Tierärztliche Hochschule Hannover

Kompostierung von Putenkadavern unter Seuchenbedingungen in Niedersachsen

INAUGURAL – DISSERTATION
zur Erlangung des Grades einer Doktorin
der Veterinärmedizin
- Doctor medicinae veterinariae -
(Dr. med. vet.)

vorgelegt von
Inga Schwarzlose
Norden

Hannover 2012

Wissenschaftliche Betreuung:

1. PD Dr. Martin Runge,
   Niedersächsisches Landesamt für
   Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
   (LAVES)

2. Prof. Dr. Gerald-F. Gerlach,
   Gesellschaft für innovative Veterinärdiagnostik
   (IVD) GmbH

3. Prof. Dr. Günter Thalmann,
   Niedersächsisches Landesamt für
   Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
   (LAVES)

1. Gutachter: PD Dr. Martin Runge
2. Gutachter: Prof. Dr. Dr. h. c. Jörg Hartung

Tag der mündlichen Prüfung: 15. November 2012

Die vorliegende Arbeit wurde durch das Niedersächsische Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) finanziert.

Meinen Eltern

Christine und Rainer Schwarzlose

in Liebe und Dankbarkeit

Folgende Teile der vorliegenden Arbeit wurden bereits publiziert oder eingereicht:

SCHWARZLOSE, I., U. GERDES, G.-F. GERLACH, M. RUNGE, G. THALMANN, A. NÖCKLER, D. KLARMANN, K.-P. BEHR, U. NEUMANN, J. SEEDORF, J. HARTUNG u. C. JESKE (2008):
Kompostierung von Geflügeltierkörpern als alternative Beseitigungsmöglichkeit im Tierseuchenkrisenfall: erste Ergebnisse.
Dtsch. tierärztl. Wochenschrift 115, 150-157

SCHWARZLOSE, I., U. GERDES, G.-F. GERLACH, M. RUNGE, G. THALMANN, A. NÖCKLER, D. KLARMANN, K.-P. BEHR, U. NEUMANN, J. SEEDORF, J. HARTUNG u. C. JESKE (2008):
Kompostierung (Puten) als alternative Beseitigungsmöglichkeit im Tierseuchenkrisenfall: Eigene Untersuchungen.
In: Referatesammlung zum 74. Fachgespräch der Fachgruppe „Geflügelkrankheiten“ der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V., Hannover, 15. – 16. Mai 2008,S. 47-48

Inhaltverzeichnis

1 Einleitung 15

2 Literaturübersicht 16

2.1 Kompostierung von Geflügelkadavern 16

2.1.1 Definition des Kompostierungsprozesses 16

2.1.2 Phasen der Kompostierung 17

2.1.3 Faktoren der Kompostierung 18

2.1.3.1 Kohlenstoff(C)-zu-Stickstoff(N)-Verhältnis (Nährstoffbilanz) 18

2.1.3.2 Feuchtigkeitsgehalt und Porosität 20

2.1.3.3 Temperatur (Wärmeretention) 21

2.1.3.4 Regulierende Kompostierungszusätze (Rohmaterialien) 21

2.1.4 Methoden der Kompostierung 23

2.1.5 Inaktivierung von Pathogenen während der Kompostierung (Biosicherheit) 26

2.1.5.1 Mechanismen und Faktoren 26

2.1.5.2 Inaktivierung gefügelpathogener viraler Erreger 29

2.1.5.3 Inaktivierung geflügelpathogener bakterieller Erreger 32

2.1.5.4 Vektoren 33

2.1.5.5 Biosicherheit beim Mietenaufbau im Stall 34

3 Material und Methoden 35

3.1 Bestimmung der Dichte von Puten 35

3.2 Erster Kompostierungsversuch 36

3.2.1 Zeitraum und Ziel 36

3.2.2 Materialien 36

3.2.3 Mietenaufbau 38

3.2.4 Umschichtung der Miete 40

3.3 Tierversuch „Indikatortiere“ 40

3.4 Zweiter Kompostierungsversuch 42

3.4.1 Zeitraum und Ziel 42

3.4.2 Materialien 42

3.4.3 Mietenaufbau 44

3.4.4 Bewässerung der Miete 47

3.5 Untersuchungen und Messungen im Verlauf der Kompostierungsversuche 48
3.5.1 Untersuchungen der Miete 48
3.5.1.1 Probenentnahme (allgemein)..... 48
3.5.1.2 Temperaturen in der Miete 50
3.5.2 Umgebungsuntersuchungen 52
3.5.2.1 Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmessungen..... 52
3.5.2.2 Entwesung 52
3.5.2.3 Arthropoden-Monitoring 55
3.5.2.4 Messungen zum Arbeitsschutz..... 56
3.6 Entsorgung des Kompostmaterials 57
4 Ergebnisse 58
4.1 Erster Kompostierungsversuch..... 58
4.1.1 Mietenaufbau und Mietenabbau..... 58
4.1.2 Temperaturmessungen in der Miete 60
4.1.2.1 Temperaturen in der zuerst aufgebauten Mietenhälfte (linker Teil) 60
4.1.2.2 Temperaturen in der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte (rechter Teil) 62
4.1.3 Sonstige Parameter in der Miete 65
4.1.3.1 Feuchtigkeitsgehalt des Mietenmaterials 65
4.1.3.2 Zersetzung der Putenkadaver 65
4.1.3.3 Mikrobiologische Untersuchungen 66
4.1.4 Ergebnisse der Umgebungsuntersuchungen..... 67
4.1.4.1 Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit 67
4.1.4.2 Entwesung 67
4.1.4.3 Arthropoden-Monitoring 68
4.1.4.4 Messungen zum Arbeitsschutz..... 69
4.2 Tierversuch 73
4.3 Zweiter Kompostierungsversuch..... 73
4.3.1 Mietenaufbau und Mietenabbau..... 73
4.3.2 Temperaturmessungen in der Miete 76
4.3.2.1 Temperaturen in der mit Folien und Stroh abgedeckten Mietenhälfte..... 76
4.3.2.2 Temperaturen in der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte 77
4.3.3 Sonstige Parameter in der Miete 81
4.3.3.1 Feuchtigkeitsgehalt des Mietenmaterials 81

4.3.3.2 Zersetzung der Putenkadaver ... 81
4.3.3.3 Mikrobiologische Untersuchungen ... 82
4.3.4 Ergebnisse der Umgebungsuntersuchungen ... 83
4.3.4.1 Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit ... 83
4.3.4.2 Entwesung ... 83
4.3.4.3 Arthropoden-Monitoring ... 84
4.3.4.4 Messungen zum Arbeitsschutz ... 86
5 Diskussion ... 93
5.1 Übergreifende Diskussion ... 93
5.2 Schlussfolgerungen ... 113
6 Zusammenfassung ... 116
7 Summary ... 119
8 Literaturverzeichnis ... 121
9 Anhang ... 139
9.1 Methodenbeschreibungen ... 139
9.1.1 Tierversuch „Indikatortiere“ (Az.: 06/1188): Durchführung, Probenentnahme und Probenuntersuchungen ... 139
9.1.2 Mikrobiologische Untersuchungen des Kompostmaterials (Lebendkeimzahl aerober Bakterien, Enterobacteriaceae, Enterokokken) ... 154
9.1.3 Untersuchung des Feuchtigkeitsgehalts im Mietenmaterial ... 157
9.1.4 Messungen zum Arbeitsschutz ... 159
9.2 Berechnungsformeln ... 170
9.2.1 Volumenberechnung der Miete ... 170
9.2.2 Materialberechnungen für den zweiten Kompostierungsversuch (Strohballen, Folien) ... 170
9.2.3 Berechnung der Wassermenge zur Bewässerung der Miete ... 175
9.3 Tabellen ... 177
9.4 Abbildungen ... 216
9.5 Abbildungsverzeichnis ... 217
9.6 Tabellenverzeichnis ... 219

Abkürzungsverzeichnis

AI	aviäre Influenza
AE	aviäre Encephalomyelitis
AF	Allantoisflüssigkeit
AGI	All Glas Impinger
AGW	Arbeitsplatzgrenzwert
Aqua dem.	Aqua demineralisata
Aqua dest.	Aqua destillata
CO_2	Kohlendioxid
DNA	Desoxyribonukleinsäure (engl. desoxyribonucleic acid)
dNTP	Desoxyribonukleosidtriphosphate
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
EU	Endotoxin-Unit
FFP	Filtering Face Piece (englisch)
GF	Glasfaser
H	Hämagglutinin
HA	Hämagglutination
HAH	Hämagglutinationshemmung
HAU	hämagglutinierende Einheit
HD-	Hand-
HPAI	hochpathogene aviäre Influenza
H_2S	Schwefelwasserstoff
IB	Infektiöse Bursitis
KBE	koloniebildende Einheiten
LAVES	Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
LKZ	Lebendkeimzahl
LPAI	niedrigpathogene aviäre Influenza
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
N	Neuraminidase

NaCl	Natriumchlorid
ND	Newcastle Disease
NH_3	Ammoniak
PBS	phosphatgepufferte Salzlösung (engl. phosphate buffered saline)
PC	Polycarbonat
PCR	Polymerase-Kettenreaktion (engl. polymerase chain reaction)
ppm	parts per million
RNA	Ribonukleinsäure (engl. ribonucleic acid)
RT	reverse Transkriptase
spec.	Species
SPF	spezifisch pathogenfrei (engl. specific pathogen free)
TBE-Puffer	Tris-(hydroxymethyl)-aminomethan-Borat-EDTA-Puffer
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
UpM	Umdrehungen pro Minute

1 Einleitung

Die Möglichkeiten der Entsorgung von Tierkadavern beschränken sich nach der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 vom 21. Oktober 2009 [Aufhebungsverordnung zur VO (EG) Nr. 1774/2002 vom 3. Oktober 2002] auf die unschädliche Beseitigung in Verarbeitungsbetrieben für tierische Nebenprodukte der Kategorie 1 und 2. Im Tierseuchenfall sind nach EU-Recht zusätzlich das Vergraben oder Verbrennen von Tierkadavern zulässige Entsorgungsverfahren, wenn die Kapazitäten der entsprechenden Verarbeitungsbetriebe ausgelastet oder Verschleppungsrisiken zu befürchten sind. Für das Verbrennen in Verbrennungsanlagen sind zudem nur Tierkörper bis 4 kg Körpergewicht geeignet. Daher wird angestrebt, die Kompostierung als drittes Verfahren in die EG-Rechtsvorschriften aufzunehmen. Das entstehende Kompostmaterial dürfte aufgrund heutiger Rechtslage nicht auf Böden ausgebracht (Verordnung zur Durchführung des Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetzes vom 27. Juli 2006, zuletzt geändert am 24. Februar 2012), sondern müsste vergraben oder verbrannt werden [VO (EG) Nr. 1069/2009]. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, erste Erfahrungen und Befunde mit der Kompostierung von Putenkadavern in einem landwirtschaftlichen Betrieb in Niedersachsen unter Seuchenbedingungen zu sammeln. Dabei sollten insbesondere technische Fragen zur Anlage der Miete hinsichtlich Schichthöhe, Mietenbreite, Feuchtigkeit, Abdeckung und Zusatzstoffen untersucht werden. Zudem sollten die vom Komposthaufen ausgehenden Emissionen wie Geruch und Gase (Ammoniak und Kohlendioxid) sowie die Belastung der Umwelt mit Insekten erfasst werden. Durch einen Vergleich der Versuchsergebnisse mit entsprechenden Literaturangaben sollte diskutiert werden, inwieweit das Verfahren der Kadaverkompostierung zur Abtötung von Seuchenerregern beitragen kann.

2 Literaturübersicht

2.1 Kompostierung von Geflügelkadavern

2.1.1 Definition des Kompostierungsprozesses

Die Kompostierung wird definiert als ein kontrollierter, natürlicher biologischer Prozess unter vorwiegend aeroben Bedingungen, bei dem organisches Material durch thermophile Bakterien (u.a. Aktinomyceten und grampositive, sporenbildende Bacillusarten) und Pilze abgebaut wird (MURPHY und CARR, 1991; BLAKE und DONALD, 1992; MURPHY, 1992 a, b; RYNK et al., 1992; DONALD und BLAKE, 1996; GLANVILLE und TRAMPEL, 1997; BLAKE, 2004; MALONE, 2004; DE ROUCHEY et al., 2005; FLORY et al., 2006 a). Die Kompostierung von Kadavern ähnelt der Kompostierung anderer Materialien, bei der eine Stickstoffquelle, hier in Form von toten Tieren, mit einer kohlenstoffhaltigen Quelle in einem bestimmten, die notwendigen mikrobiologischen Prozesse fördernden Verhältnis vermischt wird (FULHAGE, 1997). Der Prozess der Kadaverkompostierung kann in diesem Zusammenhang als ein temporäres Vergraben von toten Tieren über dem Boden in zusätzlichem, trockenerem, kohlenstoffhaltigem Material, das als Biofilter für die entstehenden Gase (s. 2.1.3.4) fungiert, beschrieben werden (DOUGHERTY, 1999; KEENER und ELWELL, 2000; ELWELL et al., 2001; KEENER et al., 2002; KALBASI et al., 2005). Dabei führt die mikrobielle Zersetzung zu einer Erwärmung des Kompostmaterials und ermöglicht dadurch eine durch hohe Temperaturen bedingte Abtötung der meisten Pathogene (KEENER und ELWELL, 2000; KEENER et al., 2002) sowie zusätzlich eine aerobe Verdauung der Kadavergewebe (KALBASI et al., 2005). Bei diesem aeroben, sauerstoffverbrauchenden Abbau entstehen neben Wärme vor allem die Endprodukte Wasser, Kohlendioxid, Ammoniak sowie ein humusähnliches Material aus Mikroorganismen, nicht biologisch abbaubaren, anorganischen Verbindungen und organischen Komponenten (u.a. Huminsäuren), die einem schnellen Bioabbau widerstehen (MURPHY und CARR, 1991; GLANVILLE und TRAMPEL, 1997). Dieses humusähnliche Material, genannt Kompost, ist als Mischung aus stabilen, wiederverwertbaren Verbindungen (MURPHY, 1992 a; KEENER und ELWELL, 2000) und als Ergebnis der Umwandlung der organischen Abfallsubstanz ein agrarwirtschaftlich nutzbares Endprodukt der Kompostierung (BLAKE und DONALD, 1992; CONNER et al., 1993; DONALD und BLAKE, 1996; BLAKE, 2004; GONZÁLEZ und SÁNCHEZ, 2005). Es kann als Bodenzusatzstoff (Dünger) eingesetzt werden (CONNER et

al., 1993; BRODIE und CARR, 1997) und ist leicht zu lagern und zu transportieren (KASHMANIAN und RYNK, 1996; GONZÁLEZ und SÁNCHEZ, 2005). Dabei ist der Kompost aus Kadavern (Masthähnchen) geruchsfrei und von krümeliger Konsistenz (MURPHY und HANDWERKER, 1988).

Die Umwandlung der Nährstoffe von Kadavern, Einstreu und anderen Rohmaterialien in stabile Formen mit einer geringeren Tendenz, ins Grundwasser zu versickern oder durch Oberflächenabfluss abgetragen zu werden, und die Wiederverwertung dieser Nährstoffe bedingen den umweltfreundlichen Charakter der Kompostierung (KASHMANIAN und RYNK, 1996). Durch diese Wiederverwertung der Nährstoffe wird die Kompostierung als bevorzugte Möglichkeit des Umgangs mit Geflügelkadavern angesehen (FULHAGE, 1995; LAWSON und KEELING, 1999). Sie ist eine hygienische, biologisch sichere und zweckmäßige Methode der Kadaverbeseitigung (CONNER et al., 1993; BENSON et al., 2008), die als ökonomisches Verfahren der ökologischen Landwirtschaft (CONNER et al., 1993) bei richtiger Anwendung viele mit dem Vergraben und Verbrennen von Kadavern assoziierten Belastungen der Luft- und Wasserqualität vermeidet (MALONE, 2006).

