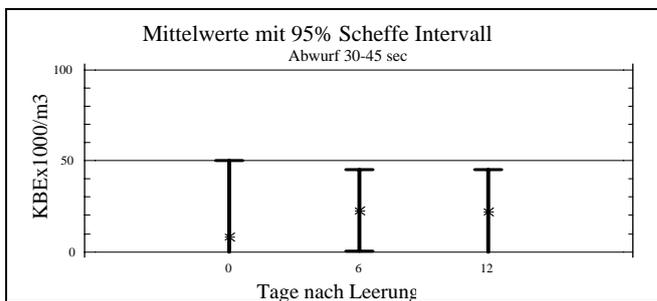


Abb. 143: Pilzsporenemission beim Abwurf von Biomüll, alle Tonnen, in Abhängigkeit von der Standzeit; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-45 sec (p=0,85)

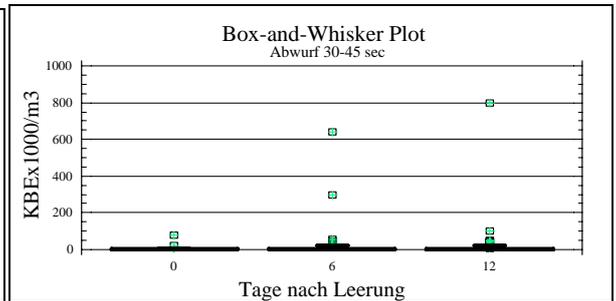


Abb. 144: Pilzsporenemission beim Abwurf von Biomüll, alle Tonnen, in Abhängigkeit von der Standzeit; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-45 sec

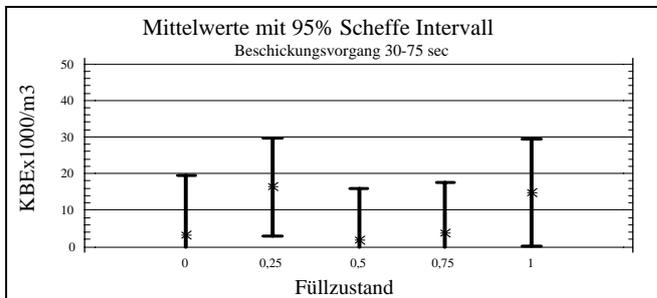


Abb. 145: Pilzsporenemission beim Beschicken von Tonnen, alle Tonnen, in Abhängigkeit vom Füllzustand; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-75 sec (p=0,31)

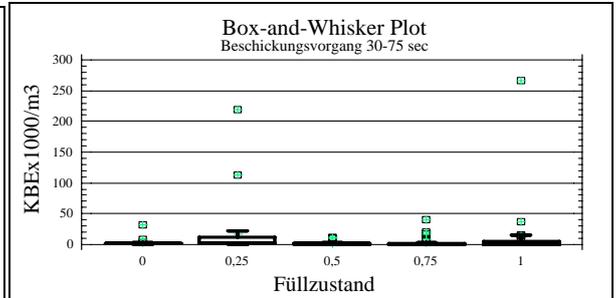


Abb. 146: Pilzsporenemission beim Beschicken von Tonnen, alle Tonnen, in Abhängigkeit vom Füllzustand; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-75 sec

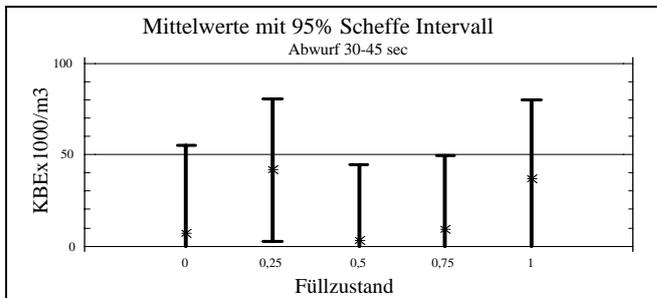


Abb. 147: Pilzsporenemission beim Abwurf von Biomüll, alle Tonnen, in Abhängigkeit vom Füllzustand; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-45 sec (p=0,45)

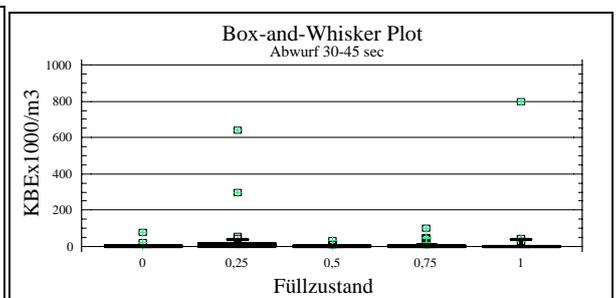


Abb. 148: Pilzsporenemission beim Abwurf von Biomüll, alle Tonnen, in Abhängigkeit vom Füllzustand; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-45 sec

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
 bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang

44°C VERSUCHE

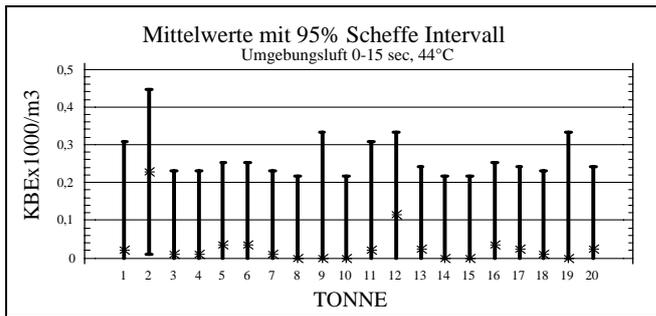


Abb. 149: Pilzsporemission (44°C) in der Umgebungsluft von Biotonnen, Tonnen geschlossen, *alle* Tonnen; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 0-15 sec

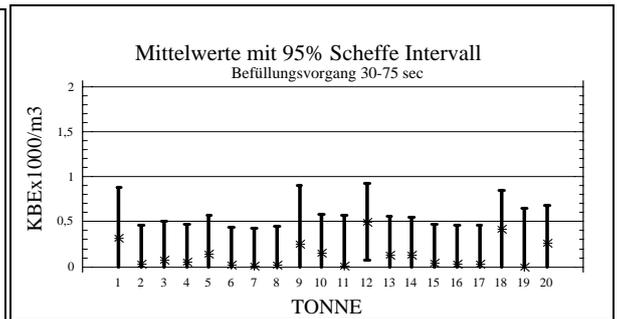


Abb. 150: Pilzsporemission (44°C) beim Befüllen von Biotonnen, *alle* Tonnen; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-75 sec

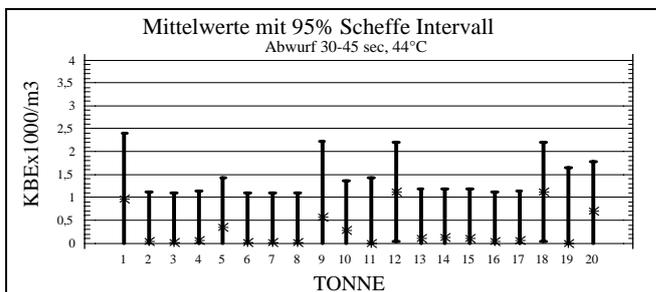


Abb. 151: Pilzsporemission (44°C) beim Abwurf von Biomüll, *alle* Tonnen; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-45 sec

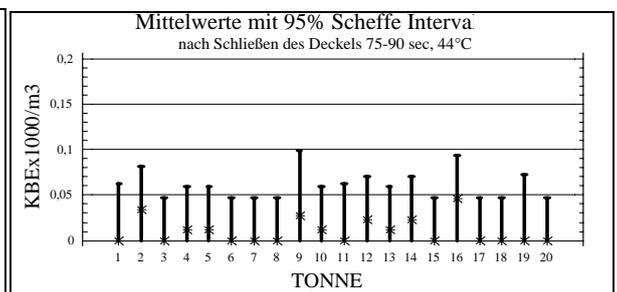


Abb. 152: Pilzsporemission (44°C) nach Deckelschließen, *alle* Tonnen; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 75-90 sec

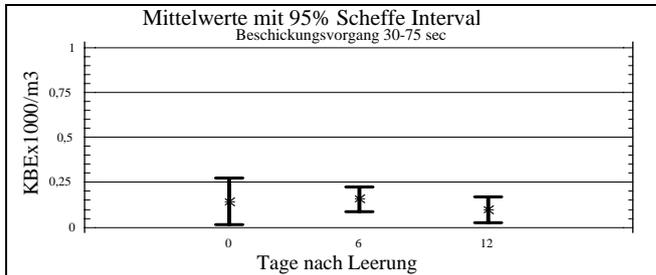


Abb. 153: Pilzsporemission (44°C) beim Befüllen von Biotonnen, *alle* Tonnen, in Abhängigkeit von der Standzeit, Zeitabschnitt 30-75 sec ($p=0,58$);

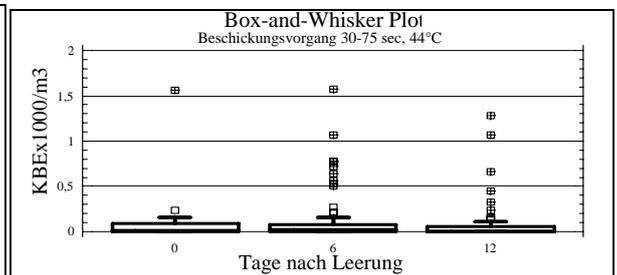


Abb. 154: Pilzsporemission (44°C) beim Befüllen von Biotonnen, *alle* Tonnen, in Abhängigkeit von der Standzeit, Zeitabschnitt 30-75 sec

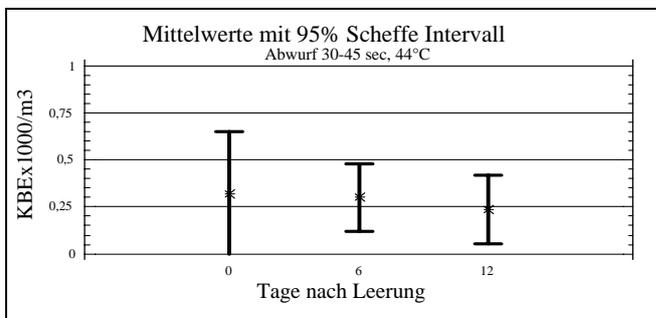


Abb. 155: Pilzsporemission (44°C) beim Abwurf von Biomüll, *alle* Tonnen, in Abhängigkeit von der Standzeit, Zeitabschnitt 30-45 sec ($p=0,88$);

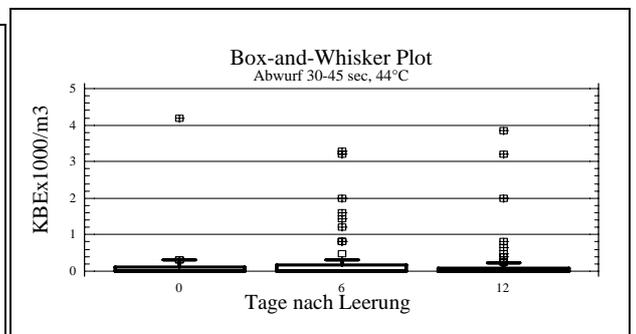


Abb. 156: Pilzsporemission (44°C) beim Befüllen von Biomüll, *alle* Tonnen, in Abhängigkeit von der Standzeit, Zeitabschnitt 30-45 sec

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
 bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang

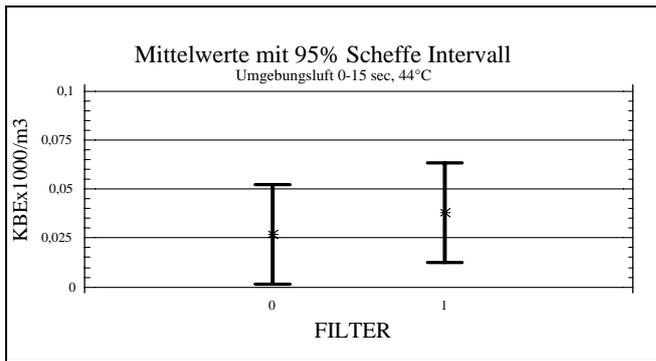


Abb. 157: Pilzsporenkonzentration (44°C) in der Umgebungsluft von Biotonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter, Tonnen geschlossen (p=0,66); Expositionsmodell, Zeitabschnitt 0-15 sec

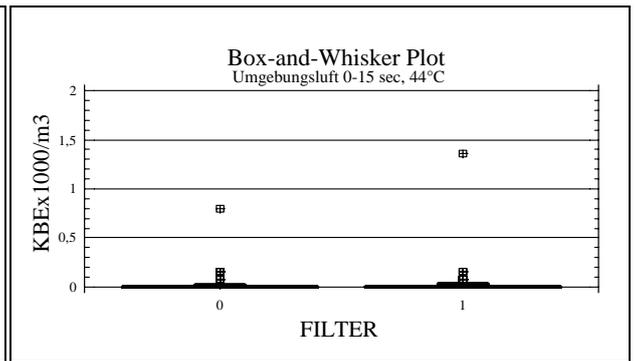


Abb. 158: Pilzsporenkonzentration (44°C) in der Umgebungsluft von Biotonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter, Tonnen geschlossen; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 0-15 sec

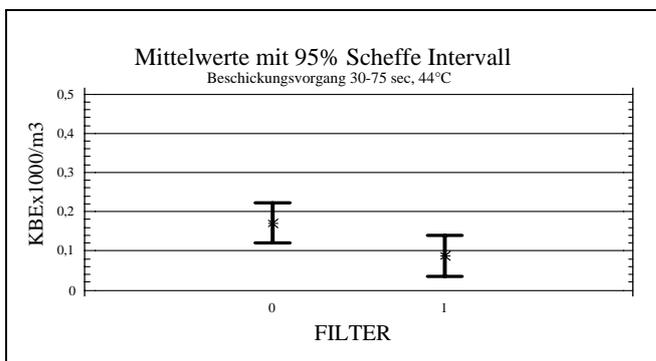


Abb. 159: Pilzsporenemission (44°C) beim Beschieken von Biotonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter (p=0,11); Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-75 sec

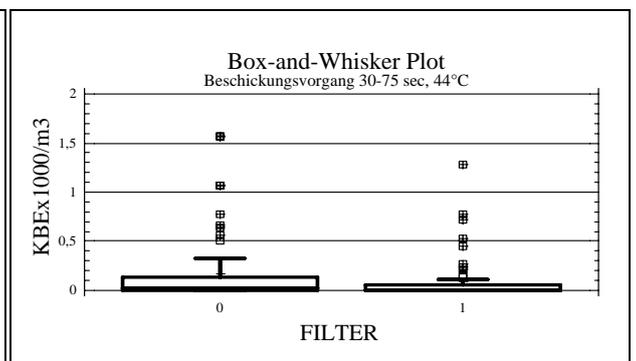


Abb. 160: Pilzsporenemission (44°C) beim Beschieken von Biotonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-75 sec

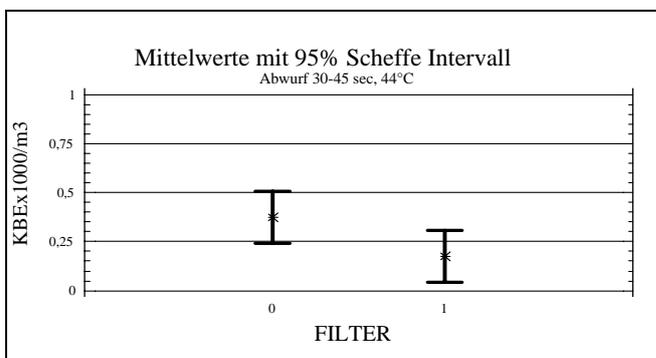


Abb. 161: Pilzsporenemission (44°C) beim Abwurf von Biomüll in Biotonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter (p=0,15); Expositions-