2.1.2 Phasen der Kompostierung

Der Kompostierungsprozess umfasst nach GLANVILLE und TRAMPEL (1997) sowie BENSON et al. (2008) zwei Stufen bzw. Phasen unterschiedlicher Aktivität. Die erste Phase, die *Erwärmungs- und Entwicklungsphase*, ist durch eine hohe biologische Aktivität gekennzeichnet. Unter hohem Sauerstoffverbrauch und einer verstärkten Bildung von Kohlendioxid werden bei Temperaturen über 55°C leicht abbaubare organische Verbindungen aufgespalten. Es erfolgt eine schnelle Zersetzung in biologisch abbaubare Feststoffe, die zu einem relativ stabilen Endprodukt bei gleichzeitiger Volumenreduktion führt. Die anschließende *Nachbehandlungs- und Reifephase* hingegen ist durch eine niedrigere mikrobiologische Aktivität gekennzeichnet. Es dominieren langsamere Reaktionen, die bei niedrigeren Temperaturen unter geringerer Bildung von Kohlendioxid und einem niedrigeren Sauerstoffverbrauch zu einer Stabilisierung abbauresistenter organischer Verbindungen führen. Die Luftzufuhr stellt in dieser Phase keinen limitierenden Faktor mehr dar (auch MUKHTAR et al., 2004). Während die erste Phase maximal drei Wochen bis drei Monate andauert, ist die zweite Phase deutlich länger und bedarf eines reduzierten Arbeitsaufwandes (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997; MUKHTAR et al., 2004). Die Kompostierung in

dieser zweiten Phase wird gewöhnlich außerhalb des Stalles durchgeführt (BENSON et al., 2008); sie kann zuweilen unterbleiben, wenn das Endprodukt nicht im Gartenbau genutzt, sondern auf landwirtschaftlich genutztem Ackerland ausgebracht werden soll (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997). So weisen MUKHTAR et al. (2004) bei dieser Aufteilung des gesamten Kompostierungsprozesses auf eine nicht ausgeprägte Trennung der beiden Phasen hin.

Die Dauer des Kompostierungsprozesses, insbesondere die Zeit für die erste Kompostierungsphase, ist von der Größe der zu kompostierenden Kadaver abhängig (BERGE et al., 2009). KEENER et al. (2000) führen daher die dazugehörige erste Gleichung ihrer Schätzformeln zur Berechnung der Phasendauer unter Berücksichtigung des Kadavergewichtes (Gewicht des schwersten Tieres) auf.

2.1.3 Faktoren der Kompostierung

Der Prozess der Kompostierung läuft in hoher Geschwindigkeit ab, wenn der Nährstoffbedarf der Kompostmikroorganismen ausreichend gedeckt und ihre Anforderungen an die Umgebung erfüllt sind (MURPHY, 1992 b; RYNK et al., 1992; DE ROUCHEY et al., 2005). Fehler in der Bedarfsdeckung führen zu einem langsameren oder unvollständigen Abbau, zur Bildung von üblem Geruch und zur Freisetzung von kontaminierten Flüssigkeiten (Sickerwasser) und haben damit direkten Einfluss auf die Qualität des Endproduktes (RYNK et al., 1992; GLANVILLE und TRAMPEL, 1997). Um diese Fehler zu vermeiden, sind das Kohlenstoff(C)-zu-Stickstoff(N)-Verhältnis, der Feuchtigkeitsgehalt sowie die Porosität und die Temperaturen im Kompostmaterial zu kontrollieren (RYNK et al., 1992; CARR et al., 1998).

2.1.3.1 Kohlenstoff(C)-zu-Stickstoff(N)-Verhältnis (Nährstoffbilanz)

Kohlenstoff und Stickstoff sind wesentliche Bestandteile des Kompostmaterials (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997). Mikroorganismen benötigen Kohlenstoff als Energiequelle, während Stickstoff zur Proteinsynthese und zur Vermehrung essentiell notwendig ist (RYNK et al., 1992; DE ROUCHEY et al., 2005). Das C:N-Verhältnis als Zeichen einer insgesamt passenden Nährstoffmischung ist daher ausschlaggebend für den mikrobiologischen Abbauprozess (RYNK et al., 1992; CARR et al., 1998). Ein unausgewogenes Verhältnis beider Komponenten verzögert die mikrobielle Vermehrung und

verringert die Abbaurate (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997). Ein C:N-Verhältnis von 25:1 bis hin zu 30:1 wird als optimal angesehen (RYNK et al., 1992; GLANVILLE und TRAMPEL, 1997; DE ROUCHEY et al., 2005; BENSON et al., 2008; BERGE et al., 2009). Der Kompostierungsprozess bleibt sogar bei einem weiteren Bereich des C:N-Verhältnisses zwischen 20:1 und 40:1 ungestört (RYNK et al., 1992). In diesem Bereich liegt auch der überwiegende Anteil der Angaben von anderen Autoren (MURPHY und HANDWERKER, 1988; MURPHY, 1992 a, b; CARR et al., 1998; KEENER et al., 2000; KEENER und ELWELL, 2000; MALONE, 2004). MURPHY (1990), MURPHY und CARR (1991), BLAKE und DONALD (1992) sowie BLAKE (2004) geben als akzeptablen unteren Grenzwert 15:1, GLANVILLE und TRAMPEL (1997) als obere Grenze sogar 50:1 an. RYNK et al. (1992) hingegen weisen bei einem C:N-Verhältnis unter 20:1 auf eine vollständige Verwertung des Kohlenstoffs ohne Stabilisierung des gesamten Stickstoffs mit der Folge einer Freisetzung von Ammoniak oder Stickstoffoxid unter starker Geruchsbildung hin. Der durch den Ammoniakgeruch erkennbare Stickstoffüberschuss kann durch Zusatz von kohlenstoffreichem Material zur Erhöhung des C:N-Verhältnisses kompensiert werden (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997). Ein C:N-Verhältnis über 40:1 bedingt eine längere Kompostierungsdauer, damit die Mikroorganismen den im Überschuss vorhandenen Kohlenstoff verwerten können (RYNK et al., 1992). Ein solcher Mangel an Stickstoff äußert sich in einem langsameren Abbau trotz ausreichendem Feuchtigkeitsgehalt im Kompostmaterial und kann durch Zusatz von Stickstoff (Verringerung des C:N-Verhältnisses) in Form von Stallmist oder chemischen Düngern ausgeglichen werden (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997). Die unter Einwirkung des Kompostierungsprozesses einsetzende und fortschreitende Verringerung des C:N-Verhältnisses stellt einen guten Indikator für den mikrobiellen Verbrauch von Kohlenstoff und die Bildung von Kohlendioxid und Wärme dar (MUKHTAR et al., 2004; KALBASI et al., 2005).

Ein angemessenes C:N-Verhältnis hält den pH-Wert des Kompostmaterials im für die Kompostierung optimalen Bereich von 6,5 bis 7,2 (CARR et al., 1998) und bestimmt das Kohlenstoffdioxid/Ammoniak-Puffersystem (KALBASI et al., 2005). Durch die im fortschreitenden Kompostierungsprozess freigesetzten Nebenprodukte Kohlendioxid (schwache Säure) und Ammoniak (schwache Base) wird der pH-Wert im neutralen Bereich gehalten (HAUG, 1993). Dadurch werden der bei pH-Werten >8 auftretende Stickstoffverlust

durch Ammonifikation und damit die Freisetzung von Ammoniak eingeschränkt (RYNK et al., 1992; HENRY, 2003).

2.1.3.2 Feuchtigkeitsgehalt und Porosität

Feuchtigkeit, der primär entscheidende Faktor im Kompostierungsprozess (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997), fördert mikrobielle Stoffwechselprozesse (RYNK et al., 1992) und das mikrobielle Wachstum (KEENER et al., 2000). Wasser bietet das Medium für chemische Reaktionen, führt über den Transport von Nährstoffen zur Bildung notwendiger Enzyme durch die Mikroorganismen und bedingt ihre Mobilität im Kompostmaterial (RYNK et al., 1992; KALBASI et al., 2005). Das Kompostmaterial sollte feucht, jedoch nicht durchnässt sein (BLAKE und DONALD, 1992; GLANVILLE und TRAMPEL, 1997). Wenn Feuchtigkeit aus einer Handvoll Kompostmaterial in Form von mehr als zwei Tropfen herausgepresst werden kann, ist das Material gewöhnlich zu feucht für eine effektive Kompostierung und sollte daher getrocknet oder mit trockenerem Material vermischt werden (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997; CARR et al., 1998; TABLANTE et al., 2002). Das Material ist als zu trocken zu beurteilen, wenn es sich bei einer entsprechenden Handquetschprobe bei Berührung nicht feucht anfühlt (CARR et al., 1998; KEENER et al., 2000; TABLANTE et al., 2002; DE ROUCHEY, 2005). Die Angaben zum idealen Feuchtigkeitsgehalt variieren im Wesentlichen zwischen 40% und 65% (RYNK et al., 1992; FULHAGE, 1995; GLANVILLE und TRAMPEL, 1997; CARR et al., 1998; DE ROUCHEY et al., 2005; FLORY et al., 2006 a; BENSON et al., 2008; BERGE et al., 2009). GONZÁLEZ und SÁNCHEZ (2005) wiesen in ihren Versuchen eine erfolgreiche Temperaturentwicklung auch bei einem Feuchtigkeitsgehalt des Mietenmaterials von 60% bis 80% nach. RYNK et al. (1992) und DE ROUCHEY et al. (2005) gehen jedoch bei einer Feuchtigkeit von mehr als 65%, GLANVILLE und TRAMPEL (1997) bereits bei über 60% von einer Verdrängung der Luft in den für den Sauerstofftransfer wichtigen Porenräumen im Kompostmaterial aus. Durch Mangel an ausreichendem Sauerstoff für eine schnelle Vermehrung werden aerobe Mikroorganismen, die nur wenig Geruchsstoffe bilden und deren Stoffwechselprodukte (Wasser, Kohlendioxid) unbedenklich sind, durch anaerobe Organismen, deren Metabolismus weniger Wärme erzeugt und zur Bildung von geruchsintensiven Stoffwechselprodukten wie Schwefelwasserstoff und organische Säuren führt, ersetzt (RYNK et al., 1992; GLANVILLE und TRAMPEL, 1997). Daher sind zur Aufrechterhaltung aerober Bedingungen im

Kompostierungsprozess laut RYNK et al. (1992) Sauerstoffkonzentrationen von mindestens 5%, nach BERGE et al. (2009) von mehr als 10% in den Luftzwischenräumen im Komposthaufen zu empfehlen. Dabei sollte die Porosität, der Anteil dieser luftgefüllten Porenräume im Mietenmaterial, laut MURPHY (1992 b) bei 30%, laut KEENER et al. (2000) bei 35% bis 45% liegen. Dabei bedingt die Porosität den Lufteintritt und die Luftzirkulation im Mietenmaterial (KENNER et al., 2000).

2.1.3.3 Temperatur (Wärmeretention)

Der mikrobielle Abbauprozess unter aeroben Bedingungen setzt große Mengen Energie in Form von Wärme frei (RYNK et al., 1992; KEENER et al., 2000). Diese führt in Kompostmieten von geeigneter Größe mit einem hohen Volumen-Oberflächen-Verhältnis und bei ausreichenden isolierenden Eigenschaften der eingesetzten Kompostzusatzmaterialien durch Wärmeakkumulation zu einer Erhöhung der Mietentemperatur in den für thermophile Bakterien optimalen Bereich (RYNK et al., 1992; KEENER et al., 2000), wobei die Zersetzung beschleunigt (BLAKE und DONALD, 1992) und die Inaktivierung u.a. von Pathogenen und Fliegenlarven gegenüber Werten im Temperaturbereich mesophiler Bakterien erhöht ist (RYNK et al., 1992). Gleichzeitig gibt das Kompostmaterial Wärme über die Verdunstung von Feuchtigkeit sowie über den Abtransport des entstehenden Wasserdampfes und anderer warmer Gase durch Luftzirkulation ab (RYNK et al., 1992). Ideale Komposttemperaturen liegen in einem Bereich zwischen 45°C und 65°C, wobei sich die bakterielle Aktivität in diesem Bereich mit jedem Temperaturanstieg um 10°C verdoppelt (KEENER et al., 2000). Dagegen führen Temperaturen über 66°C zu einem schnellen Rückgang der mikrobiellen Aktivität, bei über 70°C bis 71°C sistiert die mikrobielle Aktivität (RYNK et al., 1992; KEENER und ELWELL, 2000; BERGE et al., 2009). Die Temperatur kann durch Umschichtungen des Mietenmaterials und durch Luftzufuhr beeinflusst und im gewünschten Bereich gehalten werden (RYNK et al., 1992). Temperaturen unter 40°C haben den gleichen reduzierenden Effekt auf die thermophilen Kompostmikroorganismen und ihre begleitenden Enzymaktivitäten wie Temperaturen über 65°C (BERGE et al., 2009).

2.1.3.4 Regulierende Kompostierungszusätze (Rohmaterialien)

Der hohe Feuchtigkeitsgehalt, das niedrige C:N-Verhältnis sowie die fehlende Porosität großer Kadavermengen stellen keine optimalen Kompostierungsbedingungen dar

(GLANVILLE und TRAMPEL, 1997; KEENER et al., 2000). Daher müssen leicht abbaubare, kohlenstoffreiche, organische Kompostzusatzmaterialien im Kompostierungsprozess zugesetzt werden, um einen schnellen aeroben Abbau zu ermöglichen (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997). Diese Kompostzusatzmaterialien erfüllen verschiedene wichtige Funktionen:

Sie gleichen den hohen Stickstoffgehalt der Kadaver aus und tragen somit zur Einstellung eines optimalen C:N-Verhältnisses im Kompostmaterial bei (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997; RYNK et al., 1992; KEENER et al., 2000). Bei einem Einsatz in ausreichenden Mengen umgeben sie die Kadaver und machen sie für Insekten und Nagetiere weniger zugänglich (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997). Sie fungieren in diesem Zusammenhang als biologischer Filter bzw. Biofilter (KEENER et al., 2000; KEENER und ELWELL, 2000; vgl. auch Abbildung 1), denn der Abbauprozess in der direkten Umgebung der Kadaver verläuft unter anaeroben Bedingungen. Die sich dabei bildenden Gase diffundieren in die aerobe Zone des die Kadaver umgebenden Materials und werden durch die Mikroorganismen dort zu Kohlendioxid und Wasser weiter abgebaut. Dabei werden diese aeroben Bedingungen durch die physikalischen Eigenschaften des Mietenmaterials (Porosität, Struktur, Textur, Partikelgröße) beeinflusst (RYNK et al., 1992). Die **Porosität**, d.h. der Anteil des Luftraums im Kompostmaterial, beeinflusst den Zirkulationswiderstand in der Miete und wird bestimmt von der Partikelgröße, der Größenabstufung der Materialien und der Kontinuität der Luftporen. Dabei führen größere und gleichförmigere Partikel zu einer erhöhten Porosität (RYNK et al., 1992), die die natürliche Sauerstoffdiffusion in das Mietenmaterial bestimmt (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997). Die **Struktur** der eingesetzten Kompostzusatzmaterialien bezieht sich auf die Eigensteifigkeit der Partikel sowie deren Fähigkeit, einem Absetzen und damit einer Verdichtung des Mietenmaterials entgegenzuwirken, um eine gute Porosität aufrechtzuerhalten. Bei Anwendung von Kompostierungsmethoden, bei denen keine Umschichtungen zur Belüftung des Mietenmaterials vorgesehen sind, sollten daher strukturstarke, einer Verdichtung des Mietenmaterials entgegenwirkende Kompostzusatzmaterialien mit großer Partikelgröße verwendet werden. Auch bei geruchsintensiven Kompostierungsanlagen ist der Zusatz eines entsprechenden Materials zur überdurchschnittlichen Erhöhung der Porosität für eine gute Luftzirkulation zu empfehlen. Die **Textur** beschreibt die für die mikrobielle Aktivität zur Verfügung stehende Oberfläche, an der sich die für den Abbauprozess essentiell notwendigen

Mikroorganismen anheften. Daher erhöht sich die Abbaurate insbesondere von schwer abbaubaren, hölzernen Materialien mit Verkleinerung der Partikelgröße infolge eines höheren Oberflächen-Volumen-Verhältnisses. Die Partikelgröße der Kompostzusatzmaterialien sollte jedoch zur Aufrechterhaltung der Porosität einen mittleren Durchmesser von 25 mm bis 50 mm nicht unterschreiten. Nicht nur durch ihre Eigenschaften hinsichtlich ihrer Porosität, sondern auch durch ihre Absorbierfähigkeit beeinflussen die Kompostzusatzmaterialien den Feuchtigkeitsgehalt im Mietenmaterial (RYNK et al., 1992), und sie können unter Umständen den Überschuss der bei Zersetzung der Kadaver freiwerdenden Feuchtigkeit aufnehmen (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997; KALBASI et al., 2005). Dabei können hochporöse Füllstoffe feuchter sein als entsprechend verdichtete von kleiner Partikelgröße. Über ihre wärmeisolierenden Eigenschaften üben diese Kompostzusatzmaterialien Einfluss auch auf die Temperatur der Miete aus (RYNK et al., 1992).

Zur Kompostierung von Geflügelkadavern wird die Verwendung von Geflügeleinstreu und Stroh empfohlen (MURPHY und CARR, 1991; WILKINSON, 2007). Geflügeleinstreu als Gemisch aus Hobelspänen und Geflügeldung ist das am häufigsten eingesetzte Kompostzusatzmaterial zur Kompostierung von Puten und Masthähnchen (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997).

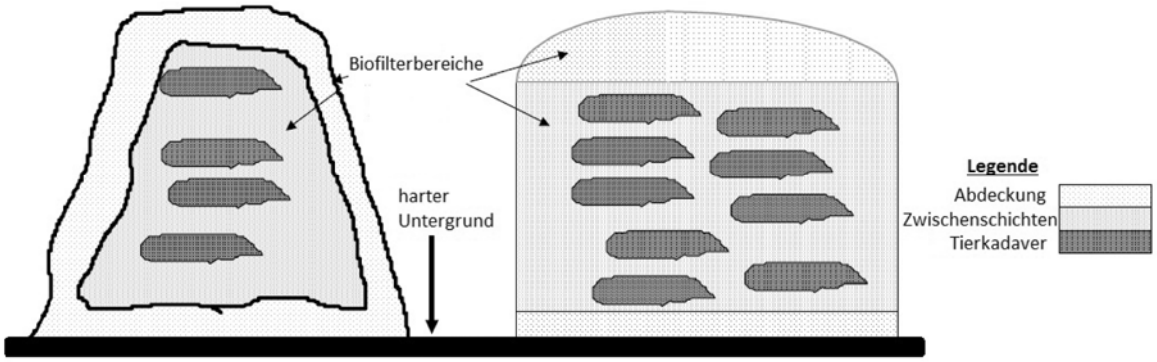

Abbildung 1: **Biofilterbereiche aus kohlenstoffreichem Material einer nach der „layering"-Methode aufgebauten Kompostmiete (Querschnitt; modifiziert nach KEENER und ELWELL, 2000).**

2.1.4 Methoden der Kompostierung

Kompostierungssysteme werden in offene und geschlossene Systeme unterteilt. Offene Systeme umfassen die Kompostierung in variablen Mieten (Schwaden) und nicht variablen

Mieten („static pile“) sowie in Kompostern (BERGE et al., 2009). Dabei liegt in diesen Systemen eine natürliche Belüftung des Mietenmaterials vor (passive Belüftung, Abbildung 2). Schwaden weisen dabei eine definierte Breite bei variabler Länge und Höhe auf. Komposter sind spezielle, dreiseitig begrenzte Kompostbehältnisse, wobei gleichzeitig vor Ort zwei entsprechende Komposter, jeweils für die erste und zweite Kompostierungsphase, vorhanden sein müssen (BERGE et al., 2009). Geschlossene Systeme umfassen „in-vessel-Systeme“, die insbesondere zur Kompostierung von kleinen Kadavern genutzt werden. In diesen Systemen befindet sich die Kompostierungsmasse in einer isolierten Struktur (rotierende Trommel, überdimensionaler Plastikschlauch als sogenannte Ag-Bag®- Kompostierung), die einer Zwangsbelüftung unterliegt (BERGE et al., 2009). Im Tierseuchenfall, wenn die Kompostierung von großen Kadavermassen notwendig wird, ist eine Kompostierung in variablen Mieten anzustreben (MURPHY, 1991, 1992 a, b, c, 1993). Daher wird im Folgenden nur auf diese Kompostierungsmethode näher eingegangen.

Zum Aufbau von variablen Kompostmieten sind zusätzliches Einstreumaterial, Sägemehl oder andere kohlenstoffreiche Kompostzusatzmaterialien notwendig, wenn das Einstreuvolumen im Stall zur Durchführung eines kompletten Kompostierungsdurchganges nicht ausreichend ist. Es werden insgesamt 4,2 mm bis 5,2 mm Einstreu pro Kilogramm Kadaver und Quadratmeter Stallfläche benötigt. Die Geflügelkadaver können in der Miete, die an der Basis 3 m bis 4 m breit und bis zu 1,8 m hoch ist, geschichtet werden (sogenannte „layering“-Methode). Jede Tierkadaverschicht sollte dabei nicht höher als 25 cm und zu nachfolgenden Kadaverschichten durch 15 cm bis 20 cm dicke Schichten aus Einstreu, evtl. unter Zusatz von Sägemehl, getrennt sein. Die Miete wird abschließend mit einer entsprechenden Schicht abgedeckt, um sicherzustellen, dass alle Kadaver bedeckt sind (MALONE, 2004, 2005, 2006; SHANE, 2006). Jede Tierkadaverschicht ist während des Aufbaus zu bewässern (TABLANTE et al., 2002). Andererseits können die Geflügelkadaver mit den entsprechenden Kompostzusatzmaterialien gemischt und dann zu einem Komposthaufen von 3 m bis 4 m Breite im Zentrum des Stalles aufgebaut werden (sogenannte „mix and pile“-Methode). Dabei sollte die Miete durch eine 15 cm bis 20 cm dicke Schicht aus Einstreumaterial abgedeckt werden. Diese Methode ist weniger zeit- und arbeitsintensiv und mit einem geringeren Bedarf an zusätzlichen Materialien verbunden. Bei größeren Geflügelkadavern (Puten) sowie bei Wunsch nach einem schnelleren Abbauprozess können

die Kadaver vor Aufbau der variablen Mieten geschreddert oder durch das Gewicht des Frontladers zerdrückt werden (sogenannte „shred and pile“-Methode; MALONE, 2004, 2005, 2006; SHANE et al., 2006). BENDFELDT et al. (2005 b, 2006) zeigten, dass in entsprechend aufgebauten Mieten bereits innerhalb von fünf Tagen Temperaturen über 60°C erreicht wurden, während diese bei der Kompostierung von intakten Kadavern erst nach 16 Tagen messbar waren. Infolge dieser Vorbehandlung der Kadaver verringerte sich der Bedarf an kohlenstoffreichem Material zum Aufbau der Miete um 30%.
Bei der von CARR et al. (1998) und TABLANTE et al. (2002) beschriebenen Methode wird auf dem Stallboden eine ca. 30 cm dicke Schicht aus Geflügeleinstreu gebildet. Darauf werden einschichtig (25 cm) die Tierkadaver gelegt („layering“-Methode) und deren Federn mit Wasser benetzt, ohne die unterste Einstreuschicht zu bewässern. Die Tierkadaver werden dann vollständig mit Geflügeleinstreu oder anderen kohlenstoffreichen Materialien abgedeckt. Auf diese ca. 20 cm dicke Zwischenschicht wird die zweite Tierkadaverlage gelegt. Diese wiederum wird mit Einstreumaterial (20 cm) abgedeckt, so dass am Ende eine Miete aus mehreren (maximal drei) Tierkadaverlagen vorhanden ist. Mit dem Ziel einer besseren Wärmedämmung sollte zu allen Seiten der Miete ein geringer Teil der Einstreu überstehen. Nach 10 bis 14 Tagen bei Mietentemperaturen zwischen 46°C und 52°C muss die Miete umgeschichtet werden. Empirische Formeln zur Berechnung der Mietengröße bei vorgegebener Kadavermenge und Kadavergröße sind in Tabelle Anhang 4 zu finden.

Bei der nach SPENCER et al. (2004) sowie SPENCER und GUAN (2006) in Kanada durchgeführten Kompostierungsmethode werden das Stallinnere, die Geflügelkadaver sowie die Einstreu zur Einleitung des Kompostierungsprozesses sowie zur Reduzierung des Staubaufkommens nach Tötung des Geflügelbestandes exzessiv bewässert. Dabei erfolgt die Kompostierung während der ersten Phase im Stall und während der zweiten Stufe außerhalb des Stalles. Die Kadaver und die Einstreu auf dem Stallboden werden zur Stallmitte geschoben, um dort variable Mieten von 1,5 m Höhe und 3 m Breite aufzubauen. Diese werden abschließend mit Holzspänen zur Förderung der Kompostierung sowie zur Vermeidung von Gerüchen abgedeckt. Die Belüftung in diesen Mieten wird durch die beim Abbau der Kadaver entstehenden Lufträume gefördert. Nach 5 Tagen wird das Kompostmaterial aus dem Stall entfernt und außerhalb des Stalls zur Einleitung der zweiten Kompostierungsphase neu aufgebaut. Dabei wird die Miete zwischen zwei parallel

verlaufenden Autobahnleitplanken aus Beton aufgebaut und die Innenfläche zunächst mit einer 15 cm dicken Schicht aus Holzspänen bedeckt. Auf dieser Schicht und über die seitlichen Begrenzungen hinweg wird eine Plastikfolie ausgelegt, um den Austritt von Flüssigkeiten aus der Miete zu begrenzen. Dann wird das zu kompostierende Material aus dem Stall zusammen mit Holzspänen und pelletiertem Broilerfutter auf die Plastikfolie aufgetragen. Um eine passive Belüftung der Miete zu gewährleisten, werden längs flexible und perforierte Drainagerohre im Abstand von jeweils etwa 1,2 m und in etwa 0,4 m Höhe über die Kompostmischung gelegt. Die Öffnungen dieser Rohre enden dabei über den seitlichen Begrenzungen aus Beton. Der Haufen weist bei Ende seines Aufbaus eine Höhe von 1,5 m auf. Er wird mit einer Dampfbremsfolie abgedeckt, auf die eine 30 cm dicke Schicht aus Holzspänen aufgetragen wird. Die Miete wird abschließend mit schwarzer Plastikfolie abgedeckt. In diese schwarze Folie werden oben Luftlöcher sowie seitlich Öffnungen für die Drainagerohre geschnitten. Gebrauchte Autoreifen dienen zur Fixierung der Folie.

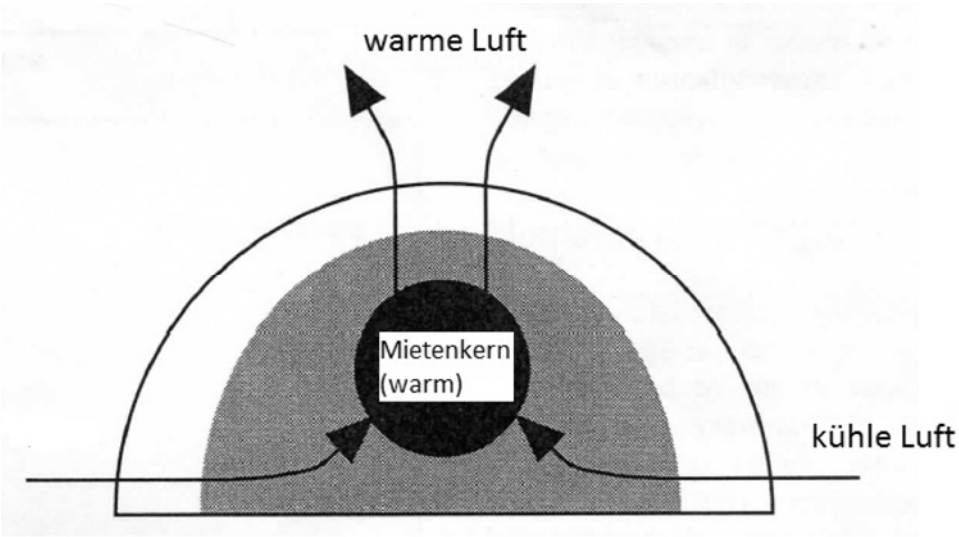

Abbildung 2: Natürliche (passive) Belüftung einer Kompostmiete (modifiziert nach RYNK et al., 1992).

2.1.5 Inaktivierung von Pathogenen während der Kompostierung (Biosicherheit)

2.1.5.1 Mechanismen und Faktoren

Die Kompostierung ist eine bewährte Technologie zur Pathogenreduktion, die nahezu alle pathogenen Viren, Bakterien (außer endosporenbildenden Arten), Pilze, Protozoen (inklusive Zysten) und Wurmeier auf niedrige Level reduziert (KALBASI et al., 2005 und 2006;

WILKINSON, 2007). Die Inaktivierung von Pathogenen unterliegt vor dem Hintergrund des Prozessmanagements und heterogener Bedingungen in der Kompostmiete besonderen Herausforderungen für die Evaluation der mikrobiologischen Sicherheit der Kadaverkompostierung (WILKINSON, 2007). Den wichtigsten und dabei auch am einfachsten zu erhebenden Faktor bei der Inaktivierung von Pathogenen stellt die Temperatur dar (WILKINSON, 2007). Der Erfolg der Inaktivierung wird dabei nicht nur durch die Höhe der Temperaturen, sondern auch durch die Dauer der Exposition bestimmt (Zeit-Temperatur-Effekt; DE BERTOLDI et al., 1988; WILKINSON, 2007). Neben dem Abbaugrad der Tierkadaver (SPENCER et al., 2005; SPENCER und GUAN, 2006) kann eine intensive Temperaturüberwachung zur Bewertung der Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmtes Zeit-Temperatur-Verhältnis erreicht wurde, zur Prozessevaluation herangezogen werden (WILKINSON, 2007). Die bei der Kadaverkompostierung erzeugte Wärme führt zu einer mikrobiellen Abtötung bei Temperaturen über 55°C an mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen (MURPHY, 1990; CONNER et al., 1991 b, 1993; KALBASI et al., 2006). Die Reduktion der Pathogenbelastung erfolgt dabei hauptsächlich während der aktiven Kompostierung, in der Erwärmungsphase (erste Phase), durch die in dieser Zeit gebildeten hohen, im für thermophile Bakterien optimalen Bereich liegenden Temperaturen (KALBASI et al., 2006). Dabei ist im Hinblick auf den Gesamtwirkungsgrad der Pathogeninaktivierung der Anteil des Kompostmaterials, der diesen thermophilen Bedingungen während des Kompostierungsprozesses ausgesetzt wird, bedeutender als die isolierte Zugrundelegung von Zeit-Temperatur-Intervallen (GALE, 2002 sowie PAPADIMITRIOU und STENTIFORD, 2003, zitiert nach WILKINSON, 2007). Im Gegensatz zu geschlossenen Kompostierungssystemen besteht in Kompostmieten eine große Variation im Temperaturprofil zwischen den äußeren, kälteren Schichten (mit subletalen Temperaturen) und der inneren, wärmeren Mietenzone (vollständige thermische Inaktivierung). Daher werden Kompostmieten in regelmäßigen Abständen umgeschichtet, um Material aus den äußeren Mietenschichten höheren Temperaturen auszusetzen (WILKINSON, 2007) und eine gleichmäßigere Temperaturverteilung zu erreichen (MURPHY, 1990). Die Umschichtung führt dazu, dass ein größerer Mietenanteil diesen höheren Temperaturen im Mietenzentrum ausgesetzt wird. WILKINSON (2003) untersuchte diese Wirkung der Umschichtung auf das Temperaturprofil von kompostierender Einstreu. Dabei stellte er fest, dass bei der nicht umgeschichteten Miete nur 7% ihrer Querschnittsfläche Temperaturen über 45°C zwischen