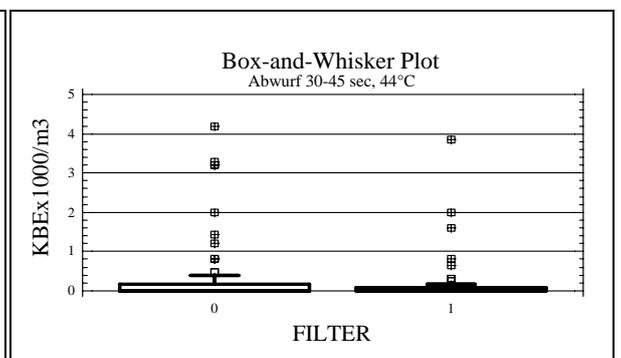


Abb. 162: Pilzsporenemission (44°C) beim Abwurf von Biomüll in Biotonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Expositionsmodell,

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
 bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang

modell, Zeitabschnitt 30-45 sec

Zeitabschnitt 30-45 sec

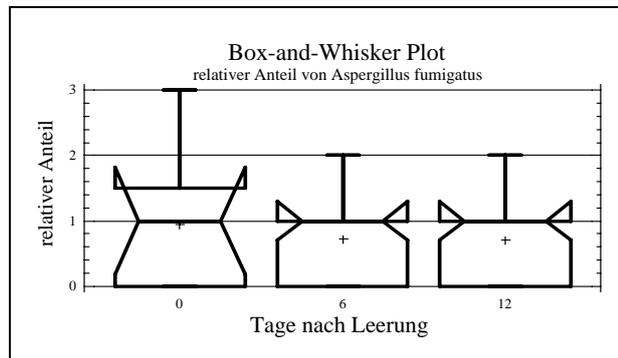


Abb. 163: Relativer Anteil von *Aspergillus fumigatus* an der Gesamtsporenzahl von Pilzen in der Luft beim Abwurf von Biomüll in Biotonnen, *alle* Tonnen ($p=0,52$), in Abhängigkeit von der Standzeit; Expositionsmodell

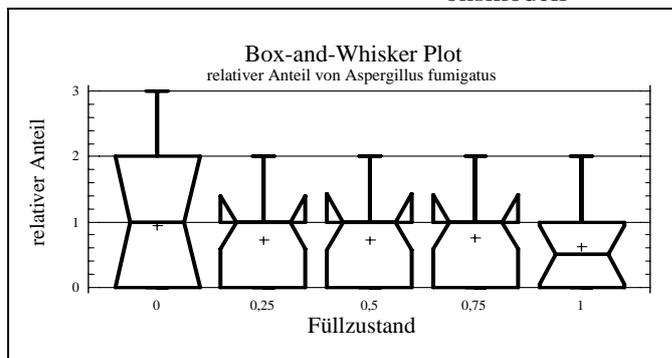


Abb. 164: Relativer Anteil von *Aspergillus fumigatus* an der Gesamtsporenzahl von Pilzen in der Luft beim Abwurf von Biomüll in Biotonnen, *alle* Tonnen ($p=0,71$), in Abhängigkeit vom Füllzustand; Expositionsmodell

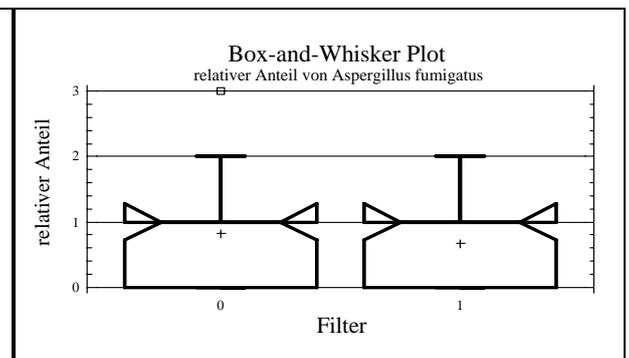


Abb. 165: Relativer Anteil von *Aspergillus fumigatus* an der Gesamtsporenzahl von Pilzen in der Luft bei Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Expositionsmodell

3.3.4 Außenversuche Institut für Hygiene

Bei diesen Versuchen wurden zusätzlich zu den Luftmessungen die Pilzkonzentrationen im Substrat (Biomüll) bestimmt. Der Biomüll war schon bei der Befüllung relativ stark mit Pilzen durchwachsen. Die Konzentrationen stiegen innerhalb von 2 bis 4 Tagen auf ihre höchsten Werte an und nahmen ab dem 10.-12. Tag wieder ab. Signifikante Unterschiede zwischen Tonnen mit und ohne Filter waren nicht zu erkennen (Abb. 167 bis Abb. 169)

Die Sporemissionen (Luft) aus den Tonnen erreichte nach ca. 6-8 Tagen ihr Maximum. Auffällig waren sehr starke Unterschiede von einem Tag zum anderen (z.B. Tag 8 und 10) bei den Tonnen ohne Filterdeckel, der offensichtlich durch eine starke Madenentwicklung verursacht wurde (Abb. 168). Es konnte beobachtet werden, daß bei starker Madenpopulation weniger Sporen gebildet wurden. Bei den Tonnen mit Filterdeckel stiegen die Sporemissionen gleichmäßig bis zum 10. Tag an und nahmen ab dem 12.Tag wieder ab (Abb. 169)

Ein Zusammenhang zwischen den Pilzkonzentrationen im Substrat und in der Luft konnte nicht beobachtet werden; dies wird besonders bei den Tonnen mit Filterdeckel deutlich (Abb. 169). Für eine Expositionsabschätzung sind demnach Substratmessungen bei Pilzen wenig geeignet. Entscheidend ist die Sporenbildungsrate der obersten Zentimeter des Biomülls und die Möglichkeit des Austrages in die umgebende Luft.

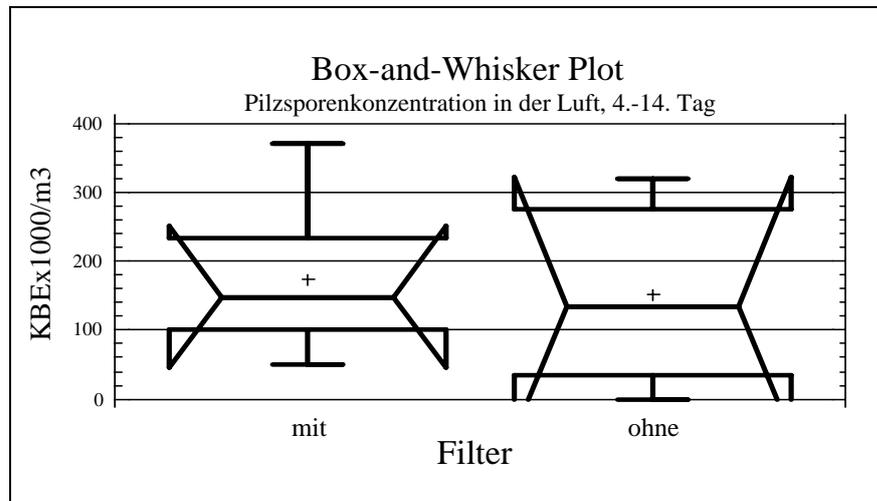


Abb. 166: Pilzentwicklung in der Luft bei Biotonnen mit und ohne Filter ($p > 0,05$)

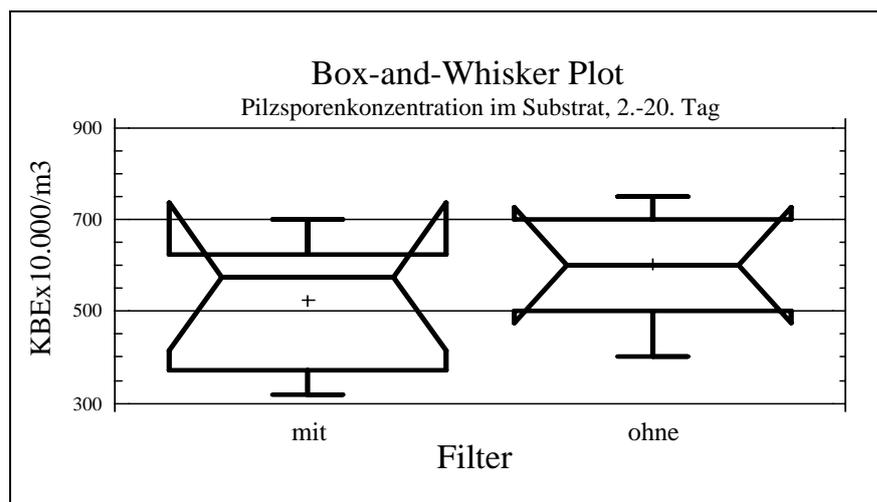


Abb. 167: Pilzentwicklung im Biomüll (Substrat) in Tonnen mit und ohne Filter ($p > 0,05$)

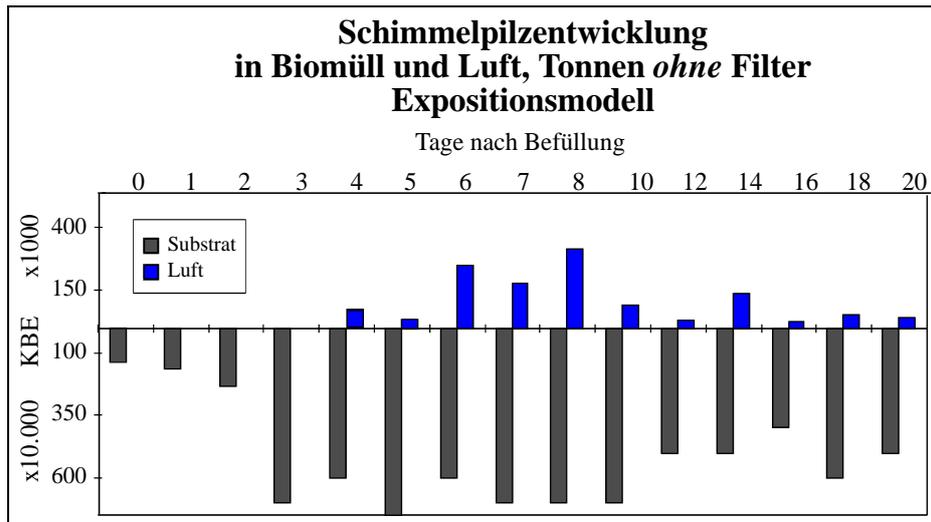


Abb. 168: Pilzentwicklung im Biomüll (Substrat) und Sporenkonzentration in der Luft (Befüllungsvorgang) über normalen Standard-Tonnen in Abhängigkeit von der Standzeit

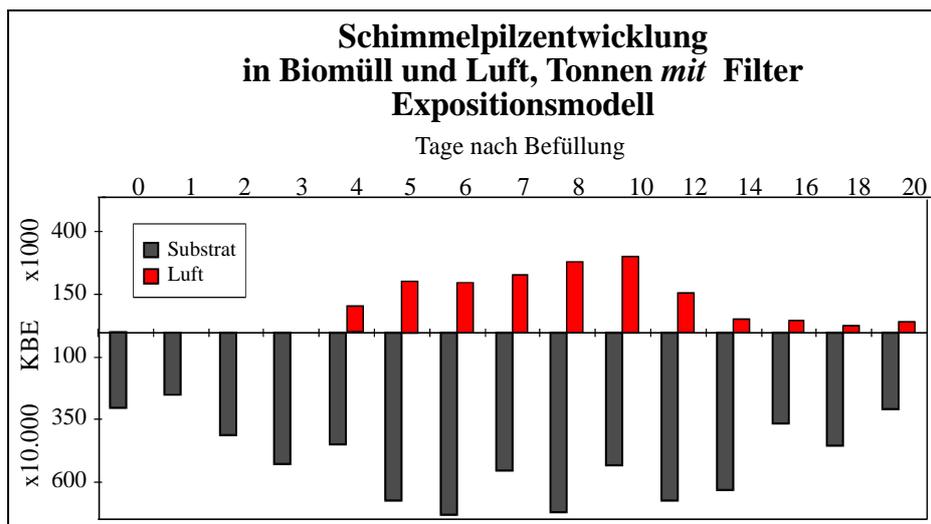


Abb. 169: Pilzentwicklung im Biomüll (Substrat) und Sporenkonzentration in der Luft (Befüllungsvorgang) über Tonnen mit Filterdeckel in Abhängigkeit von der Standzeit

3.3.5 Innenraumversuche Institut für Hygiene

In Analogie zu den Feldversuchen wurden in einem gleichmäßig temperierten Raum im Institut für Hygiene Laborversuche zur Sporenemission mit standardisiertem Biomüll durchgeführt.

Ein sehr ausgeprägtes Maximum der Pilzentwicklung war bei 6-8 Tagen zu beobachten und entsprach damit den Außenversuchen. Nach dem 6.-8.Tag nahmen die Sporenkonzentrationen bis zum 19. Tag sehr stark ab (Abb. 170 bis Abb. 172).

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang

Die Sporengehalte der Umgebungsluft waren insgesamt gegenüber den Außenversuchen erhöht (Tab. 14). Der Abwurf führte auch hier wieder zu einem explosionsartigem Freisetzen von Sporen (Abb. 173 bis Abb. 175, Tab. 14.). Bei den Standardtonnen war wiederum ein 2. Maximum beim Schließen der Tonnen zu beobachten (Abb. 173 bis Abb. 175).

Während der gesamten Untersuchungsperiode waren die Sporenkonzentrationen in Biotonnen mit Filterdeckel deutlich geringer als in normalen Standardtonnen (Tab. 14, Abb. 170 bis Abb. 175). Wegen der starken Schwankungen waren die Ergebnisse zwar nicht signifikant, in der Tendenz aber deutlich.

	N-Probenahmen	Mittelwert	Median	Varianz	Maximum	unteres Quartil	oberes Quartil
UMGEBUNGSLUFT 0-15 SEC							
gesamt	32	0,6984	0,32	0,837804	3,36	0,12	0,88
mit Filter	16	0,7570	0,36	0,996071	3,2	0,056	1,16
ohne Filter	16	0,6398	0,32	0,728065	3,36	0,16	0,72
BEFÜLLUNG 30-75 SEC							
gesamt	32	71,6481	22,0665	20043,2	750,933	4,4265	68,906
mit Filter	16	40,8314	18,4	3033,1	205,066	3,1330	60,706
ohne Filter	16	102,465	22,0665	36363,6	750,933	6,1865	125,08

Tab. 14: Pilzsporenenmission von Biotonnen beim Befüllungsvorgang, Innenraumversuch Institut für Hygiene; Expositionsmodell, 30°C Kulturtemperatur in K_BEx1000 /m³

Bei der Artenverteilung kommt es zunächst zu einer starken Entwicklung von *Rhizopus* und etwas später von *Mucor* (Tab. 15), die nach 6-8 Tagen wieder stark abnehmen. Die starken Sporenenmissionen am 6.-8. Tag sind offensichtlich sehr stark durch diese beiden Species bestimmt. *A. fumigatus* und *Penicillium*-Species sind in allen Proben während der gesamten Untersuchungsperiode stark vertreten, *A. niger* hat ein Maximum bei etwa 4 Tagen.