der 3. und 9. Woche ausgesetzt waren, während im umgeschichteten Komposthaufen dieser Anteil in der gleichen Zeit bei 54% lag. Zusätzlich zu dieser nicht einheitlichen Temperaturverteilung in der Miete kann das Vorhandensein von größeren zu kompostierenden Strukturen (ganze Kadaver bzw. Kadaveranteile) als Zeichen einer inhomogenen Zusammensetzung des Mietenmaterials die Effizienz der Pathogeninaktivierung in einer Miete einschränken, da diese mehr Zeit zur Erwärmung in Anspruch nehmen als kleinere Partikel (WILKINSON, 2007). Des Weiteren kann die Pathogeninaktivierung während des Kompostierungsprozesses durch eine Reinokulation nach der ersten Phase der Kompostierung herabgesetzt werden (HAUG, 1993). So sind pathogene Enterobakterien unter bestimmten Bedingungen zum erneuten Wachstum in kompostiertem organischem Material fähig, wenn die Temperaturen auf ein subletales Niveau fallen (WILKINSON, 2007). Dabei wird dieses erneute Wachstum in der zweiten Phase der Kompostierung (KALBASI et al., 2006) von der Feuchtigkeit und Stabilität des organischen Materials sowie durch die Konkurrenz mit anderen Mikroorganismen beeinflusst (WILKINSON, 2007). Die Stabilität als Maß für die mögliche mikrobiologische Aktivität im Kompost, die von der Substratverfügbarkeit abhängig ist (BERNAL et al., 1998), ist zur Vermeidung eines erneuten Wachstums von Pathogenen entscheidend (MILLNER et al., 1987). In diesem Zusammenhang kann zu trockenes Kompostmaterial einen stabilen Zustand mit hoher mikrobiologischer Aktivität vortäuschen (WILKINSON, 2007). Als nährstoffbasierten Langzeitindikator für ein erneutes Wachstum von Salmonellen im Kompost (Klärschlamm) definieren RUSS und YANKO (1981) das C:N-Verhältnis. Dabei gehen sie bei C:N-Verhältnissen von kleiner als 15:1 aufgrund der begrenzten relativen Kohlenstoffverfügbarkeit vom Stagnieren einer möglichen Repopulation aus. Handling und Transport von instabilem Kompostmaterial lassen das Risiko für eine Rekontamination und ein erneutes Wachstum steigen (MILLNER et al., 1987). HUSSONG et al. (1985) folgerten, dass die indigene Kompostflora eine homöostatische Barriere zur Ansiedlung von *Salmonella* spec. schafft, während diese in Abwesenheit einer entsprechenden konkurrierenden Flora zu potentiell gefährlichen Populationsdichten heranwachsen. In diesem Sinne ist bei einer langen Lagerung des Komposts von einer Begünstigung des erneuten Wachstums von Salmonellen als Resultat der abnehmenden Wirkung von indigenen antagonistischen Mikroorganismen auszugehen (SIDHU et al., 2001). Nach MILLNER et al. (1987) sind die von Bakterien und Aktinomyceten produzierten Antibiotika bei der

Unterdrückung von Salmonellen wirksam. Neben diesem mikrobiellen Antagonismus (Bildung von Antibiotika, direkter Parasitismus) und der Konkurrenzsituation um Nährstoffe ist als weiterer Mechanismus der Inaktivierung von Pathogenen während der Kompostierung die Produktion von organischen Säuren und Ammoniak zu nennen (EPSTEIN, 1997; zitiert nach WILKINSON, 2007). Im Zusammenhang mit der Kompostierung von Geflügelkadavern, natürlich infiziert mit aviärer Influenza, formten SPENCER et al. (2004, 2005, 2007) sowie SPENCER und GUAN (2006) den Begriff „Bio-Hitze-Behandlung“, um zu verdeutlichen, dass im Kompostierungsprozess neben Wärme auch Ammoniak und andere Verbindungen mit viruzider Wirkung gebildet werden.

2.1.5.2 Inaktivierung gefügelpathogener viraler Erreger

SENNE et al. (1994) untersuchten die Inaktivierung des hochpathogenen aviären Influenza (HPAI)-Virus (H5N2) sowie des „Egg-Drop-Syndrome-76“ (EDS-76)-Adenovirus. In Dialysebeutel verpackte Gewebe von acht Wochen alten, entsprechend infizierten Hühnern wurden in alternierenden Lagen von Haferstroh, Ziegenmist und Kadavern in einem Kompostierungsbehältnis nach der Methode von MURPHY (1990) kompostiert. Nach zehn Tagen Kompostierung war das HPAI-Virus nicht mehr, das EDS-76-Virus aber noch in einer von jeweils zwanzig untersuchten Gewebeproben nachweisbar. Nach Umschichtung und weiteren zehn Tagen Kompostierung war in den Gewebeproben nun auch das EDS-76-Virus nicht mehr nachweisbar.

MURPHY (1990) führte Untersuchungen zur Abtötung des Newcastle Disease (ND)-Virus und des Infektiöse Bursitis (IB)-Virus im Sommer und im Winter durch. Dabei wurden in perforierte, sterile Plastikbeutel verbrachte, entsprechend infizierte SPF-Hühner einer zweistufigen Kompostierung unterzogen. Das ND-Virus war unabhängig von der Jahreszeit schon nach der ersten Phase der Kompostierung nicht mehr nachweisbar. Dieses traf für das IB-Virus nur im Sommer zu. Im Winterversuch war es erst nach der zweiten Phase der Kompostierung nicht mehr nachweisbar. GUAN et al. (2010) untersuchten die Inaktivierung eines Impfstammes dieses sehr resistenten, unbehüllten Virus. Es wurden Organproben (Milz, Bursa Fabricii) von experimentell infizierten Hühnern sowie entsprechend inokulierte Gewebe (Milz)- und Stallmistproben, jeweils verpackt in permeablen Nylonnetzbeuteln, in ein Kompostbehältnis, gefüllt mit Stallmist aus Käfigbatterien und Holzspänen, eingebracht. Ab dem 7. Tag der Kompostierung, nach knapp drei Tagen mit Temperaturen über 55°C, war

das IB-Virus in den inokulierten Gewebeproben im Gegensatz zu den Organproben nicht mehr nachweisbar. Erst ab dem 14. Tag der Kompostierung, nach knapp neun Tagen mit Temperaturen über 55°C, konnte das Virus auch in den Organproben nicht mehr nachgewiesen werden. GUAN et al. (2010) führen das längere Überleben des IB-Virus in den Organproben u.a. darauf zurück, dass es durch das Organmaterial geschützt wurde. Sie folgern aus ihren Ergebnissen, dass mehr als drei aufeinanderfolgende Tage bei Temperaturen über 55°C zur Abtötung des IB-Virus notwendig sind (vgl. 2.1.5.1), und weisen dem IB-Virus die Funktion eines Stellvertreters für die Abtötung weniger hitzeresistenter aviärer Viren (u.a. aviäres Influenzavirus, ND-Virus) zu.

Niedrigpathogenes aviäres Influenza (LPAI)-Virus (H7N2) in natürlich infiziertem Geflügel wurde während der Kompostierung im Stall, durchgeführt über einen Zeitraum von einem Monat, bei Durchschnittstemperaturen um 55°C abgetötet. Entsprechende Virusisolationstests nach 14 und 21 Tagen fielen negativ aus (MALONE, 2006). Nach SPENCER und GUAN (2006) ist eine vollständige Abtötung des HPAI-Virus bei 25°C nach 10 Tagen, bei 30°C nach 7 Tagen, bei 40°C nach 5 Tagen und bei 55°C nach 30 Minuten zu erwarten. LU et al. (2003) berichten über eine Abtötung des aviären Influenzavirus bei 56,1°C nach 90 Minuten und bei 60°C nach 10 Minuten. GUAN et al. (2009) führten Untersuchungen zur Überlebensfähigkeit eines aviären Influenzavirus (H6N2) und eines ND-Impfstammes während der Kompostierung durch. Dabei wiesen sie nach, dass die Abtötung von Viren zusätzlich durch andere Faktoren als die während der Kompostierung erzeugte Wärme beeinflusst wird. In diesem Zusammenhang trägt die mikrobielle Aktivität während der Kompostierung zu einer schnellen Abtötung von AI- und ND-Viren sowie zur Zersetzung ihrer viralen RNA bei. GUAN et al. (2009) kompostierten in diesen Untersuchungen permeable Nylonnetzbeutel (Lochgröße: 2 mm²) i) mit Hühnermist, benutzter Einstreu oder Futter (jeweils mit entsprechend infizierter Allantoisflüssigkeit inokuliert) und ii) mit einer Mischung aus homogenisierten, infizierten, embryonierten Hühnereiern und Maissilage in Kompostbehältnissen bei 65% Feuchtigkeit. Zusätzlich zu diesen Proben in Beuteln kompostierten sie infizierte Allantoisflüssigkeit in phosphatgepufferter Kochsalzlösung in geschlossenen Ampullen. Sie stellten fest, dass ab dem 7. Tag bei Komposttemperaturen zwischen 50°C und 65°C die Viren in allen in Beuteln befindlichen Proben abgetötet waren. Die in den geschlossenen Ampullen gelagerten Viren hingegen waren erst am 21. und letzten Tag des Versuches inaktiviert. Die virale RNA in den geschlossenen Ampullen war noch am

21. Tag nachweisbar, während sie in den Nylonnetzbeuteln ab dem 10. Tag nicht mehr nachweisbar war. Dabei wurde die virale RNA im Vergleich zu den anderen Proben (10. Tag) am schnellsten in der benutzten Einstreu (7. Tag) abgebaut - wahrscheinlich aufgrund der höheren mikrobiologischen Aktivität in dieser Probe. Des Weiteren infizierten GUAN et al. (2009) ganze, embryonierte Hühnereier mit AI- oder ND-Viren. Bei der anschließenden Kompostierung wurden die mit AI-Virus infizierten, embryonierten Hühnereier zerdrückt - mit der Folge, dass das Virus während des Versuches abgetötet und seine virale RNA abgebaut wurde. Die mit ND-Virus infizierten, embryonierten Hühnereier blieben hingegen während der Kompostierung intakt - mit der Folge, dass ihre virale RNA noch bei Versuchsende am 21. Tag nachweisbar war. Das deutete darauf hin, dass die intakte Eierschale als Hindernis für die mikrobielle Aktivität, die die RNA abbauen könnte, fungierte. Diese Vermutung wird bestärkt durch die zuvor beschriebene Beobachtung von GUAN et al. (2009), dass die Viren in geschlossenen Ampullen länger als in permeablen Nylonnetzbeuteln überlebten. Die Beteiligung der mikrobiologischen Aktivität bei der Abtötung der untersuchten Viren und dem Abbau ihrer RNA wird durch ein zusätzliches In-vitro-Experiment untermauert: Bei diesem wiesen GUAN et al. (2009) nach, dass die AI- und ND-Viren in einem wässrigen Extrakt aus kompostiertem Mist im Vergleich zu einem aus unkompostiertem Material tendenziell schneller inaktiviert wurden (Inkubation bei 25°C bis 45°C). Auch wiesen sie nach, dass die Viren in sterilisierten Phosphatpuffern länger überlebten als in wässrigen Extrakten mit Bakterien. Ihre Beobachtungen decken sich mit den Ergebnissen der Untersuchungen von LU et al. (2003), die zeigten, dass die Inaktivierung von aviären Influenzaviren bei 15°C bis 20°C in Geflügelmistproben durch die mikrobielle Aktivität beeinflusst wird. LU et al. (2003) wiesen nach, dass die Überlebenszeit des aviären Influenzavirus in mit Stallmist vermischter Allantoisflüssigkeit gegenüber unvermischter Allantoisflüssigkeit reduziert war. Darüber hinaus gehen weitere Studien davon aus, dass von Bakterien gebildete, proteolytische Enzyme und/oder durch den mikrobiellen Stoffwechsel bedingte Temperatur- und pH-Wert-Änderungen zur Virusinaktivierung beitragen (GILBERT et al., 1983; DENG und CLIVER, 1992).

BENSON et al. (2008) untersuchten die Inaktivierung eines Feldstammes des LaSotaND-Virus in drei im Stall aufgebauten Kompostmieten unter getrennter Verwendung von Sägemehl, Stroh und Einstreu auf Sägemehl-Stroh-Basis. Alle verwendeten Kompostzusatzmaterialien führten zu Mietentemperaturen von mehr als 60°C über mehrere

Tage. Dabei war nach dem 2. Versuchstag keine durch intakte Viren verursachte Hämagglutination mehr nachweisbar.

GLANVILLE et al. (2005) untersuchten die Überlebensfähigkeit von Impfstämmen des ND- und des aviären Encephalomyelitis (AE)-Virus in nicht umgeschichteten Kompostmieten, bestehend aus Rinderkadavern und verschiedenen kohlenstoffreichen Kompostierungszusätzen (Maissilage, Maisstängel, zerkleinertes Stroh), zu verschiedenen Jahreszeiten. Das AE-Virus wurde jeweils innerhalb von sieben Tagen abgetötet. Dies traf auf das ND-Virus nur in den warmen Jahreszeiten zu, während es bei kalten Wetterlagen erst innerhalb von 21 Tagen abgetötet wurde. Zusätzlich untersuchten GLANVILLE et al. (2005) die Virusretention durch Kontamination der Kadaveroberfläche mit den beiden Impfstämmen und durch Unterbringung von Sentineltieren in der Nähe der Kompostmieten, deren Blutproben auf entsprechende Antikörper getestet wurden. Dabei stellten sie fest, dass von insgesamt 72 SPF-Tieren nur bei einem Tier (1,4%) eine positive Immunantwort als Zeichen einer möglichen Freisetzung von Viren aus den kadaverhaltigen Mieten vorhanden war.

2.1.5.3 Inaktivierung geflügelpathogener bakterieller Erreger

CONNER et al. (1991 a, b, 1992, 1993) untersuchten die mikrobiologische Sicherheit der zweistufigen Kompostierung von Geflügelkadavern in Kompostierungsbehältnissen. Täglich anfallende Geflügelkadaver wurden bei ihren Untersuchungen zwischen Lagen aus Einstreu (Stallmist und Kiefernholzspäne) und Weizenstroh bis zu einer Höhe von 1,5 m geschichtet. Nach einer ersten Kompostierungsphase über 8 bis 10 Tage erfolgte die Umschichtung in ein zweites Kompostierungsbehältnis zur Einleitung einer zweiten Kompostierungsphase über weitere 17 bis 21 Tage. In den Kompostproben, die alle fünf Tage entnommen wurden, wurden die Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie die Keimzahl der coliformen Bakterien untersucht. Die Lebendkeimzahl aerober Bakterien wies während des gesamten Versuches über 30 Tage hohe Konzentrationen von 10^4 bis zu mehr als 10^7 koloniebildenden Einheiten pro Gramm (KBE/g) Kompost auf. Die bei Einleitung des Kompostierungsprozesses hohe Konzentration von coliformen Keimen (ca. 10^6 KBE/g) wurde während der Gesamtdauer der Kompostierung auf Werte unter der Nachweisgrenze ($<10^1$ KBE/g) reduziert. Die Abtötung der coliformen Keime erfolgte dabei erst, nachdem das Kompostmaterial in das zweite Kompostierungsbehältnis umgeschichtet worden war. CONNER et al. (1991 a, b, 1992, 1993) folgern, dass der Transfer des Kompostmaterials zum zweiten Kompostbehältnis zur

Belüftung und zur Einleitung und Aktivierung einer zweiten Erwärmungsphase notwendig ist. Sie weisen den coliformen Keimen eine Indikatorfunktion hinsichtlich der Abtötung pathogener Enterobakterien (z.B. Salmonellen) zu. In Kontrollstudien mit gleichem Aufbau wurde die Inaktivierung von Testkulturen von *Salmonella* Enteritidis, *Salmonella* Typhimurium, *Salmonella* Senftenberg, *Pasteurella multocida*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* 0157:H7 und *Aspergillus fumigatus* während der zweistufigen Kompostierung mit und ohne Verwendung von zusätzlichem Füllmaterial (Kohlenstoffquellen: Weizenstroh, Erdnusshülsen) untersucht. Jede Testkultur wurde sowohl direkt auf den Kadavern als auch in Röhrchen mit BHI (brain-heart-infusion)-Bouillon und 0,5% Agar in den Kompost verbracht. *Salmonella* Typhimurium (Inokulat auf Kadavern) wurde bei der zweiphasigen Kompostierung sowohl unter Verwendung von 10% und 20% Weizenstroh als auch ohne entsprechenden Zusatz bei gleichzeitig verminderter Kompostqualität wirksam abgetötet. Auch in den Teströhrchen konnte keines der bakteriellen Pathogene nach der ersten Phase der Kompostierung nachgewiesen werden. Sporen von *Aspergillus fumigatus* hingegen überlebten die erste Phase der Kompostierung, waren jedoch nach der zweiten Kompostierungsphase nur noch in einer von vier untersuchten Proben nachweisbar. BLAKE et al. (1994, 1996) stellten im einstufigen Kompostierungsprozess (Mini-Komposter) Komposttemperaturen von über 55°C an drei und mehr aufeinanderfolgenden Tagen fest. Dabei wurden beim Abschluss der Kompostierung nur noch geringe Keimzahlen von coliformen Keimen und Enterobakterien (<10 KBE/g bis 10^3 KBE/g) nachgewiesen; Salmonellen, *Campylobacter jejuni* und *Listeria monocytogenes* waren nicht mehr nachweisbar.

2.1.5.4 Vektoren

Die während der Kompostierung erzeugte Wärme, verbunden mit der Umschichtung des Kompostmaterials, verhindert die Entwicklung von Insektenlarven. Die Abdeckung des Komposthaufens mit einer trockenen Schicht aus Kompostmaterial reduziert den Zugang zu dem für die Eiablage zwingend notwendigen feuchterem Material der Miete und verhindert die Geruchsbildung (BRODIE und CARR, 1997). Eine entsprechend aufgebaute Miete wird kein Ungeziefer und keine Aasfresser anziehen (FULHAGE, 1995; BRODIE und CARR, 1997). Nicht abgedeckte Kadaver und eine fehlende Abdeckung der Miete nach erfolgter Umschichtung werden Aasfresser anlocken (BRODIE und CARR, 1997). Eine regelmäßige

Kontrolle auf einen eventuellen Befall ist durchzuführen (FULHAGE, 1995). Nach MURPHY (1990) können Mietenareale, die Mindesttemperaturen von 46°C nicht erreichen, Insekten beherbergen. Dabei können Insektenlarven insbesondere in peripheren kälteren Mietenbereichen überleben (MURPHY und CARR, 1991). In der Studie von RIVES et al. (1992) spiegelten die mit Kompostern assoziierten Fliegen in Anzahl und Spezies die Fliegenpopulation der einzelnen untersuchten Standorte wider. Sie gehen tendenziell bei einem erhöhten Aufkommen an Güllefliegen von einem fehlerhaften Kompostierungsprozess aus.

2.1.5.5 Biosicherheit beim Mietenaufbau im Stall

Zum Mietenaufbau sollten Kompostzusatzmaterialien genutzt werden, die ausreichend Energie (biologische Abbaubarkeit), Porosität und mechanische Festigkeit sowie eine ausreichende wasserbindende Kapazität aufweisen (WILKINSON, 2007). Sie sollten zur Einstellung eines idealen C:N-Verhältnisses und der anderen Kompostierungsfaktoren der Kompostmiete zugefügt werden (KALBASI et al., 2005). Eine ungeeignete Zusammensetzung dieser Materialien sowie falsches Management begünstigen möglicherweise das Überleben von Pathogenen im Kadaverkompost (KALBASI et al., 2006). Abdeckungen der Miete halten aasfressende Tiere fern. Von Umschichtungen vor Ende der ersten Kompostierungsphase sollte wegen der Freisetzung von faulen Gerüchen abgesehen werden (WILKINSON, 2007). Um eine Seuchenausbreitung zu vermeiden, sind u.a. Maschinen und Fahrzeuge mit geeigneten Methoden und Mitteln zu reinigen und zu desinfizieren (KALBASI et al., 2006).

3 Material und Methoden

3.1 Bestimmung der Dichte von Puten

- 4 verschiedengewichtige Puten (10 kg, 12 kg, 18 kg, 22 kg)
- Waage
- Aquarium (112 l Volumen, 0,8 m Länge, 0,35 m Breite, 0,4 m Höhe)
- Maßband
- 2 dünne Bambusstöcke aus dem Gartenbedarf
- Wasser

Ziel dieses Versuchs war die Berechnung des Volumens der Tierkadaverschichten in der Kompostmiete. In der Schlachthalle des Schlachtbetriebs Velisco Geflügel GmbH & Co. KG in Ahlhorn wurde ein Aquarium aufgestellt und mit Wasser gefüllt. Vier noch nicht entfederte Puten von unterschiedlichem Körpergewicht (10 kg bis 22 kg) wurden jeweils aus dem Schlachtprozess entnommen. Nach Vermessung ihrer Breite (auf Höhe der Brustbeinmitte) und ihrer Länge (ausgenommen Hals und Kopf) wurden die Tiere im Wasser mit Hilfe von zwei dünnen Bambusstöcken untergetaucht. Der Wasserstand vor und nach dem Eintauchen wurde jeweils dokumentiert.

Die Dichte wird angegeben als Masse pro Volumen in kg/m³.

$$\rho = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} \left[\text{kg/m}^3\right]$$

Das Gewicht des jeweiligen Tierkörpers dividiert durch die Differenz der Wasserstände vor und nach seinem Eintauchen ergab die Dichte der einzelnen Pute. Die durchschnittliche Dichte betrug 880,46 kg/m³. Über die ermittelten Dichtewerte einer jeden Pute wurde das Volumen der zu kompostierenden Tierkadaver mit einem Gesamtgewicht von 5,7 t berechnet. Das durchschnittliche Volumen der Tierkadaver im ersten Versuch betrug dabei 6,5 m³. Die Dichtewerte der einzelnen Puten sowie die daraus jeweils berechneten Volumina des Gesamtgewichtes der im ersten Versuch kompostierten Tierkadaver sind in Tabelle Anhang 5 zu finden.

3.2 Erster Kompostierungsversuch

3.2.1 Zeitraum und Ziel

Der erste Kompostierungsversuch fand vom 28. Juni bis zum 27. Juli 2006 über einen Zeitraum von 30 Tagen statt. Ziel des Versuchs war es, erste Erfahrungen und Befunde mit der Kompostierung von Putenkadavern in einem landwirtschaftlichen Betrieb zu sammeln. In dem Versuch sollten vorrangig technische Fragen zur Anlage der Miete hinsichtlich ihrer Größe, der Höhe der einzelnen Schichten sowie der Abdeckung beantwortet werden. Durch einen Vergleich der in der Miete erreichten Temperaturen mit entsprechenden Literaturangaben sollte diskutiert werden, inwieweit das Verfahren der Kompostierung zur Abtötung von Tierseuchenerregern beitragen kann.

3.2.2 Materialien

Zum Mietenaufbau verwendete Materialien:

- 58,7 t Hähncheneinstreu (Basis: Stroh), angeliefert aus verschiedenen niedersächsischen Geflügelbetrieben, gewogen mittels LKW-Waage bei Rothkötter Kraftfutterwerk GmbH, Meppen-Versen, verwendet zum Mietenaufbau
- ca. 5,7 t Putenkadaver, 474 Tiere mit einem Durchschnittskörpergewicht von 12 kg, aus verschiedenen niedersächsischen Geflügelbetrieben
- 4 aus Betonstahlplatten hergestellte Drahtkörbe, 100 cm x 100 cm x 50 cm, Ems-Dollart Stahlhandel GmbH & Co. KG (EDS), Emden
- 8 Blumenstangen (mit Kunststoff ummantelte Metallstangen)
- mittelstarke Malerfolie (0,03 mm) als Abdeckfolie für die Holzpfeiler im Stall, Lindner Haushaltsprodukte GmbH, Köln
- Packband NOPI-PACK® (50 mm breit, 66 m Länge), BDF Beiersdorf AG, Hamburg, zum Befestigen der Abdeckfolie an den Holzpfeilern im Stall
- Zollstock und Maßband
- Wasser, Wasseranschluss und -schlauch
- 2 optische Rauchmelder MH 12, REV Ritter GmbH, Mömbris
- Schutzkleidung: FFP3-Masken (ABE Protección S.L., Madrid), Einmaloveralls

Landmaschinen:

- Radlader L15 mit Ladeschaufel (9 t Einsatzgewicht, Schaufelgröße: 1,5 m³, O & K Orenstein & Koppel AG, Berlin, zum Auf- und Abbau der Miete)
- Teleskoplader mit Ladeschaufel (8 t Einsatzgewicht, Schaufelgröße: 1,5 m³, JCB Baumaschinen und Industriemaschinen GmbH, Köln, zum Aufbau der Miete)
- Hoflader Hoftrac® mit Greifzange und Schaufel (5 t Einsatzgewicht, Schaufelgröße: 0,8 m³, Weidemann GmbH & Co. KG, Diemelsee, zur Umschichtung der Miete)

Personal:

- 1 Fahrer eines Lohnunternehmens
- 2 Facharbeiter eines Lohnunternehmens

Im Versuchsstall war der Aufbau einer Miete von maximal 17 m Länge und 4 m Breite möglich. Um die Zahl der bei dieser Mietengröße kompostierbaren schweren Putenkadaver mit einem Durchschnittsgewicht von 12 kg zu bestimmen, wurden die Rechenvorgaben von TABLANTE et al. (2002) herangezogen (Tabelle Anhang 4), die eine Mietenbreite von 3,66 m und eine Höhe der Miete von 1,2 m vorgeben. In einer entsprechenden Miete von geplanten 17 m Länge waren nach diesen Berechnungen 474 Putenkadaver mit einem Gesamtgewicht von ca. 5,7 t zu kompostieren. Das Gesamtvolumen der geplanten, größeren Miete betrug 75,4 m³ (s. 9.2.1). Als Einstreubedarf wurde dabei das um das Gesamtvolumen der Putenkadaver (s. 3.1) reduzierte Mietenvolumen angenommen. Das benötigte Einstreuvolumen lag demnach bei 68,9 m³. Um diesen Bedarf an Einstreu sowie die Unsicherheiten in den Berechnungen des benötigten Einstreuvolumens abzudecken, wurde Einstreu im Überschuss bestellt. Da die Dichte der zu erwartenden inhomogenen Einstreu, die aus verschiedenen Geflügelbetrieben in Niedersachsen stammte, nicht bekannt war, wurde bei einer angenommenen Dichte von 0,75 t/m³ ein Bedarf von ca. 52 t ermittelt. Es wurden 8 t im Überschuss und somit insgesamt 60 t Einstreu bestellt, angeliefert wurden 58,7 t Einstreu. Die nicht verwendete Einstreu sollte im Fall einer möglichen Umschichtung zur Abdeckung der neu aufgebauten Miete dienen und nach Ende des Versuchs auf an den Hof grenzende Felder ausgebracht werden.

3.2.3 Mietenaufbau

In Anlehnung an den Mietenaufbau nach CARR et al. (1998) und TABLANTE et al. (2002) entsprechend der „layering“-Methode wurde eine Kompostmiete auf einer Fläche von ca. 68 m² (17 m Länge, 4 m Breite) unter praxisnahen Bedingungen aufgebaut. Es wurde der Zersetzungsprozess von 5,7 t Putenkadavern beobachtet. Diese Tiere waren verendet und stammten aus niedersächsischen Geflügelbetrieben. Abbildung 3 zeigt einen Querschnitt der 1,2 m hohen Miete.

Abbildung 3: Schematische Darstellung des Mietenquerschnitts im ersten Versuch.

Vor dem Aufbau der Miete wurden im Stall an zwei der mit Folie abgedeckten Holzpfeiler Rauchmelder in 3 m bis 4 m Höhe über der Mietenfläche angebracht, um der Gefahr von Kompostbränden, wie von RYNK (2000) beschrieben, vorzubeugen.

Die Miete wurde in zwei Hälften aufgebaut. Der Aufbau der einen Mietenhälfte unterschied sich zunächst in dem Einbau von Drahtkörben in die Tierkadaverschichten sowie nach der Umschichtung in der Anlegung einer zusätzlichen, unter der Miete angelegten Einstreuschicht.

Zunächst wurde eine Hälfte der Miete aufgebaut. Auf dem Stallboden wurde eine ca. 30 cm dicke Schicht aus Geflügeleinstreu gebildet. Darauf wurden einschichtig die Tierkadaver ausgelegt (Höhe: ca. 25 cm; Abbildung 4a) und mit Wasser benetzt, ohne die darunterliegende Einstreuschicht zu befeuchten. Die Tierkadaver wurden vollständig mit Geflügeleinstreu bedeckt. Auf diese ca. 20 cm dicke Einstreuschicht wurde die zweite Tierkadaverlage gelegt. Diese wurde wiederum mit Geflügeleinstreu (20 cm) abgedeckt, so dass am Ende eine zweilagige Miete mit einer Einstreuabdeckung vorhanden war. Mit dem Ziel einer besseren Wärmedämmung stand zu allen Seiten ein geringer Teil der Einstreu über.

Abbildung 4b zeigt die Einstreuabdeckung der zweiten Tierkadaverlage. Abbildung 4c zeigt den zuerst aufgebauten Mietenteil im Querschnitt. In einer Mietenhälfte (linker Teil) wurden Drahtkörbe in die beiden Tierkadaverlagen eingebaut, und zwar jeweils zwei zentral und peripher in jeder Tierkadaverlage. Diese Behältnisse wurden mit vier bis sechs Tieren befüllt. Sie dienten zur besseren Lokalisierung der sich bereits stark in Zersetzung befindlichen Tiere bei der Probenentnahme. Mit Hilfe dieser Drahtkörbe wurde die Möglichkeit einer gezielten Entnahme von Kadavermaterial während der Kompostierung für den zweiten Versuch getestet. Bei erfolgreicher Probenentnahme sollten die vor dem zweiten Versuch mit Newcastle Disease-Lebendimpfstoff geimpften und beim Virusnachweis positiv getesteten SPF-Hühner als Indikatortiere in diese Behältnisse gelegt und regelmäßig beprobt werden, um eine mögliche Virusinaktivierung während der Kompostierung nachweisen zu können. Im anderen Mietenteil (rechter Teil) wurde auf den Einbau dieser Drahtkörbe verzichtet; ansonsten war der Aufbau identisch (Abbildung 4d).