Standzeit	<i>Rhizopus sp.</i>		<i>Mucor sp.</i>		<i>Penicillium sp.</i>		<i>A.fumigatus</i>		<i>A.niger</i>	
	ohne Filter	mit Filter	ohne Filter	mit Filter	ohne Filter	mit Filter	ohne Filter	mit Filter	ohne Filter	mit Filter
2 Tage	+	+	+	+	++	++	++	++	+	+
4 Tage	++	++	+	+	++	++	++	++	++	++
6 Tage	++	++	++	++	++	++	++	++	+	+
8 Tage	++	+	++	+	++	+	++	++	+	++
12 Tage	-	-	-	-	++	++	++	++	+	+

Tab. 15: Artenverteilung von Pilzen (halbquantitativ) in Luftproben über Biotonnen; Expositionsmodell LaHy

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
 bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang

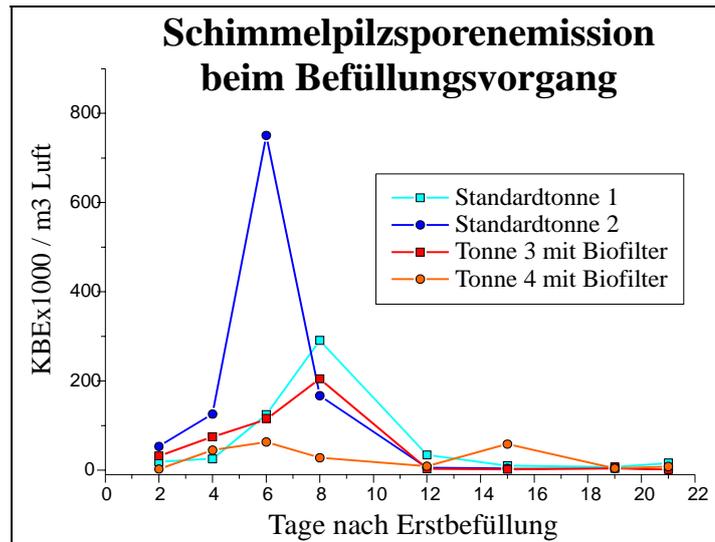


Abb. 170: Mittlere Pilzsporenkonzentration beim Befüllungsvorgang (30 bis 75 sec) vom 2. bis 21. Tag Standzeit bei Tonnen mit und ohne Filter

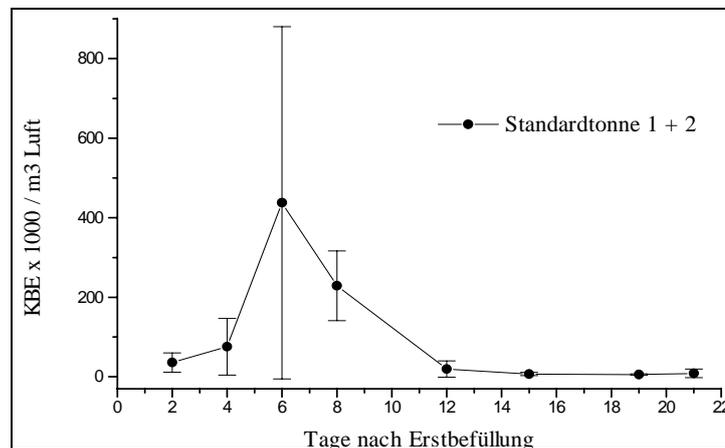


Abb. 171: Mittlere Pilzsporenkonzentration mit Standardabweichung beim Befüllungsvorgang (30 bis 75 sec) vom 2. bis 21. Tag Standzeit bei Standardtonnen ohne Filter

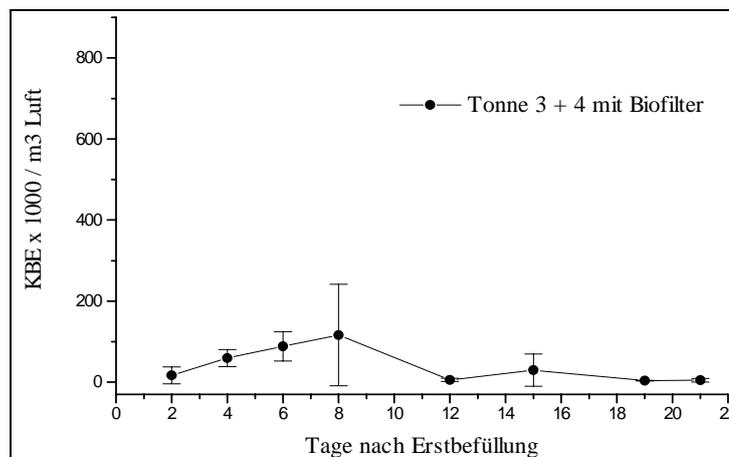


Abb. 172: Mittlere Pilzsporenkonzentration mit Standardabweichung beim Befüllungsvorgang (30 bis 75 sec) vom 2. bis 21. Tag Standzeit bei Tonnen mit Filter

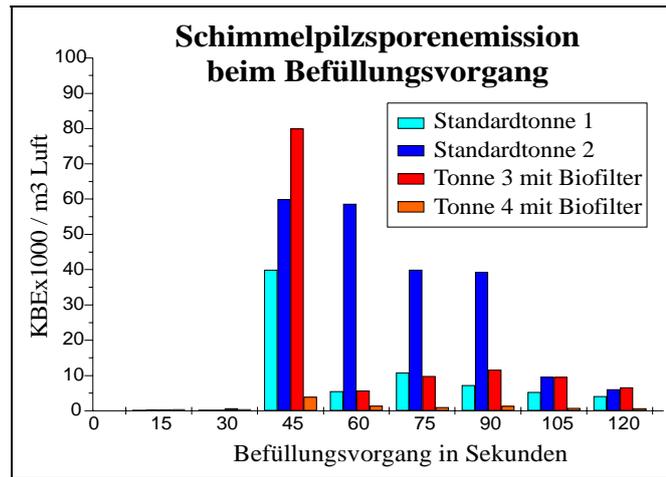


Abb. 173: Pilzsporenkonzentration beim Befüllungsvorgang (2 Tage Standzeit)

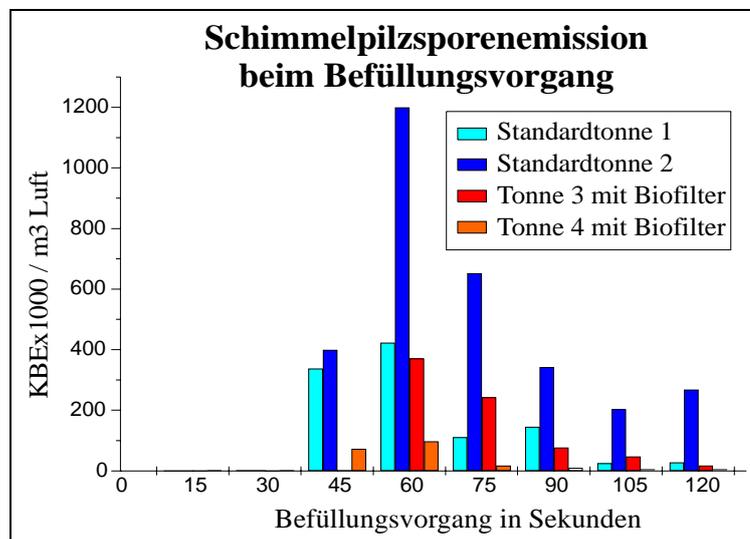


Abb. 174: Pilzsporenkonzentration beim Befüllungsvorgang (Tag der höchsten Sporenentwicklung, 6-8 Tage Standzeit)

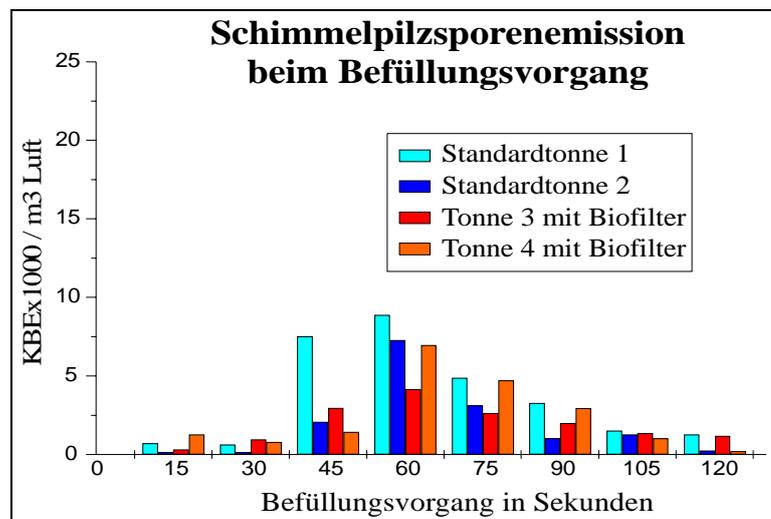


Abb. 175: Pilzsporenkonzentration beim Befüllungsvorgang (19 Tage Standzeit)

Expositionsmodell: 0-30 sec: geschlossene Biotonne 30-45 sec: geöffnete Biotonne bei 35 sec: Abwurf des Prüfkörpers
 bei 45 sec: Schließen des Deckels 50-120 sec: geschlossene Tonne nach dem Befüllungsvorgang

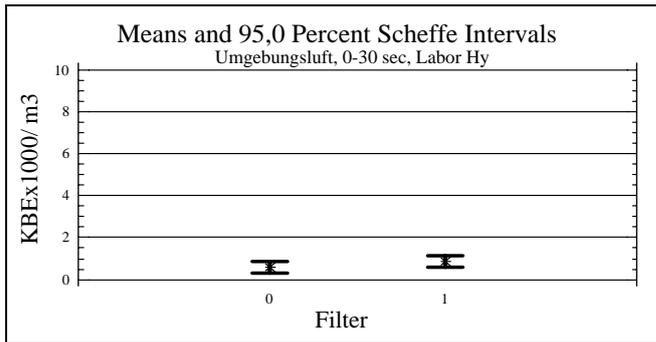


Abb. 176: Pilzsporenkonzentration in der Umgebungsluft von Biotonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter ($p=0,73$); Expositionsmodell, Zeitabschnitt 0-30 sec

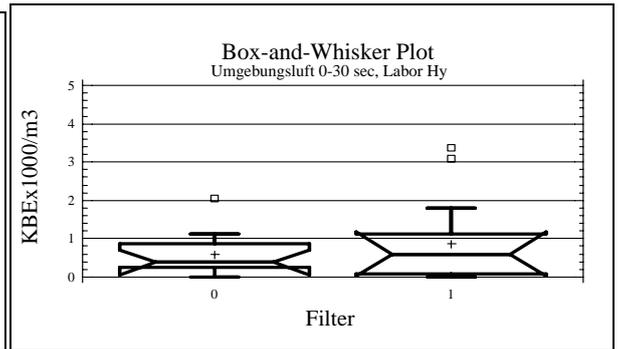


Abb. 177: Pilzsporenkonzentration in der Umgebungsluft von Biotonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 0-30 sec

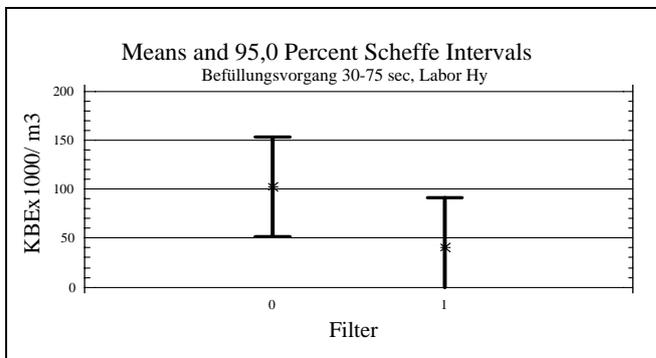


Abb. 178: Pilzsporenkonzentration beim Beschieken von Biotonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter ($p=0,23$); Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-75 sec

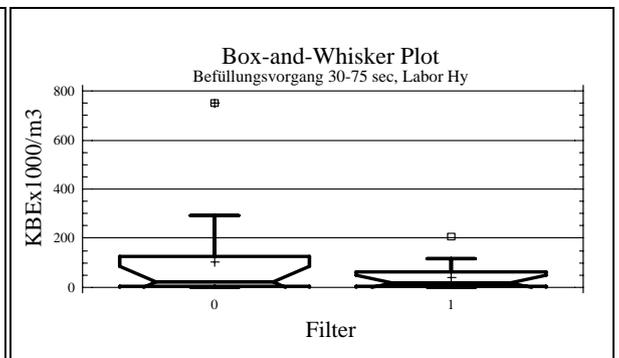


Abb. 179: Pilzsporenkonzentration beim Beschieken von Biotonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-75 sec

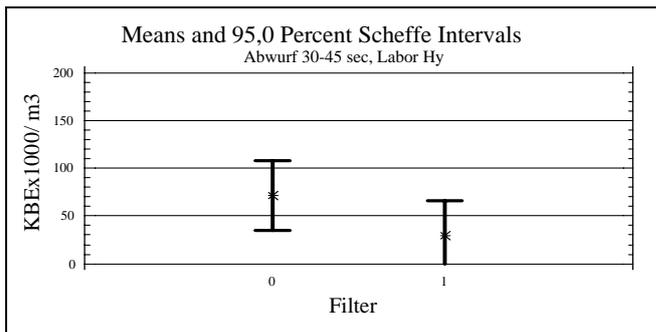


Abb. 180: Pilzsporenkonzentration beim Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter ($p=0,26$); Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-45 sec

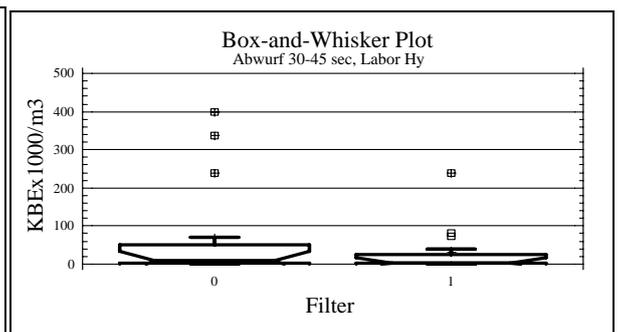


Abb. 181: Pilzsporenkonzentration beim Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 30-45 sec

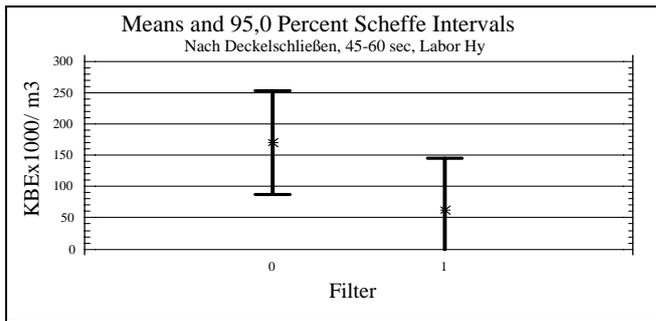


Abb. 182: Pilzsporenkonzentration nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter ($p=0,20$); Expositionsmodell Zeitabschnitt 45-60 sec

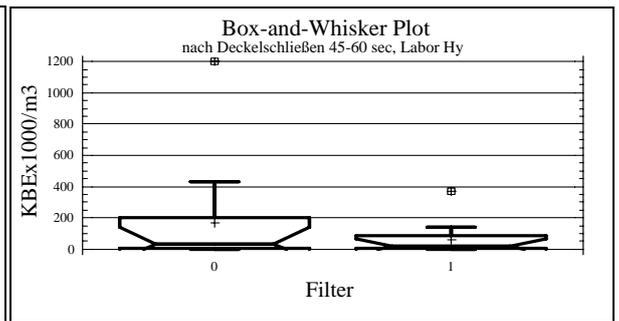


Abb. 183: Pilzsporenkonzentration nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Expositionsmodell Zeitabschnitt 45-60 sec

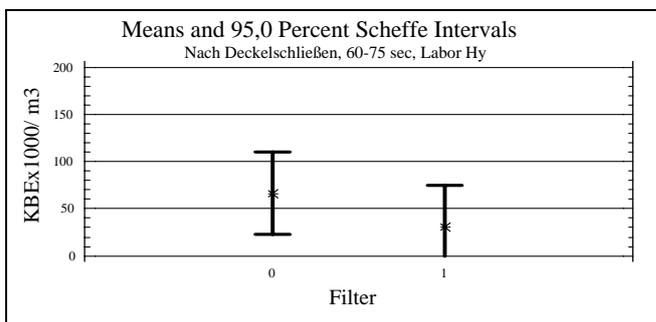


Abb. 184: Pilzsporenkonzentration nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter ($p=0,42$); Expositionsmodell, Zeitabschnitt 60-75 sec

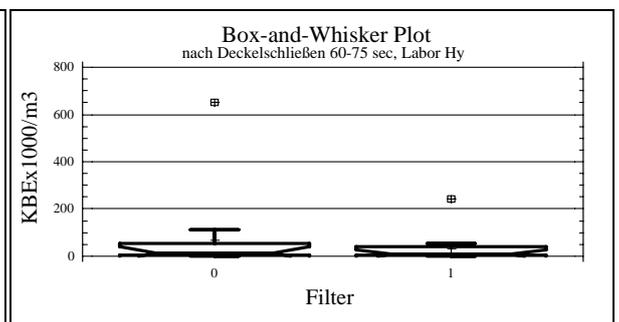


Abb. 185: Pilzsporenkonzentration nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 60-75 sec

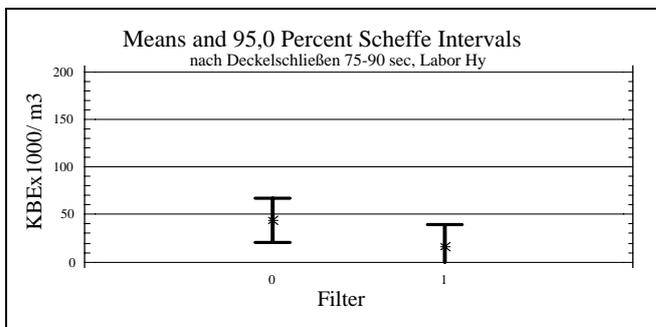


Abb. 186: Pilzsporenkonzentration nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter ($p=0,23$); Expositionsmodell, Zeitabschnitt 75-90 sec

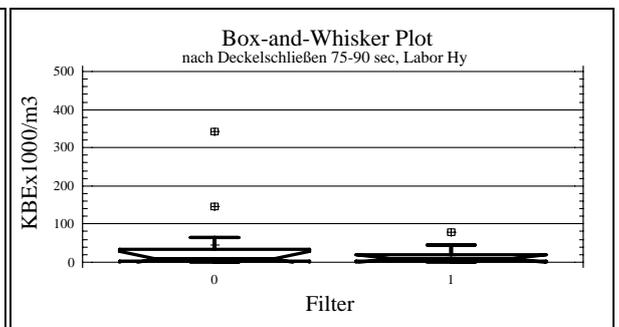


Abb. 187: Pilzsporenkonzentration nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 75-90 sec

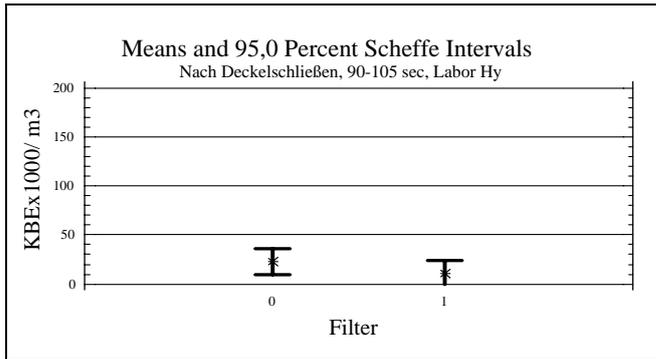


Abb. 188: Pilzsporenkonzentration nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter ($p=0,38$); Expositionsmodell, Zeitabschnitt 90-105 sec

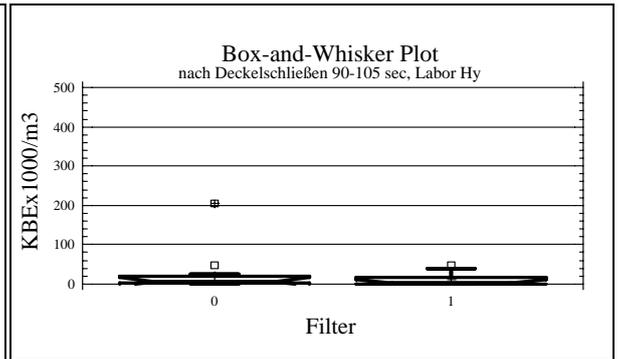


Abb. 189: Pilzsporenkonzentration nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 90-105 sec

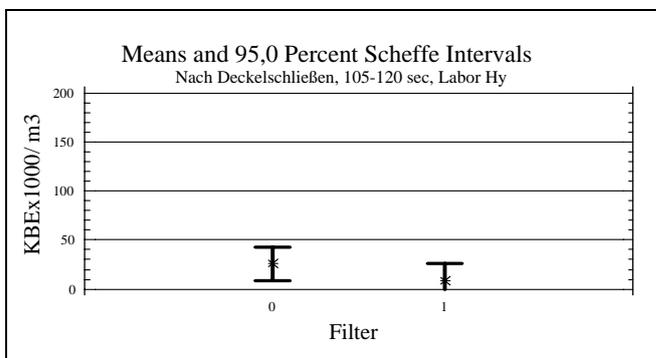


Abb. 190: Pilzsporenkonzentration nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter ($p=0,30$); Expositionsmodell, Zeitabschnitt 105-120 sec

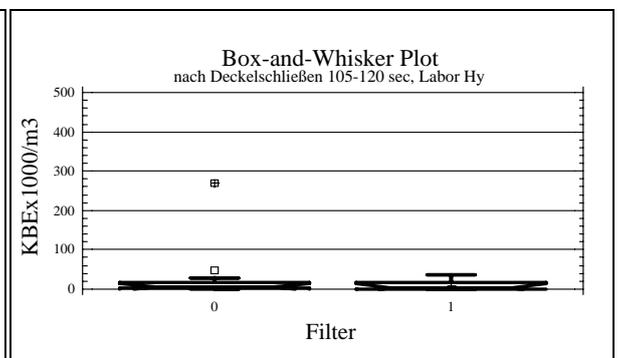


Abb. 191: Pilzsporenkonzentration nach dem Abwurf von Biomüll in Tonnen *ohne* (0) und *mit* (1) Filter; Expositionsmodell, Zeitabschnitt 105-120 sec

3.3.6 Umtonnenversuche Gewächshaus Leeden

Bei diesen Versuchen wurden verschiedene Bauformen von Tonnen miteinander in Hinblick auf den Pilzsporenaustrag verglichen. Zwischen den einzelnen Tonnen traten gravierende Unterschiede auf (Abb. 192). Extrem stark war die Sporenemission aus der gut sauerstoffversorgten Tonne mit Löchern. Schon am 4. Tag nach Erstbefüllung streute diese Tonne erhebliche Mengen an Pilzsporen in die Umgebungsluft. Die Emissionen blieben bis zum Ende der Untersuchung unverändert hoch.

Zwischen dem 7. und 11. Tag nach Erstbefüllung entwickelten sich auch in der Standardtonne hohe Sporenkonzentrationen, während in den Tonnen mit Biofilter eine deutlich geringere Sporenfreisetzung zu beobachten war.

Die Hauptarten waren *Penicillium*-Species und *Aspergillus fumigatus* (Tab. 16), die bei der Tonne mit Löchern sowohl nach 11 wie nach 18 Tagen Standzeit in hohen Konzentrationen auftraten. Bei der Standardtonne nahm die Besiedlung mit *Penicillium* zugunsten eines Wachstums von *A. fumigatus* mit wachsender Standzeit ab. Die niedrigsten *A. fumigatus*-Emissionen waren bei den Tonnen mit Filtersystem zu beobachten.

Tonne:	<i>Penicillium spec.</i>		<i>A. niger</i>		<i>A. fumigatus</i>	
	11. Tag	18. Tag	11. Tag	18. Tag	11. Tag	18. Tag
mit Filter	950	690	<10	<10	20	10
mit Filter, unbeheizt	170	10	<10	<10	<10	<10
mit Filter	120	460	<10	<10	30	10
mit Löchern	>30.000	>30.000	30	<10	>30.000	>30.000
Standard	3530	730	<10	10	110	560
mit Depot	40	220	<10	<10	40	210
Raumluft	40	30	<10	<10	20	<10

Tab. 16: Vorkommen verschiedener Pilzarten in der Luft über Biotonnen; Umtonnenversuch Gewächshaus Leeden; Angaben in KBE/m³

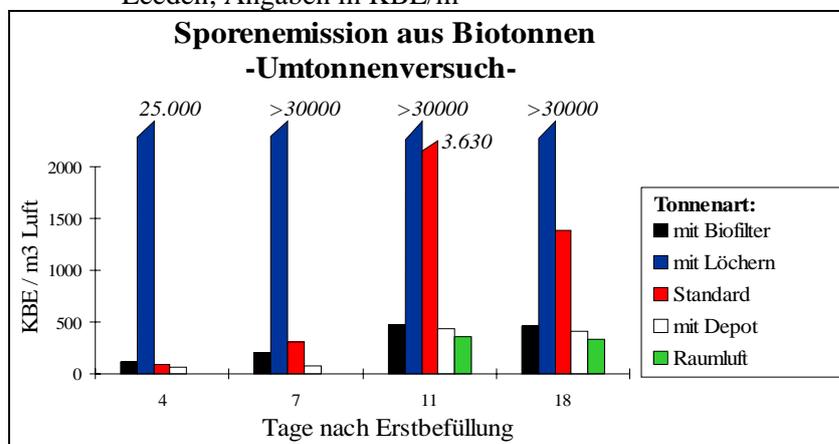


Abb. 192: Sporenemission aus Biotonnen in Abhängigkeit von der Standzeit und der Bauform; Umtonnenversuch

Zwischen Substratmessung und Luftsporenmessung ließ sich auch bei dieser Versuchsserie kein Zusammenhang herstellen (Abb. 193). Obwohl in der Standardtonne die höchsten Pilzgehalte im Substrat gemessen wurden, waren die Luftemissionen hier deutlich geringer als bei der belüfteten Tonne. Die Pilzbesiedlung des Substrates der Tonnen mit Biofilter war insgesamt deutlich niedriger und entsprach hier der niedrigen Sporenfreisetzung in die Luft.

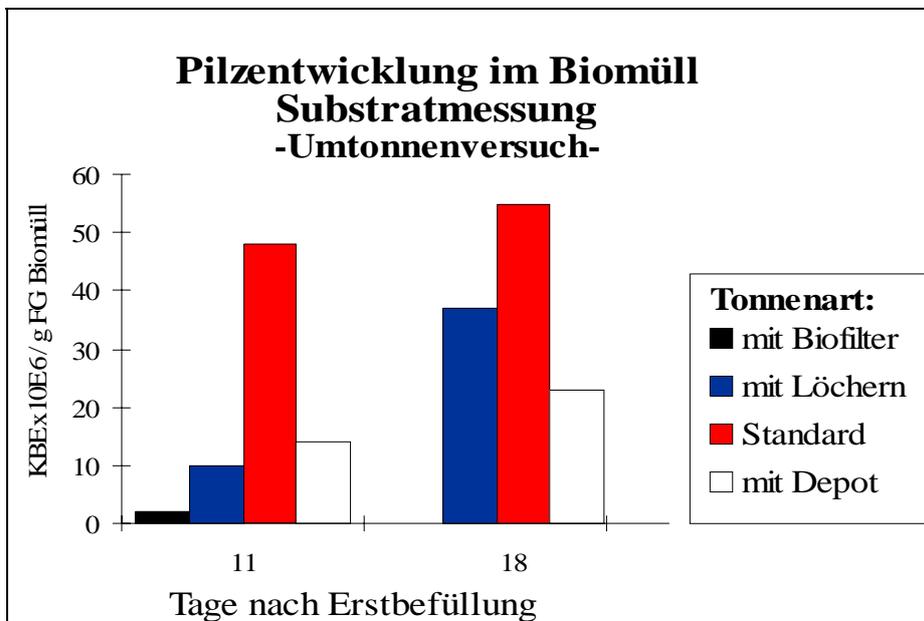


Abb. 193: Sporenemission aus Biotonnen in Abhängigkeit von der Standzeit und der Bauform; Umtonnenversuch

3.4 Hemmtests

Die Hemmtests mit Reinkulturen unter standardisierten Bedingungen zeigen deutlich die Wirksamkeit der eingesetzten *Bacillus*-Isolate gegen das Wachstum verschiedener Schimmelpilze (vgl. Foto 22 bis Foto 29). Bei mikroskopischer Betrachtung der Hemmregion fielen regelmäßig blasige Auftreibungen und Dauerstadienbildung an den Pilzhyphen auf. Foto 26 zeigt diese Erscheinung bei *Aspergillus niger*, der auf unbeeinflussten Kontrollplatten ein lineares Hyphenwachstum zeigte (Foto 25).



Foto 22: Hemmung von *Aspergillus niger* durch *Bacillus* ssp.