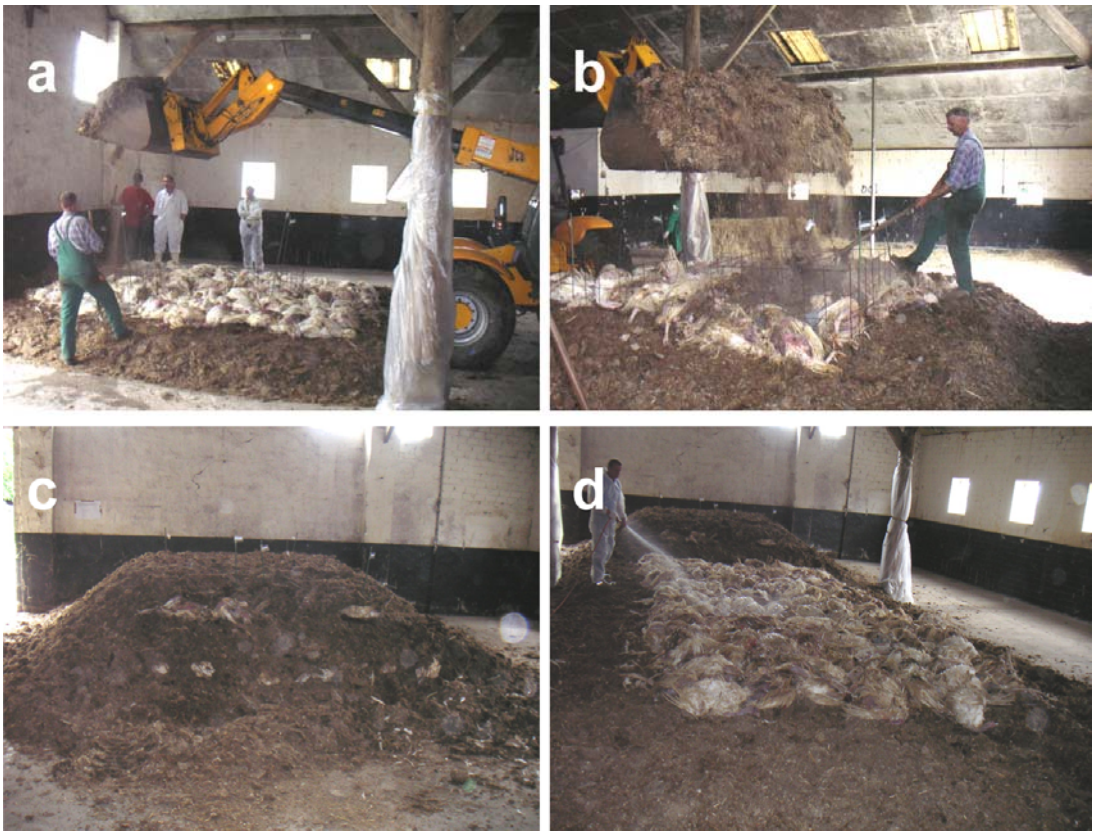

Abbildung 4: Erster Versuch - Aufbau der Miete.
a) erste Tierkadaverlage im zuerst aufgebauten Teil des Komposthaufens
b) zweite Tierkadaverlage im zuerst aufgebauten Teil der Miete
c) Querschnitt
d) erste Tierkadaverlage im zuletzt aufgebauten Teil des Komposthaufens

3.2.4 Umschichtung der Miete

Aufgrund der anfangs nur mäßig einsetzenden Temperaturerhöhung wurde dreizehn Tage nach Aufbau der Miete eine Umschichtung durchgeführt. Diese diente der Anregung des Kompostierungsprozesses durch Sauerstoffeintrag sowie einer weitergehenden Vermischung des zu kompostierenden Materials (MURPHY und HANDWERKER, 1988). Mit Hilfe eines Hofladers wurde das Mietenmaterial zu den Seiten des Stalles befördert und von dort in der Mitte des Stalles neu aufgebaut. Während des Wiederaufbaus des Komposthaufens wurde das Material fortlaufend bewässert. Unter der einen Mietenhälfte (linker Teil) wurde eine zusätzliche Einstreuschicht von 20 cm bis 25 cm als Wärmedämmung aufgebaut. Die andere Hälfte der Miete (rechter Teil) wurde direkt auf dem Betonboden aufgebaut. Auf den Einbau der Drahtkörbe wurde beim Wiederaufbau verzichtet.

3.3 Tierversuch „Indikatortiere“

- Newcastle Disease (ND)-Impfstoff AviPro® ND LASOTA, 1x1000 Dosen; Lohmann Animal Health GmbH (LAH), Cuxhaven
- AviPro® Diludrop (Lösungsmittel), 1x34 ml, LAH
- Zwischenstück und Tropfenformer, LAH
- Kanülen (Sterican, 0,9x40 mm), B. Braun Melsungen AG, Melsungen
- Blutprobengefäße (Polypropylenröhrchen), 10 ml, KABE Labortechnik GmbH, Nümbrecht-Elsenroth
- Rachen- und Kloakentupfer sowie Transportmedium (PBS mit Mykostatin, Penicillin, Streptomicin und Gentamicin, hergestellt durch das Lebensmittel- und Veterinärinstitut Oldenburg des LAVES nach der Amtlichen Methodensammlung für anzeigepflichtige Tierseuchen, Friedrich-Loeffler-Institut, Stand: Juni 2007)
- Einmalhandschuhe, Heiland VET GmbH, jetzt Henry Schein VET GmbH, Hamburg

Zur Darstellung der Virusinaktivierung sollten Hühner oder Puten, die mit einem geeigneten Indikatorkeim infiziert wurden, während des zweiten Kompostierungsversuchs in die aufzubauende Miete eingebracht und in regelmäßigen Abständen auf vorhandenes Virus untersucht werden. Diese infizierten Tiere (Indikatortiere) sollten als ganze Tierkörper kompostiert werden, um die Bedingungen einer bei Ausbruch einer aviären Tierseuche

notwendigen Kompostierung besser nachzustellen. Als Indikatortiere wurden legereife SPF-Hühner (Lohmann Animal Health GmbH) verwendet. Als Indikatorerreger diente Newcastle Disease-Impfvirus, da das Virus der Newcastle Disease im Vergleich zu aviären Influenzaviren eine höhere Tenazität aufweist. Dieser Impfversuch bei SPF-Hühnern wurde unter dem Aktenzeichen 06/1188 als Tierversuch genehmigt.

Zur Untersuchung der Viruspersistenz nach Impfung wurden zwölf SPF-Hühner im Stall F2 (Isolierhaus) der Klinik für Geflügel der Tierärztlichen Hochschule Hannover eingestallt. Nach einer Ruhephase von 1,5 Tagen wurden bei allen zwölf Tieren durch Punktion der Flügelvene (Vena ulnaris) Blutproben (Serumproben) zur Bestimmung des Antikörpertiters sowie zusätzlich Rachen- und Kloakentupferproben entnommen. Daran anschließend wurden die Hühner mit dem nach Anweisung des Herstellers gelösten ND-Lebendimpfstoff AviPro® ND La Sota in 20fach höherer Dosis als für den Impfstoff angegeben geimpft. Diese höhere Dosierung wurde gewählt, da die legereifen SPF-Hühner aufgrund ihres Alters ein höheres Lebendgewicht aufwiesen und man das Risiko einer Unterdosierung bezüglich des angestrebten Impfvirusnachweises reduzieren wollte. Die Verabreichung des Impfstoffes erfolgte konjunktival (intraokulär), da diese Form der Applikation zur höchstmöglichen Virusausscheidung führt (Dr. Frank Fehler, vormals Lohmann Animal Health GmbH, jetzt vaxxinova GmbH, persönliche Mitteilung).

Da in den Organen (Respirationstrakt, Milz, Thymus, Bursa fabricii) die höchsten Virusgehalte 2 bis 6 Tage post vaccinationem bei Applikation des Impfstoffs per Aerosol (eine von den Ergebnissen her mit der konjunktivalen Verabreichung zu vergleichende Applikationsform) festzustellen sind (Dr. Frank Fehler, vormals Lohmann Animal Health GmbH, jetzt vaxxinova GmbH, persönliche Mitteilung), wurden am 2., 4., 6. und 9. Tag nach der Impfung bei allen Tieren im Stall jeweils Rachen- und Kloakentupferproben entnommen. An diesen Tagen wurden zudem jeweils drei Tiere zur Tötung und Sektion ins Lebensmittel- und Veterinärinstitut Oldenburg des LAVES gebracht. Während der Sektion wurden erneut Blutproben gezogen, zudem wurden die Leber, die Lunge, die Milz, die Nieren sowie Proben vom Gehirn und Darm entnommen. Die Rachen- und Kloakentupferproben wurden zusammen mit dem Organmaterial aus der Sektion auf das Impfvirus hin untersucht. Der direkte und der indirekte Erregernachweis erfolgten durch das Lebensmittel- und Veterinärinstitut Oldenburg des LAVES. Die dazu benötigten Materialien sowie die vollständige Methodenbeschreibung befinden sich in Kapitel 9.1.1 im Anhang.

3.4 Zweiter Kompostierungsversuch

3.4.1 Zeitraum und Ziel

Der zweite Kompostierungsversuch fand vom 23. März bis 26. April 2007 über einen Zeitraum von 35 Tagen statt. In Anlehnung an den Mietenaufbau nach SPENCER et al. (2004) sowie SPENCER und GUAN (2006), entsprechend der „mix and pile"-Methode und basierend auf den Ergebnissen aus dem ersten Versuch, wurde beim Versuchsaufbau besonderer Wert auf eine gute Isolierung der Miete gelegt, um Wärme- und Feuchtigkeitsverluste zu minimieren. Die Auswirkungen dieser verstärkten Wärmedämmung auf die Temperaturen innerhalb der Miete sollten näher untersucht werden, ebenso die Konsequenzen einer verstärkten Bewässerung. Zusätzlich sollten die während der Kompostierung freiwerdenden Emissionen wie Geruch und Gase (Ammoniak, Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff) gemessen werden.

3.4.2 Materialien

Zum Mietenaufbau verwendete Materialien:

- 51,5 t Hähncheneinstreu (Basis: Stroh, Sägemehl), angeliefert aus zwei niedersächsischen Geflügelbetrieben, gewogen mittels LKW-Waage beim Lohnunternehmen Johann Janssen e. Kfm., Aurich, verwendet zum Mietenaufbau
- 5,2 t Putenkadaver, 433 Tiere mit einem Durchschnittsgewicht von 12 kg, aus verschiedenen niedersächsischen Geflügelbetrieben
- 52 kg Maissilage, Landwirt Manfred Harms, Bagband/Großefehn
- 147 HD-Strohballen (1 m Länge, 0,5 m Breite, 0,35 m Höhe; Gewicht: 16 kg bis 16,5 kg), Landwirt Johann Oldewurtel, Norden
- 5 Großpackungen Stroh (2,4 m Länge, 1,2 m Breite, 0,9 m Höhe), Lohnunternehmen Brants, Norden
- Silofolie DLG Coex 3 (dreilagig, schwarz/grau, Dicke: ca. 200 µm), Vertrieb durch Beiselen GmbH, Ulm
- Dampfbremsfolie (blau), wdiBERLIN GmbH, Berlin

- Hochleistungsband Sicrall® (gelb, einseitig klebend, 40 m lang, 0,06 m breit), SIGA, Ruswil (Schweiz); spezielles Klebeband aus dem Dachbau zum Verkleben der Dampfbremsfolienteilstücke
- mittelstarke Malerfolie (0,03 mm) als Abdeckfolie für die Holzpfeiler im Stall, Lindner Haushaltsprodukte GmbH, Köln
- Packband NOPI-PACK® (50 mm breit, 66 m Länge), BDF Beiersdorf AG, Hamburg, zum Befestigen der Abdeckfolie an den Holzpfeilern im Stall
- PVC-Dränrohr (Flex nackt) NW 100, 10 cm Durchmesser, 14 Teilstücke (je 7 m), ACO Severin Ahlmann GmbH & Co. KG, Rendsburg
- Wasser, Wasseranschluss
- Wasseruhr (Leihgabe der Stadtwerke Norden), Siemens AG, München, sowie entsprechendes Zubehör (Verbindungsstück zum Wasserhahn, Dichtungsband, Dichtungsringe)
- Schlauch-Komplettset (PVC-Gartenschlauch: 13 mm Lumen, 20 m lang, 20 bar; Multifunktionsbrause mit Impulshandventil und Schlauchstück, Schlauch- und Hahnstück, Adapter), Gardena Deutschland GmbH, Ulm
- Zollstock und Maßband
- 8 Blumenstangen (mit Kunststoff ummantelte Metallstangen)
- 2 optische Rauchmelder MH 12, REV Ritter GmbH, Mömbris
- Schutzkleidung: FFP3-Masken (ABE Protección S.L., Madrid), Einmaloveralls

Landmaschinen:

- Radlader L15 mit Greifzange und Ladeschaufel (9 t Einsatzgewicht, Schaufelgröße: 1,5 m³, O & K Orenstein & Koppel AG, Berlin, zum Auf- und Abbau der Miete)
- Teleskoplader mit Ladeschaufel (8 t Einsatzgewicht, Schaufelgröße: 1,5 m³, JCB Baumaschinen und Industriemaschinen GmbH, Köln, zum Aufbau der Miete)

Personal:

- 1 Fahrer eines Lohnunternehmens
- 2 Facharbeiter eines Lohnunternehmens
- 1 weitere Person zum Bewässern der Miete beim Aufbau

Die Berechnung der benötigten Einstreu wurde auf der Basis der Ergebnisse des ersten Versuchs durchgeführt. Zum Aufbau der Miete im ersten Versuch wurde ca. das 7fache des Gewichts der Putenkadaver an Einstreu verwendet. Bei einem Putengesamtgewicht von 5,2 t im zweiten Versuch bestand folglich ein Einstreubedarf von ca. 36 t. Um einen evtl. auftretenden Mehrbedarf an Einstreumaterial wegen des gegenüber dem ersten Versuch geänderten Mietenaufbaus auszugleichen, wurden insgesamt 50 t Einstreu bestellt.
Die Formeln zur Berechnung der Foliengrößen in unterschiedlicher Höhe des Mietenmaterials sowie die Abschätzung der benötigten Anzahl an Strohballen sind in Kapitel 9.2.2 im Anhang dargestellt.

3.4.3 Mietenaufbau

Die Miete wurde in zwei Hälften aufgebaut. Der Aufbau unterschied sich in der Anzahl der verwendeten Folien. Abbildung 5 zeigt den Aufbau der beiden Mietenhälften jeweils im Querschnitt.
Vor dem Mietenaufbau wurden die Holzpfeiler im Stall mit Folie abgedeckt. Die im Rahmen des ersten Versuchs an zwei dieser Holzpfeiler angebrachten Rauchmelder wurden auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft.

Abbildung 5: Schematische Darstellung des Querschnitts der beiden Mietenhälften im zweiten Versuch.
a) die mit Folien und Stroh abgedeckte Mietenhälfte (linker Teil);
b) die nur mit Stroh abgedeckte Mietenhälfte (rechter Teil).
Zur besseren Übersicht wurden die Folien mit einem Abstand zu den jeweils angrenzenden Mietenschichten dargestellt.

Um die Wärmeabgabe an den Betonboden im Stall zu reduzieren, wurden auf der zu bebauenden Mietenfläche Strohballen ausgelegt. Auf dieser Strohballenfläche von ca. 35 cm Höhe wurde eine Siloplane ausgebreitet (Dr. J. Lloyd Spencer, Ottawa Laboratory Fallowfield, Canadian Food Inspection Agency, persönliche Mitteilung; Abbildung 6a). Auf der Siloplane wurde eine ca. 20 cm dicke Schicht aus lockerem Stroh geformt (Abbildung 6b), auf die nach und nach Tierkadaver (insgesamt 5,2 t) und Einstreu vermischt aufgetragen wurden. Um die metabolische Aktivität der Mikroorganismen und somit die Wärmebildung zu unterstützen, wurde als Kohlenstoffquelle diesem Tierkadaver-Einstreu-Gemisch Maissilage (Dr. J. Lloyd Spencer, Ottawa Laboratory Fallowfield, Canadian Food Inspection Agency, persönliche Mitteilung) in einem Anteil von 1% des Putengesamtgewichtes zugesetzt. Zur passiven Belüftung wurden in 0,4 m Höhe alle 1,2 m Drainagerohre quer in das zu kompostierende Material eingebaut (SPENCER et al., 2004; Abbildung 6c). In einem Teil

der Miete (linker Teil, Abbildung 5a) wurde das Kompostmaterial mit einer Dampfbremsfolie abgedeckt (Abbildung 6d), auf die eine ca. 30 cm dicke Schicht aus Stroh, an den Seiten in Form von Strohplatten, aufgetragen wurde (Dr. J. Lloyd Spencer, Ottawa Laboratory Fallowfield, Canadian Food Inspection Agency, persönliche Mitteilung; Abbildung 6e). Auf diesem Mietenteil wurde abschließend eine Siloplane ausgebreitet (Abbildung 5a), in die oben Luftlöcher und seitlich Öffnungen für die Drainagerohre geschnitten wurden. Im zweiten Teil der Miete (Abbildung 5b) wurden im oberen Abschnitt keine Folien eingebaut. Die Abdeckung erfolgte allein mit einer ca. 30 cm dicken Strohschicht (Abbildung 6f). Die Höhe des im zweiten Versuch aufgebauten Komposthaufens betrug ca. 1,85 m.