Foto 23: Hemmung von *Aspergillus* sp. durch *Bacillus* ssp. (Ausschnitt)

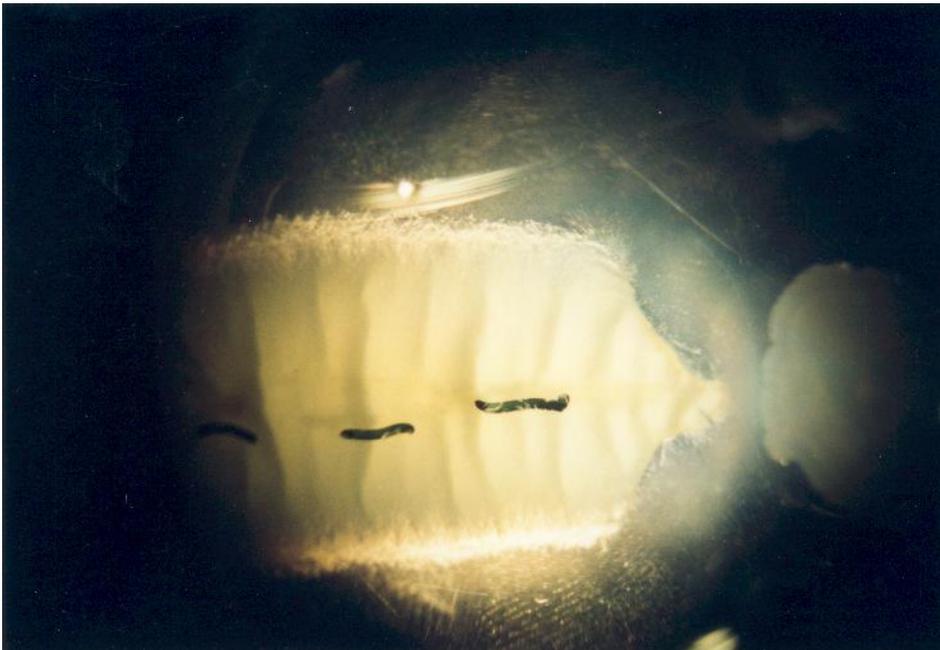


Foto 24: Hemmung von *Aspergillus niger* durch *Bacillus ssp.*, Stereolupe, 20-fache Vergrößerung

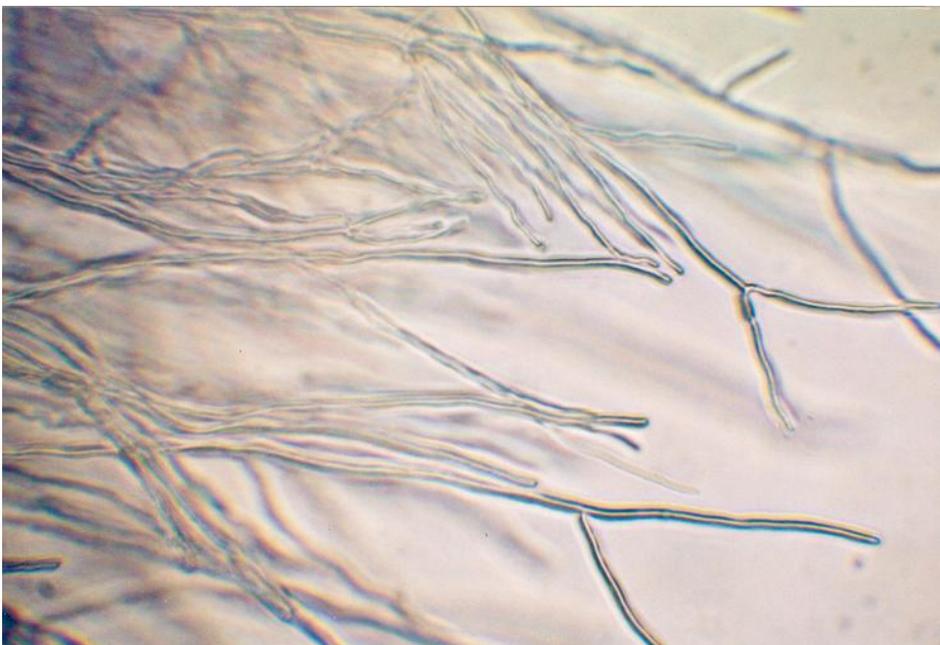


Foto 25: Ungehemmtes Wachstum von *Aspergillus niger*, 160 -fach, Durchlicht

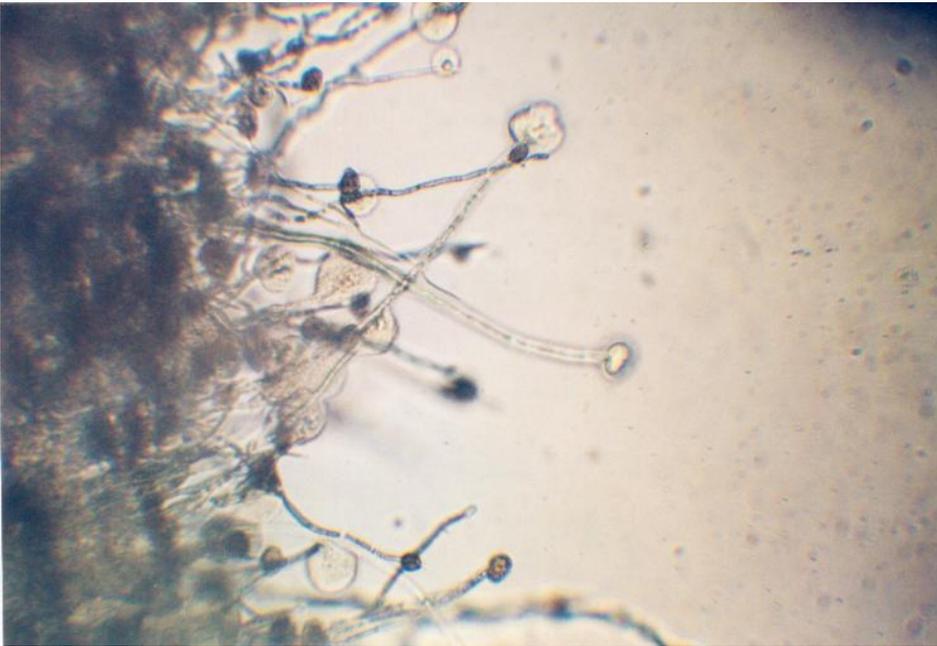


Foto 26: Hemmung von *Aspergillus niger* durch *Bacillus ssp.*, 160 -fach, Durchlicht

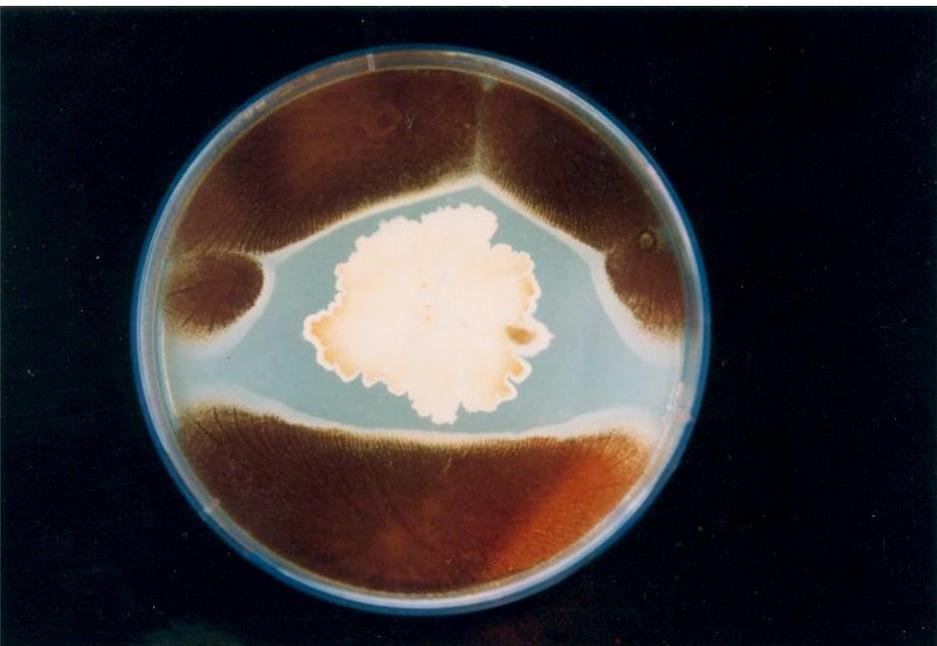


Foto 27: Hemmung von *Aspergillus fumigatus* durch *Bacillus ssp.*

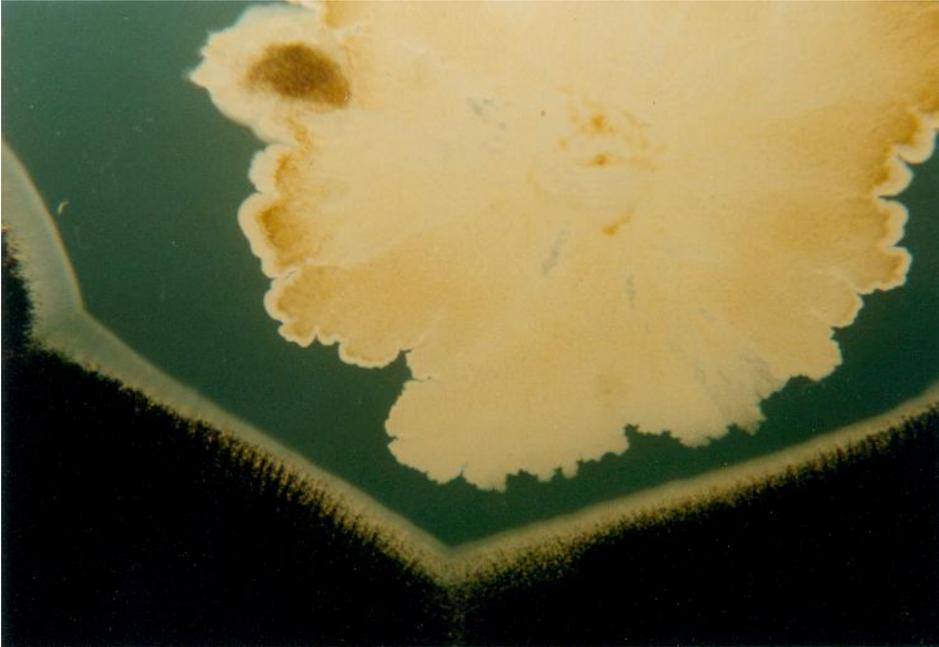


Foto 28: Hemmung von *Aspergillus fumigatus* durch *Bacillus ssp.*, Ausschnitt



Foto 29: Hemmung von *verschiedenen Schimmelpilzen* durch *Bacillus ssp.*

3.5 Biofilter für Biotonnen - Serienausführung

Die umfangreichen Erfahrungen, die während der verschiedenen Versuchsreihen mit dem System Biofilter für Biotonnen gesammelt wurden, wurden bei der Produktion der Serienausführung (Foto 30 bis Foto 33) berücksichtigt. Charakteristische Merkmale sind die fest angespritzte, sehr weiche Dichtung (Foto 33) unter dem Deckel, die auf der ebenen Regenablaufkante der Müllbehälter sehr gut abdichtet. Die bei den Prototypen verwendete Dichtung konnte wegen der produktionsbedingten Unebenheiten auf dem Behälterrand nicht zu 100% abdichten.

Durch das geteilte Filtergehäuse (Foto 32) wird ein Verrutschen des Filtermaterials auch bei Materialschwund sicher ausgeschlossen.



Foto 30: Modell des neuartigen Deckels mit integriertem Biofilter in Aufsicht

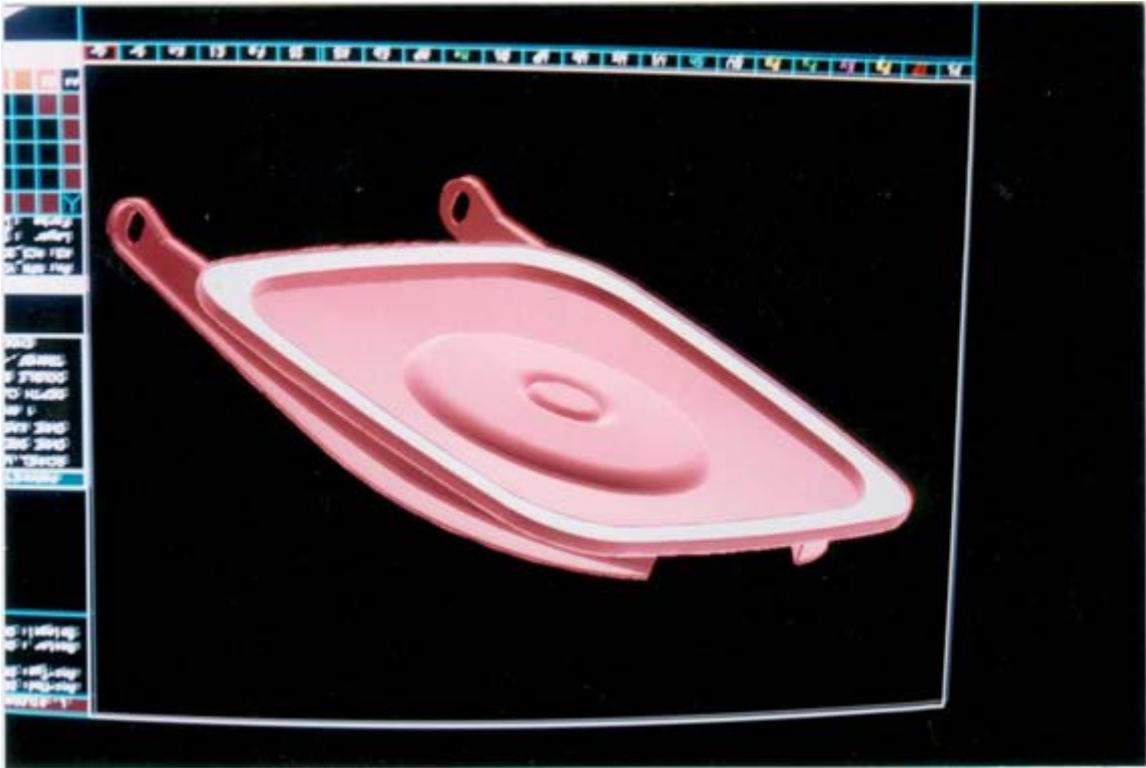


Foto 33: CAD Modell des neuartigen Deckels mit integriertem Biofilter, mit Dichtung (weiß) unter dem Filterdeckel

4 Diskussion

Bei unseren Untersuchungen konnten wir in Feld- und Laboruntersuchungen erhebliche Geruchsemissionen aus Biotonnen feststellen, die von der überwiegenden Zahl der Betreiber als stark unangenehm oder unangenehm bezeichnet wurden. Teilweise wurden ekelerregende Geruchsqualitäten produziert. Analysen von Grüner (1994) bei Biomüllkompostieranlagen zeigen ein ganzes Spektrum leicht flüchtiger Komponenten mit teilweise stark unangenehmem Geruchspotential, wie z.B. Mercaptane.

Bei normalen Standardtonnen war der Geruch auch bei geschlossenem Deckel in erheblichem Maße feststellbar. Auch Streib et al. (1989) berichten von erhöhten Geruchsbelastungen nach Einführung der Biotonne. Mit wachsender Standzeit nehmen sowohl in den Feldversuchen wie bei den Versuchen unter kontrollierten Bedingungen die Geruchsemissionen deutlich zu. Das Maximum wird ca. nach 7 Tagen erreicht und persistiert bis ca. 14 Tage Standzeit, um dann wieder abzunehmen. Es mag deshalb auch nicht verwundern, warum Schirz (1994) zwischen 14 tägigem und 4 wöchentlichem Abfuhrhythmus keinen signifikanten Unterschied in der Geruchsproduktion, sondern nur eine leichte Zunahme nach 4 Wochen feststellen kann. Auch Gaube et al. (1987) messen wie wir einen Anstieg der Geruchsintensität nach 7 bis 14 Tagen. Die Probenzahlen sind bei diesen Untersuchungen allerdings sehr gering und erlauben keine statistisch gesicherte Aussage. Wie die Untersuchungen von Schirz (1994) liefert auch diese Studie keine klare Entscheidungsgrundlage für einen größeren als wöchentlichen Abfuhrhythmus. Von Bedeutung ist, daß der Geruch nicht nur olfaktometrisch nach GE beurteilt wird (Gaube et al. 1987, Schirz 1994), sondern wie in unseren Versuchen die Qualität des Geruches entscheidend mitberücksichtigt wird.

Der Füllgrad der Tonnen und die Jahreszeit haben keinen gesicherten Einfluß auf die Geruchsintensität. Auch leere Tonnen können erhebliche Emissionen verursachen, und auch die Temperatur ist für die Emission nicht sehr entscheidend. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt Schirz (1994) bei Untersuchungen in Oldenburg. Dies bedeutet, daß in heißen Sommern nicht unbedingt immer stärkere Geruchsemissionen produziert werden als in der kühleren Jahreszeit und Verbesserungsmaßnahmen das ganze Jahr über getroffen werden müssen und nicht nur im Sommer.