Abbildung 6: Zweiter Versuch - Aufbau der Miete.
a) Strohballenpolster und untere Siloplane
b) Auftragung der Strohschicht auf die untere Siloplane
c) Einbau der Drainagerohre
d) Abdeckung des einen Teils der Miete mit Dampfbremsfolie
e) Auftragung der Strohschicht auf die Dampfbremsfolie bei dem mit Folien und Stroh abgedeckten Mietenteil
f) Auftragung der Strohschicht auf den nur mit Stroh abgedeckten Mietenteil (ohne Abdeckfolie)

3.4.4 Bewässerung der Miete

Der mit Folie abgedeckte Teil der Miete (Abbildung 5a) wurde während des Aufbaus fortwährend in mehreren Schichten bis zur Sättigung (Pfützenbildung) bewässert. Der nur mit Stroh abgedeckte Teil des Komposthaufens (Abbildung 5b) wurde während des Aufbaus weniger bewässert. Geplant waren bei diesem Teil der Miete regelmäßige Bewässerungen im Verlauf der Kompostierung in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt. Dabei sollte im Mietenmaterial ein Feuchtigkeitsgehalt von 65% erreicht werden.

Ausgehend vom Mittelwert der an den vier Messorten der zu bewässernden Mietenhälfte wöchentlich festgestellten Feuchtigkeitsgehalte wurde jeweils der Wasserzusatz (in %), der zum Erreichen des Zielfeuchtigkeitsgehaltes von 65% notwendig war, nach der folgenden Formel (s. 9.2.3; Dr. Brit Zierenberg, LAVES, persönliche Mitteilung) berechnet:

$$y = \frac{(0{,}65 - x)}{0{,}35}$$

y = Wasserzusatz (in %)

x = arithmetisches Mittel der Feuchtigkeitsgehalte an den vier Messorten in der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte jeweils bei der wöchentlichen Untersuchung (in %)

Pro 1000 g Kompost waren y % an Wasser hinzuzufügen, um bei einem durchschnittlichen Feuchtigkeitsgehalt von x % im Mietenmaterial einen Wassergehalt von 65% zu erzielen.
Da nur der mit Stroh abgedeckte Mietenteil (rechter Teil) bewässert werden sollte, wurde die notwendige Gesamtmenge an Wasser für 17,18 t Einstreu, die Hälfte des beim Aufbau des Komposthaufens verwendeten Materials, berechnet. Das Gewicht der Maissilage (insgesamt 52 kg) sowie der Putenkadaver, die per se einen hohen Feuchtigkeitsgehalt aufweisen (KEENER und ELWELL, 2000), wurde dabei nicht berücksichtigt. Das Wasser wurde mittels eines für den Gartenbedarf handelsüblichen Sprühregners (Sprühregner Fox, Gardena Deutschland GmbH, Ulm) über die Mietenoberfläche verteilt.

3.5 Untersuchungen und Messungen im Verlauf der Kompostierungsversuche

3.5.1 Untersuchungen der Miete

Die Materialien für die mikrobiologischen Untersuchungen des Mietenmaterials sowie die jeweils angewandte Methodik sind in Kapitel 9.1.2, die Beschreibung der Untersuchungen des Feuchtigkeitsgehaltes des Kompostmaterials in Kapitel 9.1.3 im Anhang aufgeführt.

3.5.1.1 Probenentnahme (allgemein)

- Kompostbohrer [Probenlänge 60 cm, Gesamtlänge 1,23 m; konstruiert von Karl-Heinz Linkert, Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie (ITTN) der Tierärztlichen Hochschule Hannover]
- Dosen mit Schraubverschluss aus Polypropylen mit einem Fassungsvermögen von 1250 ml, Heiland VET GmbH, jetzt Henry Schein VET GmbH, Hamburg
- Gefriertüten, Haushaltsbedarf
- Handschuhe, Heiland VET GmbH, jetzt Henry Schein VET GmbH, Hamburg

Es wurden in beiden Versuchen jeweils acht Probenentnahme- und gleichzeitig Temperaturmessorte in der Miete bestimmt (Abbildung 7b). Die Miete wurde im ersten Versuch fiktiv, im zweiten Versuch nach den beiden unterschiedlichen Aufbauten in zwei Hälften unterteilt. Die an die östliche Stallmauer grenzende Hälfte bzw. die zusätzlich mit Folien abgedeckte Mietenhälfte im zweiten Versuch wurde als linker Teil, die zum Laufstall gelegene Hälfte bzw. die nur mit Stroh abgedeckte Mietenhälfte als rechter Teil bezeichnet (Abbildung 7a).

Im ersten Versuch wurden die Temperaturen jeweils in den zwei Tierkadaverschichten erhoben. Dazu wurden die Temperatursonden bzw. die Sonde des Handmessgerätes entsprechend dem Mietenaufbau im ersten Versuch von der Mietendeckfläche aus zur Temperaturmessung in den oberen Schichten 40 cm und in den unteren Schichten 80 cm tief platziert. Im zweiten Versuch wurden die Temperaturen aufgrund des veränderten Aufbaus in Tiefen von 50 cm und 90 cm im Tierkadaver-Einstreu-Gemisch gemessen. In diesen beiden Tiefen wurden pro Mietenhälfte jeweils zwei Messorte, im Zentrum und im Randbereich, festgelegt. Pro Mietenteil waren somit vier Messorte vorhanden, die entsprechend ihrer

Lokalisation benannt wurden: links bzw. rechts oben sowie unten zentral und peripher (Abbildung 7b).

An diesen insgesamt acht Messorten zur Erfassung der Temperaturen wurden in beiden Versuchen die Proben für weiterführende Untersuchungen (Mikrobiologie, Feuchtigkeitsgehalt) sowohl manuell als auch mittels eines Kompostbohrers entnommen. Im ersten Versuch wurde die Probenentnahme jeweils während der Umschichtung und des Mietenabbaus manuell durchgeführt. Im zweiten Versuch erfolgte die Beprobung des linken folienabgedeckten Mietenteils nur am Anfang und am Ende des Versuches manuell. Eine zusätzliche regelmäßige Beprobung während des Kompostierungsprozesses mit Hilfe eines Kompostbohrers wie beim nur mit Stroh abgedeckten, rechten Teil war nicht möglich. Das zu beprobende Kompostmaterial war weder von der Seite noch von der Mietendeckfläche aus zu erreichen. Von der Seite bestand kein Zugang zum Mietenmaterial, da unter der abdeckenden Siloplane Strohmatten lagen, die man mit dem Kompostbohrer nicht durchdringen konnte. Bei der Probenentnahme von oben erreichte man mit dem Bohrer nicht die entsprechende Tiefe. Es war bei dieser Vorgehensweise nur eine Beprobung der oberen Schichten, aufgrund der unter der Siloplane liegenden Strohschicht jedoch unter erschwerten Bedingungen, möglich. Da jeweils negative Auswirkungen auf die Funktionstüchtigkeit der Folien, insbesondere der Dampfbremsfolie, bei ihrer Durchlöcherung mit dem Kompostbohrer zu erwarten waren, wurde auf eine kontinuierliche Beprobung des linken Mietenteils verzichtet, um den Kompostierungsprozess nicht zu gefährden.

Die entnommenen Proben wurden im Stall jeweils in Gefriertüten verwahrt. Sie wurden in diesen Gefriertüten gemischt und dann in Plastikdosen mit Schraubverschluss gefüllt und umgehend zur Untersuchung eingesandt.

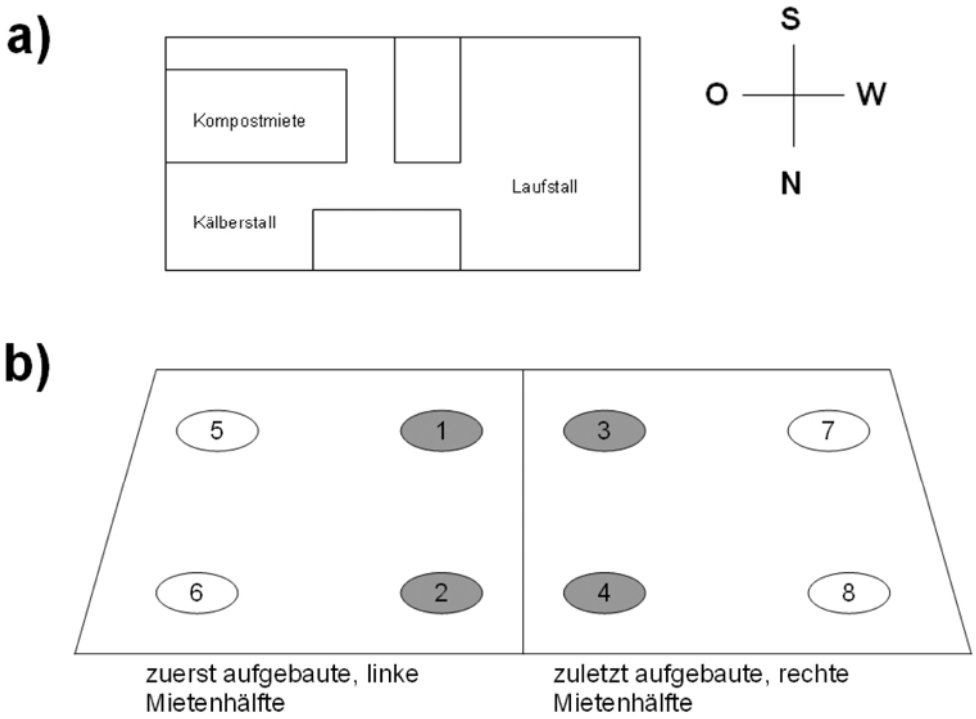

Abbildung 7: Erster und zweiter Versuch - Festlegung der Mietenmessorte anhand der Mietenlage im Versuchsstall.
a) Lage der Miete im Versuchsstall
b) Anordnung der acht Messorte in der Miete; grau = Zentrum der Miete mit den Messorten 1 = links oben zentral, 2 = links unten zentral, 3 = rechts oben zentral und 4 = rechts unten zentral; weiß = peripherer Bereich der Miete mit den Messorten 5 = links oben peripher, 6 = links unten peripher, 7 = rechts oben peripher und 8 = rechts unten peripher; dabei entsprechen die Messorte 1, 3, 5 und 7 den oberen, die Messorte 2, 4, 6 und 8 den unteren Schichten der Miete.

3.5.1.2 Temperaturen in der Miete

- 4 Datenlogger testo 175-T2 (Messbereich extern -40°C bis +120°C, Genauigkeit: extern bei -25°C bis +70°C ± 0,3°C, Auflösung bei -20°C bis +70°C 0,1°C, Speicherkapazität: 16.000 Messwerte, Schutzart: IP 68), jeweils angeschlossen an eine 1,5 m lange Einstechsonde (Kompostsonde), testo AG, Lenzkirch
- Comfort Software Basic V 3.4 Service Pack 4, testo AG, Lenzkirch, zum Auslesen der von den Datenloggern abgespeicherten Messwerte notwendige Software
- USB-Interface, PC-Anschlusskabel, USB-Driver Software V 1.06, testo AG, Lenzkirch
- 1-Kanal-Temperatur-Handmessgerät testo 110 (Messbereich -50°C bis +150°C, Genauigkeit bei -20°C bis +80°C ± 0,2°C, Auflösung 0,1°C), angeschlossen an einen 1,5 m langen Temperaturfühler (Sonderanfertigung), testo AG, Lenzkirch

- TopSafe, Schutzhülle vor Stoß und Schmutz für das Handmessgerät, testo AG, Lenzkirch
- Wärmebildkamera Varioscan 3021 (spektraler Messbereich: 8 µm bis 12 µm, Temperaturmessbereich: -40°C bis 1200°C, Temperaturauflösung: ±0,03 K, geometrische Auflösung: 1,5 mrad, Bildpunkteanzahl: 86400), Jenoptik AG, Jena
- Digitalkamera zur Anfertigung von Fotos, die zur Orientierung bei der Auswertung der Wärmebilder dienten
- Maßband, Zollstock
- Packband NOPI-PACK® (50 mm breit, 66 m Länge), BDF Beiersdorf AG, Hamburg, zur Markierung der Eindringtiefe der Sonden

Die Temperaturen (in °C) in der Miete wurden während der Kompostierungsversuche an den unter 3.5.1.1 beschriebenen acht Lokalisationen zur Probenentnahme gemessen. In dem zuerst aufgebauten Teil der Miete im ersten Versuch sowie in der mit Folien und Stroh abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Versuch (jeweils linker Teil) wurden die Temperaturen an den entsprechenden vier Messorten mit Datenloggern, angeschlossen an 1,5 m lange Einstechsonden (Kompostsonden), in regelmäßigen Abständen erfasst und gespeichert. Die Auslesung dieser Datenlogger erfolgte über ein USB-Interface mit Hilfe der entsprechenden Datenlogger-Software. Im zuletzt aufgebauten Mietenteil des ersten Versuchs sowie in der nur mit Stroh abgedeckten Hälfte der Miete des zweiten Versuchs (jeweils rechter Teil) erfolgte die Temperaturmessung an den entsprechenden vier Lokalisationen über ein 1-Kanal-Handmessgerät mit angeschlossener 1,5 m langer Einstechsonde jeweils morgens um 10 Uhr und abends um 18 Uhr. Im ersten Versuch wurden die Sonden zur Temperaturmessung in der oberen Tierkadaverlage 40 cm, in der unteren Kadaverschicht 80 cm tief in das Mietenmaterial eingeführt. Diese Eindringtiefen der Sonden wurden auch für die Zeit nach der Umschichtung, in der aufgrund der Vermischung des Mietenmaterials keine Tierkadaverlagen mehr bestanden, beibehalten. Im zweiten Versuch wurden die Sonden zur Messung in den oberen Schichten 50 cm, in den unteren Lagen 90 cm tief im Mietenmaterial eingesetzt. Die entsprechende Eindringtiefe wurde an jeder Sonde mit Klebeband markiert. Diese Markierung wurde bei Bedarf erneuert.

Die Anfertigung der Wärmebildkameraaufnahmen am 23. Tag während des ersten und am 29. Tag während des zweiten Kompostierungsversuchs erfolgte durch das Thermografiebüro Heiling (Norden/Ostfriesland).

3.5.2 Umgebungsuntersuchungen

3.5.2.1 Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmessungen

- Multifunktionsmessgerät testo 452 mit Feuchte- und Temperatursensor (Fühler: Temperatur und Feuchte, 0% bis 100% relative Feuchtigkeit, maximale Abweichung: ± 2% relative Feuchtigkeit, Auflösung: 0,1)

Zu den gleichen Zeiten wie die Handmessung der Temperaturen in jeweils einem Teil der Miete (rechter Teil, s. 3.5.1.2) wurden die Luftfeuchtigkeit (in %) und die Temperatur (in °C) sowohl im Stall als auch außerhalb mit Hilfe eines Multifunktionsgerätes mit Feuchte- und Temperatursensor erfasst.