Durch den Einsatz des dicht schließenden Deckelsystems mit Biofilter läßt sich eine erhebliche Verbesserung dieser Situation erreichen. Aus Tonnen mit Filterdeckeln sind praktisch keine unangenehmen Gerüche mehr wahrnehmbar. Dies ließ sich sowohl in den Feldversuchen als auch unter kontrollierten Bedingungen eindeutig nachweisen. Auch das Befragungsergebnis bei den Betreibern der Tonnen zeigt klar, daß Geruchsemissionen in der Regel als kaum merklich eingestuft werden. Selbst unter den extremen Bedingungen des kontrollierten Außenversuches wurden Gerüche durch das Filterdeckelsystem sicher zurückgehalten. Auch nach mehr als 1 Jahr Standzeit ist keine Verschlechterung der Wirksamkeit erkennbar (Feldversuch III). Damit bietet sich durch den Einsatz des Filterdeckels eine effiziente Möglichkeit an, Geruchsprobleme bei der getrennten Abfallsammlung zu minimieren und dadurch die Akzeptanz deutlich zu erhöhen. Andere alternative Konzepte zur Reduzierung von Geruchsemissionen werden in der Literatur nur für Kompostwerke beschrieben, Lösungsansätze für die Sammlung von Müll im Haus fehlen völlig. Neben Geruchsbelästigungen werden von den Betreibern in erster Linie erhebliche Ekelgefühle durch massenhaftes Auftreten von Maden genannt. Durch den Geruch von faulendem oder gärendem organischem Material werden insbesondere Fliegen und andere Insekten (Stein 1989) und auch Ratten (Oberfeld 1994) angezogen. Stein beschreibt Massenvermehrungen von *Drosophila*, *Phormia*, *Musca* und *Lucilia* sowie von Ameisen. Wegen der kurzen Generationszeit der Fliegen hält er einen 14 tägigen Abfuhrhythmus für nicht vertretbar.

Maden und Fliegen sind nicht nur ästhetische Probleme, sondern können auch Vektoren für Krankheitserreger sein (Greenberg, 1987, Stein, 1977). Krankheitserreger können über die Insekten sowohl in die Biotonne hinein als auch aus der Tonne heraus ins häusliche Umfeld gebracht werden. Auch die Entwicklung von Vorratsschädlingenschädlingen (Schaben) in Biotonnen muß mitberücksichtigt werden. Wegen möglicher Geruchsentwicklungen und damit verbundener Anlockung von Tieren halten Straub u. Philipp (1993) z.B. Essensreste für ungeeignet für die Biotonne. Bei unseren Untersuchungen stellten wir teilweise erhebliche Madenentwicklungen in den normalen Standardtonnen fest. Im heißen Sommer 1994 war diese deutlich größer als im folgenden Jahr. Von den Betreibern wurde übereinstimmend von ständigen oder häufigen Belästigungen durch Maden, in einigen Fällen auch Ameisen, berichtet. Teilweise waren selbst die Deckel voller Maden, was zu erheblicher Ablehnung der Biotonne führte. Vor allem bei den Außenversuchen, bei denen auch Fleischreste mitentsorgt wurden, traten extreme Madenbefälle auf. Zwischen dem 6. und 12. Tag Standzeit der Tonnen vergrößerte sich der Madenbefall deutlich. Die Betreiber berichteten darüberhinaus von ständigen oder häufigen Belästigungen durch Fliegen. Auch nach Leerung der Tonne verbleiben wegen der in der Regel fehlenden Reinigung der Tonne noch Maden im Inneren, die dann häufig zum Deckelrand wandern. Leider fehlen in der Literatur Untersuchungen über mögliche Veränderungen der Populationsdichten von Fliegen, besonders Musciden und Calliphoriden, nach Einführung der Biotonne.

Durch den Einsatz des dicht schließenden Filterdeckels wurde das Maden- und auch Fliegenproblem sowohl im Feldexperiment wie unter kontrollierten Bedingungen praktisch vollständig gelöst. Nur bei stark verlängerten Standzeiten (Außenversuch) trat eine geringe Madenbesiedlung auch in den Filterdeckeltonnen auf. Dies ist auf die technische Ausführung der nicht zu 100% abschließenden Prototypdichtung zurückzuführen. Es kann davon ausgegangen werden, daß bei den Serienausführung eine Eiablage von Fliegen in den Innenraum der Tonne sicher verhindert wird.

Strauch (1993) fordert aus hygienischen Gründen (Ungeziefer) eine möglichst häufige Abfuhr des Biomülls und eine Reinigung der Tonnen nach Leerung. Für Standardtonnen ist dies sicher eine sehr berechtigte Forderung und wird durch unsere Untersuchungen (Geruch, Maden) unterstützt. Die Ergebnisse von Scherer (1994), der keine Verstärkung der Lockwirkung feststellt und von nur geringen Madenentwicklungen berichtet, können von uns nicht bestätigt werden. Nur in Tonnen mit Filtersystem wirkt sich eine auf 14 Tage verlängerte Standzeit nicht weiter negativ aus. Die Madenentwicklung steigt nicht.

Für die Reduktion des Ungezieferbefalls bei den Biotonnen mit Biofilter sind offensichtlich zwei Faktoren von Bedeutung:

1. durch die fehlenden Geruchsemissionen wird kein Ungeziefer mehr angelockt - die Biotonne ist nicht mehr „attraktiv“ und
2. die Dichtung und das höhere Eigengewicht des Deckels verhindern sicher ein Eindringen von Insekten und damit eine Eiablage im Bioabfall. Es kann davon ausgegangen werden, daß auch Ratten ein Eindringen in die Tonne unmöglich gemacht wird.

Neben den Belästigungsfaktoren Geruch und Ungeziefer stellt Bioabfall möglicherweise ein Reservoir für verschiedenste Infektionserreger (Bakterien, Viren, Pilze) dar. Zur grundsätzlichen Problematik der Keim- und Virenbelastung und ihrer Bedeutung wird auf Übersichtsreferate von Strauch (1992), Strauch (1993), Rüden et al. (1993) und Böhm (1993) verwiesen. Innerhalb dieser Studie wurde neben Geruchsemissionen und Vorkommen von Maden ausschließlich die Belastung durch Pilzsporen untersucht, auf die sich die weitere Diskussion beschränken wird. In einer Reihe von Untersuchungen wird auf die Bedeutung der Sporenemissionen (Pilze und Actinomyceten) durch Bioabfall hingewiesen, wobei sich die meisten Untersuchungen mit arbeitsplatzhygienischen Untersuchungen in Kompost- oder Sortieranlagen befassen (z.B. Clark et al. 1983, Nersting et al. 1991, Rüden et al. 1993, Kutzner u. Kempf 1993, Göttlich et al. 1993, Jager et al. 1994).

Allergisierungen durch Pilzsporen und oft tödlich verlaufende Infektionen durch Schimmelpilze werden in den letzten Jahren mit wachsender Tendenz von vielen Autoren beschrieben. Arning u. Aul (1994), Koll u. Brown (1993) und McCann (1995) bei Krebspatienten, Flynn et al. (1995) bei pädiatrischen Krebspatienten, Funai et al. 1995 und Risse et al. (1995) bei hämatologischen Patienten, Bocquet u. Brücker (1994), Collins et al. (1994), Debock (1994), Hibberd u. Rubin (1993), Lajonchere u. Chauvin (1994) bei Transplantatempfängern. Neben *Aspergillus fumigatus*, dem unstreitig die größte Bedeutung zukommt (s.u.), treten jedoch vermehrt auch Infektionen durch andere Schimmelpilze, in der Regel bei immungeschwächten oder immunsupprimierten Personen, auf: z.B. Wundinfektionen durch *Mucor* (Abter et al. 1994), Niereninfektionen durch *Mucor* (Levy u. Bia (1995), Infektionen durch *Fusarium* (Bushelman et al. 1995, Guarro u. Gene 1995), Infektionen durch *Alternaria* (Morrison et al. 1994), Infektionen durch *Rhizopus* (Johnson et al. 1993), Allergieauslösung durch *Penicillium*-Arten (Fergusson et al. 1984, Solley u. Hyatt 1980) sowie Infektionen durch verschiedene *Aspergillus* species: *A. terreus* (Giardin et al. 1994), *A. flavus* (Harley et al. 1995), *A. niger* (Johnson et al. 1993, Lonneux et al. 1995), *A. nidulans* (Mizuki et al. 1994).

Am häufigsten werden jedoch Infektionen durch *Aspergillus fumigatus* beschrieben, wobei bei diesem Pilz schon bestimmte Therapieformen und Vorerkrankungen ein Risiko bedeuten können, z.B. Bronchialasthma mit Steroidtherapie (Ganassini u. Cazzadori 1995), Zystische Fibrose (Maguire et al. 1995), Morbus Crohn mit Steroidtherapie (Scalzini et al. 1995). Am gravierensten sind nosokomiale Infektionen bei Patienten mit hämatologischen Erkrankungen (Guiot et al. 1994, Jandrljic et al. 1995, Kac et al. 1995, Yoo et al. 1995), die in einem infektionsgefährdeten Zustand sich häufig auch im häuslichen Milieu befinden, und bei Transplantat-Empfängern (Guillemain et al. 1995, Hadley et al. 1995, Iwen et al. 1994, Saah et al. 1994, Tiroke et al. 1995). Bei diesen Patienten ist *A. fumigatus* oft der bedeutendste Erreger (neben Cytomegalievirus) für eine Infektion mit meist tödlichem Ausgang. Schätzungen sprechen von 5000 *A. fumigatus*-Infektionen allein in Deutschland (Saah et al. 1994). Neben Infektionen löst *A. fumigatus* häufig auch allergische Erscheinungen aus (Kaufmann et al. 1995, Caballero et al. 1995).

Welche Sporenmengen für eine Infektion aufgenommen werden müssen, ist weitgehend unbekannt. Epidemiologische Studien geben Hinweise, daß schon äußerst niedrige Sporenzahlen in der Luft ($> 1 \text{ KBE/m}^3$) Infektionen bei besonders gefährdeten Patienten auslösen können (Arnou et al. 1991, Barnes u. Rogers 1989), ein Umstand, der im Umfeld des Krankenhauses sehr aufwendige und rigide Schutzmaßnahmen erfordert. Infektionen können offensichtlich auch durch nur kurzzeitig auftretende Sporenwolken (Streifel 1987) z.B. bei Abbrucharbeiten (Rhame 1991, Opal et al. 1986) ausgelöst werden.

Über die Größe des Infektionsrisikos für Personen mit gestörter oder unterdrückter Immunabwehr im privaten häusliche Umfeld liegen keinerlei Hinweise in der Literatur vor. Insbesondere kann die Rolle der Abfallentsorgung zur Zeit nicht ausreichend sicher beurteilt werden. Unbestritten ist, daß bei der Sammlung und Entsorgung erhebliche Belastungen mit Pilzsporen, vor allem *auch A. fumigatus* auftreten können (Göttlich et al. 1994, Rüden et al. 1994, Staib 1991, 1992, 1993, Clark et al. 1983, Reiß 1995). Einige Untersuchungen geben Hinweise, daß nicht nur bei Arbeitern in Kompost- oder Sortierwerken Gesundheitsbeeinträchtigungen auftreten können, sondern auch im privaten Bereich (Vincken u. Roels 1984). Insbesondere mechanische Störungen von Abfallhaufen führen zu starken Sporenfreisetzungen (Millner et al. 1980), die über weite Strecken verweht werden können. Eine allergische bronchopulmonare Aspergillose wird bei einem Bewohner in der Nähe einer Deponie beschrieben (Melvin et al. 1989).

Bei unseren Untersuchungen konnten in allen Biotonnen teilweise erhebliche Belastungen mit Pilzsporen gemessen werden. Im Laufe der Untersuchung erwies es sich als notwendig, die Meßmethode zu standardisieren. Es zeigte sich nämlich, daß bei ungestörter Tonne die Pilzemissionen nicht signifikant über der Vorbelastung der Umgebungsluft lagen, und somit statische Messungen wenig geeignet sind, die wirkliche personenbezogene Belastung darzustellen. Es ist zu erwarten, daß Pilzsporenemissionen nicht kontinuierlich, sondern verstärkt bei Zerstörung der Sporangien durch Bewegen oder bei der Füllung freigesetzt werden. Aus diesem Grund wurde ein Prüfmodell entwickelt, das den Befüllungsvorgang durch den Betreiber simuliert und eine zeitproportionale Erfassung der Sporenbelastung ermöglicht. D.h. jeder Arbeitsprozeß kann einer distinkten Sporenemission zugeordnet werden. Nur unter diesen standardisierten Prüfbedingungen war es im Feld- und Laborversuch möglich, eine vergleichbare Belastungssimulation zu erreichen.

Während Strauch u. Philipp (1993) sowie Strauch (1992) beim Befüllen nur tendenzielle Keimerhöhungen oder keine Keimerhöhungen finden, stellen wir teilweise extrem starke kurzfristige Freisetzungen von Sporen fest. Die Größenordnung der von uns gemessenen kurzfristigen Spitzen entspricht in der Gesamtsporenzahl nahezu den Werten in Müllanlagen (Göttlich et al. 1993, Jager et al. 1994, Rüden et al. 1994). Die divergierenden Ergebnisse lassen sich zum Teil durch die unterschiedliche Methodiken erklären, ein weiterer Grund dürfte in den sehr stark variierenden Pilzbesiedlungen liegen, die durch eine Vielzahl von zum Teil unkontrollierbaren Faktoren gesteuert werden.

Bei unseren Untersuchungen kommt es beim Abwurf von Material in die Tonne zu teilweise explosionsartigen Freisetzungen von Pilzsporen mit einem 2. Maximum beim Schließen des Deckels. Nach ca. 2 Minuten normalisieren sich die Luftsporengehalte wieder auf Normalwerte. Eine Abhängigkeit vom Füllzustand und von der Standzeit ist nicht zu erkennen. Unter kontrollierten Bedingungen erreicht die Sporenemission nach ca. 6-8 Tagen ihr Maximum. Bei den Arten dominieren in der Anfangsphase *Rhizopus* und *Mucor*, während *Penicillium spec.* und *A. fumigatus* über die gesamte Standzeit in hohen Konzentrationen gefunden werden. Zwischen der Substratbelastung mit Pilzen und den Sporengehalten in der Luft bestehen keine erkennbaren Abhängigkeiten, so daß Substratmessungen für eine Expositionsabschätzung ungeeignet sind. Die Untersuchungen von Scherer (1993) kommen zum Ergebnis, daß die Substratbesiedlung nach einer Woche praktisch abgeschlossen ist. Dies deckt sich mit unseren Untersuchungen, aus den Ergebnissen von Scherer (1993) kann jedoch der Einfluß auf die Sporenemission bei verlängerter Standzeit nicht abgeleitet werden. Scherer (1993) findet keine Unterschiede in der Pilzbesiedlung bei verschiedenen Jahreszeiten während Reiß (1995) bei erhöhten Temperaturen eine verstärkte Pilzbesiedlung beschreibt. Die Fallzahlen bei Reiß sind jedoch für eine statistisch sichere Aussage zu klein. Bei unseren Untersuchungen ergaben sich Hinweise darauf, daß mit steigenden Luft- bzw. Tonnentemperaturen der Anteil von *A. fumigatus* deutlich zunimmt. Bei den Umtonnenversuchen produzierten beheizte Tonnen deutlich mehr Sporen als unbeheizte.

Einen deutlichen Einfluß auf die Sporenemission hat die Bauform der Tonne. Aus Tonnen, deren Wandungen gelocht waren, traten über längere Zeiträume und erheblich mehr Sporen in die Umgebungsluft aus als bei normalen Standardtonnen. Da diese Tonnen darüberhinaus für Insekten leicht zugänglich sind und erhebliche Geruchsemissionen produzieren, können sie für eine Bioabfallsammlung nicht empfohlen werden.

Der Einbau von Filterdeckeln erbrachte innerhalb dieser Studie statistisch nicht völlig eindeutige Ergebnisse in Hinblick auf die Produktion und Freisetzung von Pilzsporen. In einer Feldstudie, bei den Innenraumversuchen und bei den Umtonnenversuchen war eine tendenziell geringere Sporenfreisetzung bei Tonnen mit Filterdeckel zu beobachten, die aber auf Grund der starken Schwankungen nicht signifikant war. Im Laborexperiment erweisen sich die Sporenbildner des Biofilters als stark pilzhemmend, insbesondere gegenüber *Aspergillus fumigatus*. Dieser konnte auch bei den Umtonnenversuchen in den Tonnen mit Filter in deutlich niedrigeren Konzentrationen gemessen werden. Inwieweit beim normalen Betrieb einer mit Filter ausgerüsteten Biotonne eine Reduzierung der Sporenemission möglich ist, kann zur Zeit nicht abschließend beurteilt werden, da viele Faktoren nicht ausreichend berücksichtigt werden konnten (z.B. Luftfeuchtigkeit, Kondensatbildung, Aussaat von Sporenbildner aus dem Biofilter in das Substrat).

Es erscheint auf jeden Fall geboten, Maßnahmen und Verhaltensregeln zu entwickeln, die zu einer deutlichen Reduzierung der Sporenbelastung durch die Müllentsorgung führen. Auch Reiß (1995) weist deutlich auf das Pilzproblem bei Biotonnen hin und schlägt verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung vor, ohne allerdings die Effizienz einzelner Maßnahmen belegen zu können.

Unsere Untersuchungen haben auf jeden Fall deutlich gemacht, daß die Sammlung von Bioabfällen lokal und kurzfristig zu starken Belastungen durch Pilzsporen führen kann und bei Untersuchungen zu Streuquellen im Haushalt (RKI 1995) unverzichtbarer Bestandteil sein muß. Maximalwerte von 8×10^5 KBE/m³, auch wenn sie nur kurzzeitig auftreten, können nicht als unerheblich bezeichnet werden. Die Biotonne bzw. die Abfallsammlung in der Wohnung kann innerhalb des Haushaltes eine wesentliche Streuquelle für Pilzsporen darstellen und muß in Sanierungsüberlegungen und Konzepte miteinbezogen werden. Die Empfehlung des Bundesgesundheitsamtes für Immungeschwächte Personen, Biotonnen nicht zu benutzen, sollte auf jeden Fall solange weiter aufrecht erhalten werden, bis gesichertes Zahlenmaterial aus weiteren Untersuchungen vorliegt.

Die Einführung der Biotonne wird den gegenüber Emissionen aus kompostierbaren Abfällen exponierten Personenkreis sehr stark vergrößern und Personen mit guter und schlechter Immunlage, mit schweren und chronischen Grunderkrankungen, mit dauerhaften Therapieregimen und mit und ohne vorbestehende Allergien einschließen.

Aus der Arbeitsmedizin abgeleitete Richtwerte, die zum Teil außerordentlich hoch angesetzt sind (z.B. bei Actinomyceten, Kutzner u. Kempf 1994), lassen sich auf das häusliche Umfeld nicht ohne weiteres übertragen, da nicht allein die allergie = krankheitsauslösende Schwelle von Bedeutung ist, sondern schon die allergieunterhaltende bzw. einen Anfall auslösende Konzentration an Sporen. Diese dürfte um ein Vielfaches unter den arbeitsmedizinisch relevanten Gehalten liegen. Daß für Pilzsporen arbeitsmedizinische Richt- oder Grenzwerte zur Zeit nicht verfügbar sind (Rüden et al. 1994), weist auf die Komplexität des Problems und die großen Unsicherheiten bei einer Beurteilung hin.

Bei der Beurteilung der intramuralen Schimmelpilz-Sporenkonzentration wird ein „Normalwert“ von 100 KBE/m³ (Senkpiel u. Ohgke 1992) bzw. 500 KBE/m³ (Reynolds et al. 1990) diskutiert und teilweise aufwendige Sanierungsmaßnahmen beim Überschreiten dieser Werte empfohlen (Möse et al. 1994). Es fehlen jedoch detaillierte Untersuchungen, unter welchen Bedingungen solche Werte anzusetzen sind. Unsere Ergebnisse zeigen, daß bei Expositionsabschätzungen der Belastung durch Pilzsporen nicht von einem statischen Modell ausgegangen werden darf, sondern daß erst eine mechanische Störung die Freisetzung der Sporen provoziert. So muß auch für intramurale Messungen ein dynamisches Expositionsmodell entwickelt werden, denn auch hier führen statische Messungen nur der Raumluft oft zu einer völligen Unterschätzung der wirklichen Belastung und zu einer unbefriedigenden Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse.

Der Anteil der Sammlung von Bioabfällen bzw. der Sammlung von Müll allgemein an der Grundbelastung des Menschen durch Pilzsporen kann zur Zeit überhaupt noch nicht sicher abgeschätzt werden. Hier fehlen zeitgleiche vergleichende Messungen, welche die Gesamtheit der Streuquellen im Haushalt ebenso berücksichtigen wie den Gesundheitszustand der im Haushalt lebenden Personen.

Eine Reihe von Fragen konnten innerhalb dieser Untersuchung nicht beantwortet werden, andere wurden durch diese Studie ausgelöst. Diese im folgenden aufgelisteten Fragen bedürfen einer weiteren wissenschaftlichen Klärung dringend und sind nur durch ein integratives und synchrones Untersuchungsprojekt zu lösen:

Welchen Anteil hat die gesamte Abfallentsorgung (Restmüll, Biomüll, Wertstoffe) an der Sporenemission im privaten Haushalt?

Wie unterscheidet sich die Biomüllentsorgung von der privaten Kompostierung? Wo sind die größeren Umwelt- und Gesundheitsprobleme?

Welche umweltmedizinische Bedeutung hat die Sporenfreisetzung bei der Abfallsammlung und Abfallentsorgung bei Risikogruppen? Welche Bedeutung besitzt das häusliche Umfeld allgemein? Welche Verhaltensregeln müssen aufgestellt werden, insbesondere für Risikogruppen? Wie wirkt sich z.B. eine Vorkolonisierung, etwa vor einer Transplantation, auf das Infektionsgeschehen aus?

Welche anderen Faktoren außer den Pilzsporen müssen bei einer gesundheitlichen Beurteilung mitberücksichtigt werden (z.B. Endotoxinbildung, Actinomyceten)?

Welche Maßnahmen im Haushalt führen zu einer gesicherten Reduzierung der Sporenfreisetzung? Wie lassen sich Pilzstreuquellen vermeiden? Welche Verbesserungen lassen sich bei der Abfallentsorgung durch technische Maßnahmen oder durch Verhaltensänderungen bei den Bürgern erreichen? Führen die Maßnahmen und Verhaltensänderungen zu reproduzierbaren Ergebnissen, so daß sie allgemein empfohlen werden können?

5 Resümee:

Unsere Untersuchungen belegen, daß der Ersatz des normalen Deckels bei Standardmülltonnen durch einen speziell entwickelten, dicht schließenden Deckel mit Biofilter eine erhebliche Verbesserung der Bioabfallentsorgung in Hinblick auf eine Reduzierung der Geruchsemissionen und Madenentwicklungen bewirkt. Dies wird durch die Mitteilungen der Betreiber untermauert. Der Biofilter kann für den Einsatz bei der Sammlung kompostierbarer Abfälle empfohlen werden.

In verschiedenen Versuchsreihen unter kontrollierten Bedingungen konnte eine deutliche Tendenz zur Verringerung der Sporenemissionen aus Biotonnen mit Biofilter gezeigt werden. Diese Tendenz konnte im Feldversuch wegen der sehr unterschiedlichen Befüllung und der variablen äußeren Faktoren nicht statistisch abgesichert werden. Es sind weitere Untersuchungen in diesem Bereich unter Einschluß des Biofilters erforderlich.

In Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen wurde beim Fachgespräch im UBA (Berlin) am 7.11.1995 deutlich, daß „Belüftete Behälter“ (mit Löchern in Wandung oder Deckel) aufgrund des hohen Keimaustrages abzulehnen sind.

Eine Übertragung von Krankheitserregern durch Fliegen als Pendler zwischen Wohnbereich und Bioabfall wird durch das neue Biofiltersystem ausgeschlossen.

Da auch bei verlängerten Standzeiten bei Biotonnen mit Biofilter keine nennenswerten Belästigungen auftraten, kann bei Einsatz dieses Deckelsystems das Abfuhrintervall von 7 Tagen auf 14 Tage verlängert werden, ohne daß Akzeptanzverluste bei den Bürgern befürchtet werden müssen. Auch aus hygienischer Sicht bestehen hierzu nach derzeitigem Erkenntnisstand keine Bedenken.

Alle vorstehenden Untersuchungen und Ergebnisse sowie die Fachgespräche führten zu der jetzt in Serie gehenden Ausführung des Biofilters mit einem für lange Standzeiten optimierten Filtermaterial.

Bezeichnend für die Notwendigkeit und Akzeptanz einer derartigen Entwicklung war das unerwartet starke Echo in den Medien, das der öffentlichen Vorstellung im Sommer 1995 folgte.

6 Literatur:

- Abter, E.I., Lutwick, S.M., Chapnick, E.K., Chittivelu, S., Lutwick, L.I., Sabado, M., u. Jacobowitz, I.: *Mucormycosis of a median sternotomy wound.* Cardiovasc-Surg. 2, 474-7 (1994)
- Arning, M. u. Aul, C.: *Prophylaxis against mycoses in granulocytopenic patients.* Mycoses 37, 70-76 (1994)
- Arnou, P.M., Sadigh, M., Costas, C., Weil, D. u. Chudy, R.: *Endemic and epidemic aspergillosis associated with in hospital replication of Aspergillus organisms.* Journal of Infectious Diseases 164, 998-1002 (1991)
- Barnes, R.A. u. Rogers, T.R.: *Control of an outbreak of nosocomial aspergillosis by laminar air-flow isolation.* Journal of Hospital Infection 14, 89-94 (1989)
- BGA: *Gefahr durch die Bio-Tonne?* Pressemitteilung des BGA vom 13.November 1991, BGA-Pressedienst 50/1991 (1991)
- Bocquet, P. u. Brücker, G.: *Lutte intégrée contre l'aspergillose au niveau d'un hôpital ou d'un groupement hospitalier.* Pathologie Biologie 42, 730-736 (1994)
- Böhm, R.: *Hygieneaspekte bei der getrennten Sammlung sowie Handhabung von Bioabfällen.* In: Bioabfall-Management '93, Rheinisches Institut für Ökologie Köln, 98-110 (1993)
- Bushelman, S.J., Callen, J.P., Roth, D.N. u. Cohen, L.M.: *Disseminated Fusarium solani infection.* Journal of the American Academy of Dermatology; 32, 346-351 (1995)
- Caballero, T; Ferrer, A., Diazpena, JM., Garciaara, C. u. Pascual, C.: *Childhood allergic bronchopulmonary aspergillosis.* Journal of Allergy and Clinical Immunology 95, 1044-1047 (1995)
- Clark, C.S., Rylander, R. u. Larsson, L.: *Levels of gram-negative bacteria, Aspergillus fumigatus, dust, and endotoxin at compost plants.* Appl.Environm.Microbiology 45, 1501-1505 (1983)
- Collins, L.A., Samore, M.H., Roberts, M.S., Luzzati, R. u. Jenkins, R.L.: *Risk factors for invasive fungal infections complicating orthotopic liver transplantation.* J-Infect-Dis. 170, 644-52 (1994)
- Debock, R.: *Epidemiology of invasive fungal infections in bone marrow transplantation.* Bone Marrow Transplantation; 14, S1-S2 (1994)
- Fergusson, R.J., Milne, L.J.R., Crompton, G.K.: *Penicillium allergic alveolitis: faulty installation of central heating.* Thorax 39, 294-298 (1984)
- Flynn, P.M., Shenep, J.L., Crawford, R. u. Hughes, W.T.: *Use of abdominal computed tomography for identifying disseminated fungal infection in pediatric cancer patients.* Clinical Infectious Diseases 20, 964-970 (1995)
- Funai, N., Shimamoto, Y., Tokunaga, O., Sugihara, W. u. Yamaguchi, M.: *Ten-year survey of incidence of infection as a cause of death in hematologic malignancies: Study of 90 autopsied cases.* Acta Haematologica 93, 25-30 (1995)
- Ganassini, A., u. Cazzadori, A.: *Invasive pulmonary aspergillosis complicating allergic bronchopulmonary aspergillosis.* Respiratory Medicine 89, 143-145 (1995)
- Gaube, J., Jager, E., Jager, J. u. Rüden, H.: *Mikrobiologische und olfaktometrische Untersuchungen von Abfällen bei der getrennten Sammlung von Haushalts- und Naßabfällen.* Forum Städtehygiene 38, 273-276 (1987)

- Girardin, H., Sarfati, J., Traore, F., Camet, J.D., Derouin, F.: *Molecular epidemiology of nosocomial invasive aspergillosis*.
J-Clin-Microbiol.; 32, 684-90 (1994)
- Göttlich, E., Engesser, K.H. u. Bardtke, D.: *Emission von Pilzsporen in Müllverarbeitungsanlagen*.
Bericht des 5.Hohenheimer Seminars: Nachweis und Bewertung von Keimemissionen bei der Entsorgung von kommunalen Abfällen sowie spezielle Hygieneprobleme der Bioabfallkompostierung, Stuttgart-Hohenheim 5.-6-Oktober 1994, 64-75 (1994)
- Greenberg, G.: *Flies and Disease. Vol.II: Biology and disease transmission*.
Princeton University Press, Princeton (1979)
- Grüner, C.: *Arbeitsschutz in Biomüllkompostieranlagen*.
Forum-Städtehygiene 45, 356-359 (1994)
- Guarro, J. u. Gene, J.: *Opportunistic fusarial infections in humans*.
European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases 14; 741-754 (1995)
- Guillemain, R., Lavarde, V., Amrein, C., Chevalier, P. u. Guinvarch, A.: *Invasive aspergillosis after transplantation*.
Transplantation Proceedings 27, 1307-1309 (1995)
- Guiot, H.F., Fibbe, W.E. u. van-'t-Wout, J.W.: *Risk factors for fungal infection in patients with malignant hematologic disorders: implications for empirical therapy and prophylaxis*.
Clin.Infect.Dis. 18, 525-532 (1994)
- Hadley, S., Samore, M.H., Lewis, W.D., Jenkins, R.L. u. Karchmer, A.W.: *Major infectious complications after orthotopic liver transplantation and comparison of outcomes in patients receiving cyclosporine or FK506 as primary immunosuppression*.
Transplantation; 59, 851-859 (1995)
- Harley, W.B., Dummer, J.S., Anderson, T.L. u. Goodman, S.: *Malignant external otitis due to Aspergillus flavus with fulminant dissemination to the lungs*.
Clinical Infectious Diseases; 20, 1052-1054 (1995)
- Hibberd, P.L. u. Rubin, R.H.: *Renal transplantation and related infections*.
Semin-Respir-Infect. 8, 216-24 (1993)
- Iwen, P.C., Davis, J.C., Reed, E.C., Winfield, B.A u. Hinrichs, S.H.: *Airborne fungal spore monitoring in a protective environment during hospital construction, and correlation with an outbreak of invasive aspergillosis*.
Infect-Control-Hosp-Epidemiol. 15, 303-306 (1994)
- Jäger, E., Rüden, H. u. Zeschmar-Lahl, B.: *Kompostierungsanlagen. 2. Mitteilung: Aerogene Keimbelastung an verschiedenen Arbeitsbereichen von Kompostierungsanlagen*.
Zbl.Hyg. 196, 367-379 (1994)
- Jäger, E., Gaube, J. u. Rüden, H.: *Mikrobiologische Aspekte bei Sammlung, Lagerung und Transport von Haushalts- und Haushaltsnaßabfällen*.
Abfallwirtschaftsjournal 3, 188-193 (1991)
- Jandrlic, M., Kalenic, S., Labar, B., Nemet, D u. Jakicrazumovic, J.: *An autopsy study of systemic fungal infections in patients with hematologic malignancies*.
European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases 14, 768-774 (1995)
- Johnson, A.S., Ranson, M., Scarffe, J.H., Morgenstern, G.R. u. Shaw, A.J.: *Cutaneous infection with Rhizopus oryzae and Aspergillus niger following bone marrow transplantation*.
J-Hosp-Infect. 25, 293-6 (1993)
- Kac, G., Roux, P., Poirot, J.L., Meyohas, M.C., Cadranet, J. u. Chouaid, C.: *Aspergillus and aspergillosis: A retrospective study in two Paris hospitals*.
Journal de Mycologie Medicale 5, 75-85 (1995)

- Kauffman, H.F., Tomee, J.F.C., Vanderwerf, T.S. u. Demonchy, J.G.R.: *Review of fungus-induced asthmatic reactions.*
American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 151, 2109-2116 (1995)
- Khan, Z.U., Gopalakrishnan, G., Alawadi, K., Gupta, R.K. u. Moussa, S.A.: *Renal aspergilloma due to Aspergillus flavus.*
Clinical Infectious Diseases 21, 210-212 (1995)
- Koll, B.S., u. Brown, A.E.: *The changing epidemiology of infections at cancer hospitals.*
Clin-Infect-Dis. 17 Suppl 2, 322-328 (1993)
- Kramer, M.N., Kurup, V.P. u. Fink, J.N.: *Allergic bronchopulmonary aspergillosis from a contaminated dum site.*
American reviews of respiratory diseases 140, 1086-1088 (1989)
- Kutzner, H.J. u. Jäger, T.: *Kompostierung aus mikrobiologischer Sicht - ein Essay.*
Bericht des 5.Hohenheimer Seminars: Nachweis und Bewertung von Keimemissionen bei der Entsorgung von kommunalen Abfällen sowie spezielle Hygieneprobleme der Bioabfallkompostierung, Stuttgart-Hohenheim 5.-6-Oktober 1994, 281-304 (1994)
- Kutzner, H.J. u. Kempf, A.: *Emission von Actinomyceten-Sporen in Kompostwerken und anderen Müll-verarbeitenden Anlagen.*
Bericht des 5.Hohenheimer Seminars: Nachweis und Bewertung von Keimemissionen bei der Entsorgung von kommunalen Abfällen sowie spezielle Hygieneprobleme der Bioabfallkompostierung, Stuttgart-Hohenheim 5.-6-Oktober 1994, 76-99 (1994)
- Lajonchere, J.P. u. Feuilhade de Chauvin, M.: *Contamination aspergillaire: evaluation des mesures de prevention et surveillance de l'environnement.*
Pathologie Biologie 42, 718-729 (1994)
- Levy, E. u. Bia, M.J.: *Isolated renal mucormycosis: Case report and review.*
Journal of the American Society of Nephrology 5, 2014-2019 (1995)
- Lonneux, M., Nolard, N., Philippart, I., Henkinbrant, A. u. Hamels, J.: *A case of lymphocytic pneumonitis, myositis, and arthritis associated with exposure to Aspergillus niger.*
Journal of Allergy and Clinical Immunology 95, 1047-1049 (1995)
- Lukassovwitz, I.: *Hygienefragen beim Umgang mit (Bio-)Abfall.*
Bundesgesundhbl. 8, 413-414 (1992)
- Maguire, C.P., Hayes, J.P., Hayes, M., Masterson, J. u. Fitzgerald, M.X.: *Three cases of pulmonary aspergilloma in adult patients with cystic fibrosis.*
Thorax 50, 805-806 (1995)
- McCann, J.: *Deadly fungal infections spreading in cancer patients.*
Journal of the National Cancer Institute 87, 1434-1436 (1995)
- Millner, P.D., Basset, D.A. u. Marsh, P.B.: *Dispersal of Aspergillus fumigatus from sewage sludge compost piles subjected to mechanical agitation in open air.*
Applied and Environmental Microbiology 39, 1000-1009 (1980)
- Mizuki, M., Chikuba, K. u. Tanaka, K.: *A case of chronic necrotizing pulmonary aspergillosis due to Aspergillus nidulans.*
Mycopathologia; 128, 75-79 (1994)
- Möse, J.R., Miorini, T. u. Schmickl, t.: *Zur Problematik der Schimmelpilz-Sporenkonzentration der Luft in Krankenhäusern.*
Krh.-Hyg.+Inf.verh. 16, 162-167 (1994)
- Morrison, V.A., Haake, R.J. u. Weisdorf, D.J.: *Non-Candida fungal infections after bone marrow transplantation: risk factors and outcome.*
Am-J-Med. 96, 497-503 (1994)

- Nersting, L., Malmros, P., Sigsgaard, T. u. Petersen, C.: *Biological health risk associated with resource recovery, sorting of recycle waste and composting.*
Grana 39, 344-457 (1991)
- Nielsen, H., Würtz, H. u. Holst, E.: *Endotoxin and microorganisms in percolate derived from compostable household waste.*
A.J.Industr. Med. 25, 121-122 (1994)
- Oberfeld, G.: *Hygienerichtlinie für die Eigenkompostierung biogener Abfälle.*
Amt der Salzburger Landesregierung, Abteilung 9- Gesundheitswesen; Ref. 9/12 - Medizinischer Umweltschutz, Salzburg (1994)
- Opal, S.M., Asp, A.A., Cannady, P.B., Morse, P.L., Burton, L.J., u. Hammer, P.G.: *Efficacy of infection control measures during a nosocomial outbreak of disseminated aspergillosis associated with hospital construction.*
Journal of Infectious Diseases 153, 634-637 (1986)
- Reiß, J.: *Moulds in containers with biological wastes.*
Microbiol.Res. 150, 93-98 (1995)
- Reynolds, S.J., Streifel, A.J. u. McJilton, C.E.: *Elevated airborne concentrations of fungi in residential and office environments.*
Am.Ind.Hyg.Assoc. 51, 601-604 (1990)
- Rhame, F.S.: *Prevention of nosocomial aspergillosis.*
Journal of Hospital Infection 18, 466-472 (1991)
- RKI (Robert Koch-Institut): *Robert Koch-Institut empfiehlt, Schimmelpilzstreuquellen im Haushalt zu vermeiden.*
Pressemitteilung 19/95 des RKI vom 19.7.1995
- Risse, F., Glasmacher, A., Gorschlüter, M. u. Metzger, J.: *Invasive Aspergillus-Infektionen in der hämatologischen Onkologie - eine Einführung.*
Hyg.Med. 20, 543-548 (1995)
- Ruf, J.: *Geruchsemissionen aus Kompostier- und Vergärungsanlagen.*
Bericht des 5.Hohenheimer Seminars: Nachweis und Bewertung von Keimemissionen bei der Entsorgung von kommunalen Abfällen sowie spezielle Hygieneprobleme der Bioabfallkompostierung, Stuttgart-Hohenheim 5.-6-Oktober 1994, 169-193 (1994)
- Rüden, H., Jager, E. und Zeschmar-Lahl, B.: *Hygienische Aspekte der Bioabfallkompostierung aus humanmedizinischer Sicht.*
Bericht des 5.Hohenheimer Seminars: Nachweis und Bewertung von Keimemissionen bei der Entsorgung von kommunalen Abfällen sowie spezielle Hygieneprobleme der Bioabfallkompostierung, Stuttgart-Hohenheim 5.-6-Oktober 1994, 311-327 (1994)
- Saah, D., Drakos, PE., Elidan, J., Braverman, I., Or-R. u. Nagler, A.: *Rhinocerebral aspergillosis in patients undergoing bone marrow transplantation.*
Ann-Otol-Rhinol-Laryngol. 103, 306-310 (1994)
- Scalzini, A., Barni, C., Stellini, R., Sueri, L.: *Fatal invasive aspergillosis during cyclosporine and steroids treatment for Crohn's disease.*
Digestive Diseases and Sciences 40, 528 (1995)
- Senkpiel, K. u. Ohgke, H.: *Beurteilung der „Schimmelpilz“-Sporenkonzentration in der Innenraumluft und ihre gesundheitlichen Auswirkungen.*
Gesundheits-Ingenieur 113, 42-5-46 (1992)
- Scherer, P.A.: *Mikrobiologische Untersuchungen von Restmüll des Landkreises Oldenburg mit Hygienegutachten und Literaturrecherche.*
In: Untersuchungen zum 2- und 4wöchentlichen Restmüllabfuhrhythmus im Landkreis Oldenburg. Fachhochschule Münster, Eigenverlag Münster, 1994

- Schirz, S.: *Untersuchungen zur Geruchsentwicklung*
In: Untersuchungen zum 2- und 4wöchentlichen Restmüllabfuhrhythmus im Landkreis Oldenburg. Fachhochschule Münster, Eigenverlag Münster, 1994
- Solley, G.O. u. Hyatt, R.E.: *Hypersensitivity pneumonitis induced by Penicillium species.*
Journal of Allergy and Clinical Immunology 65, 65-70 (1980)
- Staib, F.: *Pilzwachstum, Indikator biologisch inaktiven Maerials.* Bundesgesundhbl.5, 197 (1991)
- Staib, F.: *Bioabfall aus medizinisch-mykologischer Sicht.*
Bundesgesundhbl. 35, 21-26 (1992)
- Staib, F.: *Pilzsporen aus Bioabfall - ein Gesundheitsrisiko im Wohnbereich.*
Unterricht Biologie Bd 17 (182), 48-49 (1993)
- Stein, W.: *Zoologisch-hygienische Probleme bei verlängerten Standzeiten von Behältern mit kompostierbaren Abfällen.*
Forum Städtehygiene 40, 151-152 (1991)
- Stein, W.: Die Bedeutung der Fliegen in der Lebensmittelhygiene.
Z.Lebensm.Technol.Verfahrenstechnik 28, 177-180 (1977)
- Strauch, D.: *Vorkommen pathogener Mikroorganismen im Bioabfall und Möglichkeiten ihrer Eliminierung.*
Tagungsband Symposium des Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit „Perspektiven der biologischen Abfallbehandlung“ vom 6.-7.Juli 1992 in Saarbrücken, 86-104 (1992)
- Strauch, D. u. Philipp, W.: *Hygieneproblematik bei der Bioabfallkompostierung.*
Entsorgungspraxis 9, 36-43 (1993)
- Strauch, D.: *Hygieneproblematik bei der Kompostierung.* In: BMFT-Statusseminar: „Neue Techniken der Kompostierung“, Tagungsband, 22.-23.November 1993, 169-190 (1993)
- Streib, R., Herbold, K. u. Botzenhard, K.: *Keimzahlen ausgewählter Mikroorganismen in ungetrenntem Hausmüll, Biomüll und Naßmüll bei unterschiedlichen Standzeiten und Außentemperaturen.*
Forum Städtehygiene 40, 290-292 (1989)
- Streifel, A.J., Stevens, P.P. u. Rhame, F.S.: *In hospital source of airborne penicillium species spores.*
Journal of Clinical Microbiology 25, 1-4 (1987)
- Tiroke, A., Herrmann, G., Barth, J. Sievers, H.H., Haverich, A.: *Fatal aspergillus sepsis after orthotopic heart transplantation.*
Deutsche Medizinische Wochenschrift 120, 912-916 (1995)
- Vincken, W. u. Proels, P.: *Hypersensitivity pneumonitis due to Aspergillus fumigatus in compost.*
Thorax 39, 74-75 (1984)
- Yoo, J.H.; Shin W.S., Kim Y.R., Kang, M.W., Kim, D.W. Hahn, C.W. Park ,C.W.: *Esophageal aspergillosis in a patient with acute leukemia.*
Leukemia 9, 1599-1600 (1995)

Fotoverzeichnis

<i>Foto 1: Deckel mit Biofilter (Modell I) und umlaufender Dichtung (Aufsicht)</i>	4
<i>Foto 2: Deckel mit Biofilter(Modell I) und umlaufender Dichtung (Sicht von unten)</i>	4
<i>Foto 3: Deckel mit Biofilter(Modell I), Filter von innen</i>	5
<i>Foto 4: Mit Biofilter (Modell I) ausgerüstete Biotonnendeckel</i>	5
<i>Foto 5: Deckel mit Biofilter (Modell II) und umlaufender Dichtung, Ansicht von unten</i>	6
<i>Foto 6: Deckel mit Biofilter (Modell II), Gehäuseteile ohne Füllung</i>	6
<i>Foto 7: Außenversuch Biologic, Behälteranordnung</i>	8
<i>Foto 8: Außenversuch Biologic, Behälteranordnung</i>	9
<i>Foto 9: Umtonnenversuch, Mischung des Biomülls vor der standardisierten Befüllung</i>	10
<i>Foto 10: Umtonnenversuch, Biotonne in Umtonne zur standardisierten Erfassung von Emissionen</i>	10
<i>Foto 11: Umtonnenversuch, belüftete Tonne</i>	11
<i>Foto 12: Umtonnenversuch, Versuchsaufbau</i>	11
<i>Foto 13: Außenversuch Biologic, herkömmliche Biotonne, 2 Tage nach der Befüllung</i>	39
<i>Foto 14: Außenversuch Biologic, herkömmliche Biotonne, 7 Tage nach der Befüllung</i>	40
<i>Foto 15: Außenversuch Biologic, herkömmliche Biotonne, 10 Tage nach der Befüllung</i>	40
<i>Foto 16: Außenversuch Biologic, herkömmliche Biotonne, 14 Tage nach der Befüllung</i>	41
<i>Foto 17: Außenversuch Biologic, herkömmliche Biotonne, 19 Tage nach der Befüllung</i>	41
<i>Foto 18: Außenversuch Biologic, Biotonne mit Biofilter, 7 Tage nach der Befüllung</i>	42
<i>Foto 19: Außenversuch Biologic, Biotonne mit Biofilter, 10 Tage nach der Befüllung</i>	42
<i>Foto 20: Außenversuch Biologic, Biotonne mit Biofilter, 19 Tage nach der Befüllung</i>	43
<i>Foto 21: Außenversuch Biologic, identisch befüllte Biotonnen 12 Tage nach Erstbefüllung. Links mit Biofilter (Vorse- rienmodell), rechts herkömmliche Biotonne mit seitlichen Belüftungsöffnungen am Deckel.</i>	43
<i>Foto 22: Hemmung von Aspergillus niger durch Bacillus ssp.</i>	67
<i>Foto 23: Hemmung von Aspergillus sp. durch Bacillus ssp. (Ausschnitt)</i>	67
<i>Foto 24: Hemmung von Aspergillus niger durch Bacillus ssp., Stereolupe, 20-fache Vergrößerung</i>	68
<i>Foto 25: Ungehemmtes Wachstum von Aspergillus niger, 160 -fach, Durchlicht</i>	68
<i>Foto 26: Hemmung von Aspergillus niger durch Bacillus ssp., 160 -fach, Durchlicht</i>	69
<i>Foto 27: Hemmung von Aspergillus fumigatus durch Bacillus ssp.</i>	69
<i>Foto 28: Hemmung von Aspergillus fumigatus durch Bacillus ssp., Ausschnitt</i>	70
<i>Foto 29: Hemmung von verschiedenen Schimmelpilzen durch Bacillus ssp.</i>	70
<i>Foto 30: Modell des neuartigen Deckels mit integriertem Biofilter in Aufsicht</i>	71
<i>Foto 31: Modell des neuartigen Deckels mit integriertem Biofilter, Sicht von vorne</i>	72
<i>Foto 32: Unterteiltes Filtergehäuse, CAD Modell des neuartigen Deckels mit integriertem Biofilter in Aufsicht ohne Filterdeckel</i>	72
<i>Foto 33: CAD Modell des neuartigen Deckels mit integriertem Biofilter, mit Dichtung (weiß) unter dem Filterdeckel</i>	73