3.5.2.2 Entwesung

- Ratten- und Mäuseköder Murin forte Paste, 150 g pro Köderschale, 0,05 g/kg Bromadiolon, Vebi Istituto Biochimico srl, Borgoricco Padua (Italien), Vertrieb durch PPS GmbH, Hochdorf
- Nagerköderstation Ratte BORA (rund), 160 mm Höhe x 320 mm Breite x 250 mm Tiefe, per Schlüssel oder durch Draht verschließbar, Vertrieb durch PPS GmbH, Hochdorf
- Nagerköderstation Ratte Guardian LP, 120 mm Höhe x 275 mm Breite x 245 mm Tiefe, per Schlüssel verschließbar, Vertrieb durch PPS GmbH, Hochdorf
- Waage KERN 442-512 N mit Batteriebetrieb (Ablesbarkeit d = 1 g, Wägebereichmaximum 4000 g, Reproduzierbarkeit/Standardabweichung 1 g, Linearität ± 2 g), Kern & Sohn GmbH, Balingen-Frommern
- Heringe aus dem Zeltbedarf zum Befestigen einzelner Rattenköderstationen
- Handschuhe, Haushaltsbedarf

Zu Beginn des ersten Kompostierungsversuchs wurden durch zwei Mitarbeiter vom LAVES sowie durch einen Mitarbeiter aus der Geflügelwirtschaft insgesamt 22 mit Köder befüllte und

z.T. durch Zeltheringe befestigte Rattenköderstationen sowie eine ebenfalls mit Gift versehene Kontrollstation aufgestellt. Dabei wurden im Versuchsstall 5 Fallen sowie die Kontrollstation positioniert. Letztere diente dazu, Gewichtsverluste durch Trocknung des Giftes festzustellen. Sie wurde, um einen Zugang von Nagetieren zu verhindern, mit dem Laufgang nach oben postiert. Auf dem Hofgelände wurden insgesamt 17 Rattenköderstationen verteilt. In Abbildung 8 ist ein Lageplan der aufgestellten Fallen dargestellt. Die Köder der aufgeführten Fallen wurden während des Versuchs wöchentlich auf Fraßspuren kontrolliert und gewogen. Das Gewicht der Köder sowie der Gewichtsverlust als Differenz zum vorher bestimmten Wert wurden jeweils pro Station und Kontrolldurchgang dokumentiert. Waren die Köder verpilzt, verfärbt, verunreinigt (Kot, Urin) oder feucht geworden (Leitfaden zur großräumigen Rattenbekämpfung in Niedersachsen, LAVES, 2006) bzw. war mehr als die Hälfte des Ködergifts aufgefressen, wurden die Fallen neu befüllt. Das Gewicht der neuen Köder wurde jeweils protokolliert.

Nach dem ersten Versuch bis einen Tag vor Aufbau der Miete des zweiten Kompostierungsversuchs, für ungefähr acht Monate (238 Tage), wurden die Rattenköderstationen in einem Abstand von ca. sechs Wochen auf die o.a. Weise kontrolliert. Da der Versuchsstall direkt im Anschluss an den ersten Versuch als Strohlager diente, konnten die in diesem Gebäude befindlichen Fallen mit Ausnahme der Kontrollstation (Nr. 19), die vorübergehend in den Vorraum des Stalles umgesetzt worden war, in dieser Zeit nicht gewogen werden. Von den außerhalb des Versuchsstalles aufgestellten Rattenköderstationen war die Falle Nr. 7 defekt und die Falle Nr. 13 aus ungeklärter Ursache nicht mehr vorhanden. Die Falle Nr. 13 wurde durch Umsetzen der Falle Nr. 16 aus der Fahrzeughalle ersetzt. Daher fielen nach dem ersten Versuch auch die Fallen Nr. 7 und Nr. 16 weg.

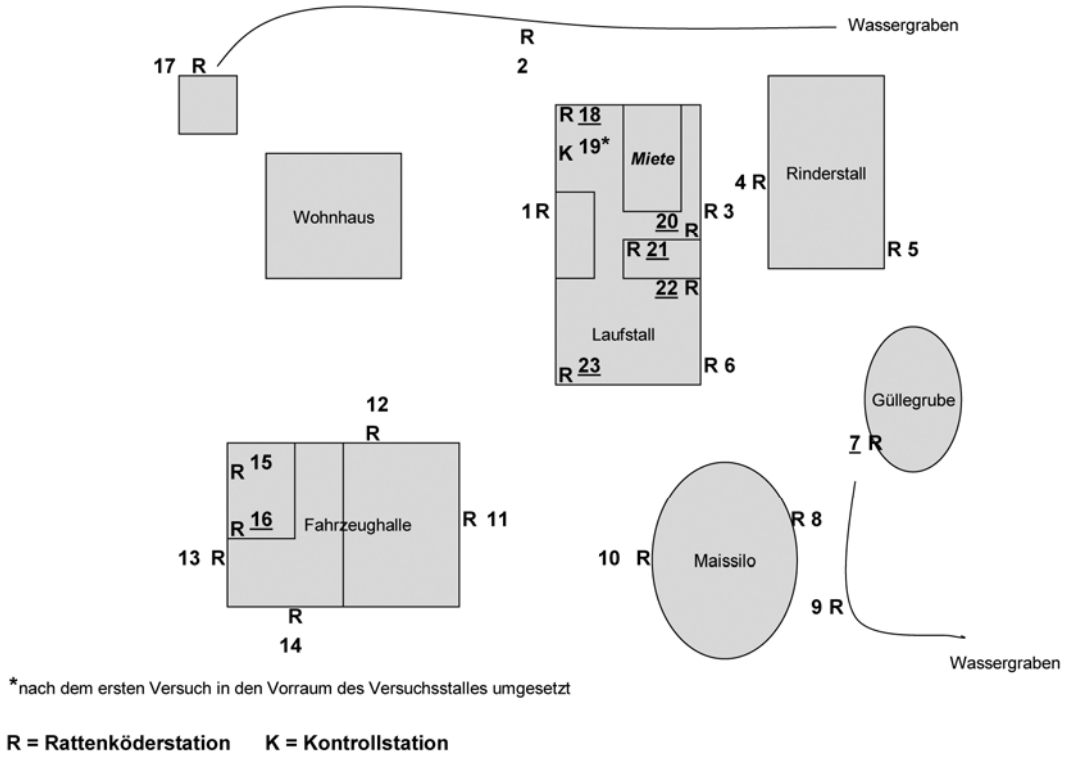

Abbildung 8: Lageplan der Rattenköderstationen im Versuchsstall sowie auf dem Hofgelände während des ersten Versuchs und in der Zeit zwischen den beiden Kompostierungsversuchen.
Unterstrichene Fallennummern kennzeichnen Stationen, die nach dem ersten Versuch nicht kontrolliert wurden.

Zu Beginn des zweiten Kompostierungsversuchs wurde von den zwei fehlenden Fallen die Station Nr. 7 neu aufgestellt. Als zusätzliche Fallen wurden bei der Güllegrube in der Nähe dieser Station die Nr. 25 sowie im Versuchsstall die Nr. 24 positioniert. Somit wurden während des zweiten Versuchs insgesamt 24 Fallen auf die o. a. Weise wöchentlich überprüft, und zwar 6 Stationen sowie die Kontrollstation im Versuchsstall und 17 außerhalb des Versuchsstalles verteilte Fallen. Abbildung 9 zeigt einen Lageplan dieser Rattenköderstationen. Das in diesem Lageplan dargestellte Maissilo wurde wenige Tage nach Abbau der Miete des zweiten Versuchs vollständig abgetragen.

Nach dem zweiten Versuch wurden die Fallen für ca. fünf Monate (143 Tage) in einem Abstand von ungefähr sechs Wochen kontrolliert. Dabei konnten im Gegensatz zu den Kontrollen nach dem ersten Versuch nun auch die Fallen im Versuchsstall überprüft werden. Von den Stationen außerhalb des Versuchsstalles auf dem Hofgelände waren die Fallen Nr. 7 und Nr. 8 ab dem ersten Rundgang in der Zeit nach dem zweiten Versuch aus ungeklärter Ursache nicht mehr vorhanden. Somit wurden in dieser Zeit insgesamt nur 22 Stationen

kontrolliert, 6 Fallen und die Kontrollstation im Versuchsstall sowie 15 Fallen außerhalb des Stalles.

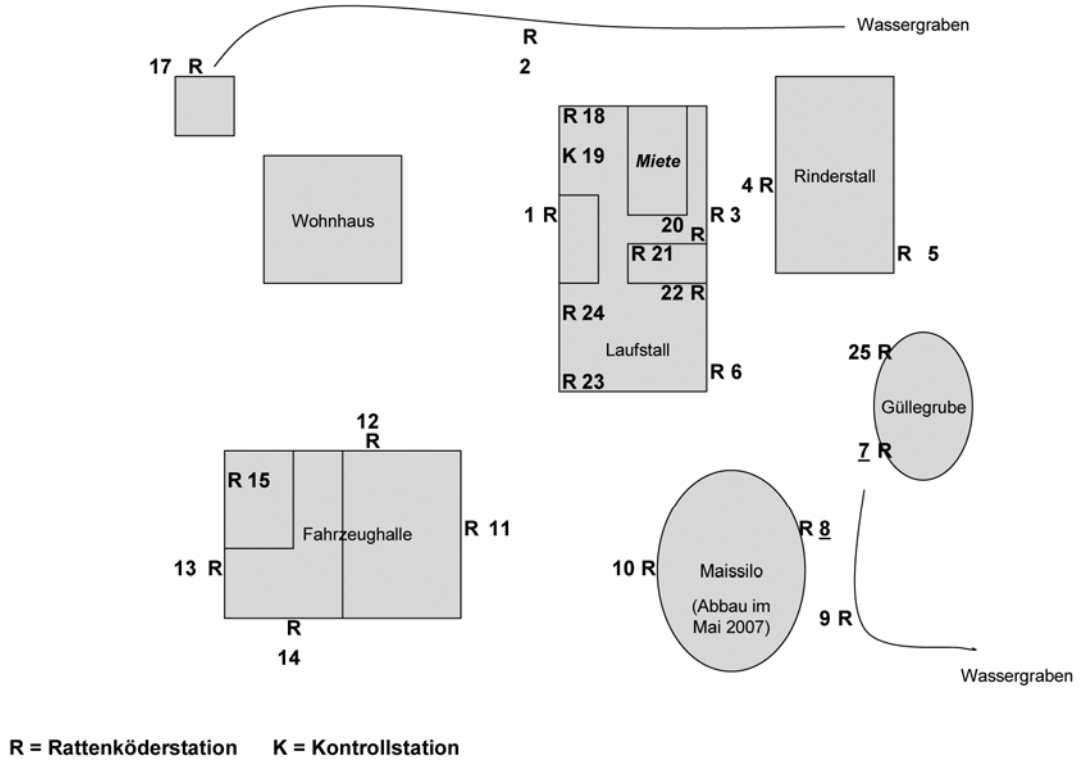

Abbildung 9: Lageplan der Rattenköderstationen im Versuchsstall sowie auf dem Hofgelände während des zweiten Versuchs und in der Zeit danach.
Unterstrichene Fallennummern kennzeichnen Stationen, die nach dem zweiten Versuch nicht kontrolliert wurden; Falle Nr. 16 wurde zum Beginn des zweiten Versuchs nicht wieder neu aufgestellt.

3.5.2.3 Arthropoden-Monitoring

- Fliegenklebefallen „Fly Trap Commercial“, Frowein GmbH & Co. KG, Albstadt
- Plastikplatten als Unterlage für die Fliegenklebefallen, Frowein GmbH & Co. KG, Albstadt
- Tesa® Doppelseitiges Klebeband universal, 50 mm breit, 5 m pro Rolle, tesa SE, Hamburg
- Schabenklebefallen, Fallen und Plastikklebefolien, Frowein GmbH & Co. KG, Albstadt

In einer parallel zum ersten und zweiten Versuch durchgeführten Untersuchung wurden insgesamt vier auf Plastikplatten befestigte Fliegenklebefolien an jeweils zwei Stallfenstern zu beiden Längsseiten der Miete angebracht. Die Folien wurden wöchentlich ausgewechselt. Die Insekten auf jeder Folie, insbesondere die Fliegen, wurden von Dr. Jona Freise und Britta Oltmann (LAVES) im Futtermittelinstitut Stade bestimmt und gezählt. Abbildung 10 zeigt die Lage der Fliegenklebefallen in Mietennähe.

Als Ergänzung zu den Fliegenklebefallen wurden im ersten Versuch insgesamt sechs (Nr. 2 bis Nr. 7), im zweiten Versuch sieben Schabenklebefallen (Nr. 1 bis Nr. 7) im Versuchsstall ausgelegt. Die Klebefolien dieser Fallen wurden wöchentlich erneuert und ebenfalls im Futtermittelinstitut Stade auf das Vorhandensein von Schaben kontrolliert. In Abbildung 10 ist die Verteilung dieser Schabenklebefallen im Versuchsstall dargestellt.

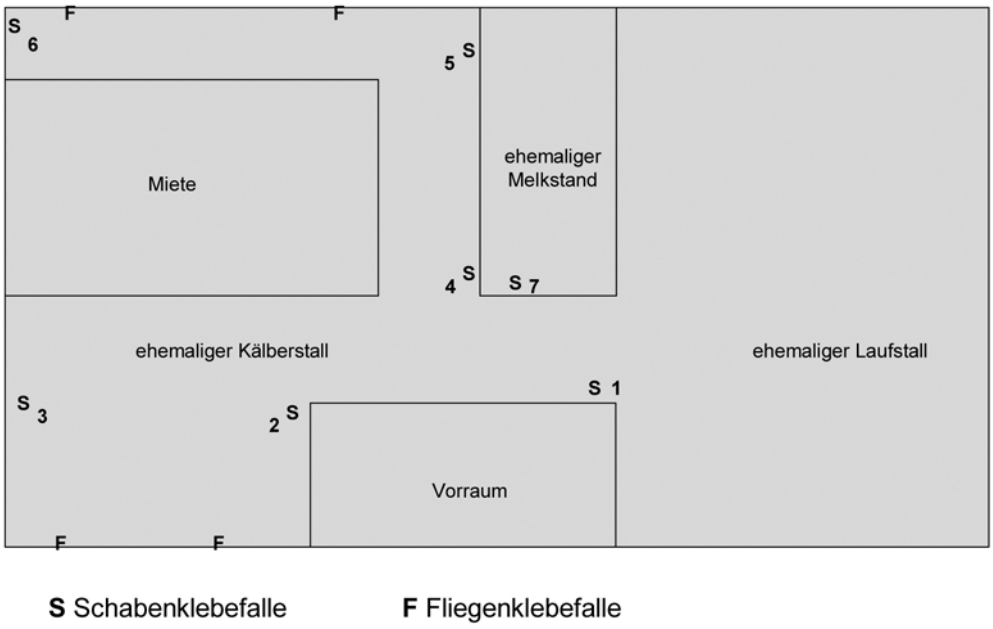

Abbildung 10: Lageplan der Schaben- (S, nummeriert) sowie der vier Fliegenklebefallen (F) während des ersten und zweiten Kompostierungsversuchs.

3.5.2.4 Messungen zum Arbeitsschutz

Zum Arbeitsschutz wurden Staub- und Endotoxinmessungen durchgeführt sowie sowohl die Lebendkeimzahl aerober Bakterien als auch die Zahl von Staphylokokken, Aktinomyceten und mesophilen und thermophilen Pilzsporen ermittelt. Die Messungen fanden mittels des Impingements sowie unter Verwendung von Polycarbonat(PC)- und Glasfaser(GF)-Filtern statt. Sie erfolgten im ersten Versuch beim Abbau, im zweiten Versuch sowohl beim Auf- als

auch beim Abbau der Miete durch das ITTN. Die Untersuchung der Luftproben erfolgte sowohl im ITTN als auch im Institut für Mikrobiologie der Tierärztlichen Hochschule Hannover. Die benötigten Materialien sowie eine detaillierte Beschreibung der angewandten Methoden sind in Kapitel 9.1.4 im Anhang zu finden.

Während des zweiten Versuchs wurden ergänzend die Konzentrationen von Ammoniak und Kohlendioxid in der Stallluft an den zwei bei den anderen Untersuchungen zum Arbeitsschutz festgelegten Messorten im Stall (an der Längs- und Breitseite der Miete; Abbildung Anhang 1) jeweils nach den Temperaturmessungen morgens um 10 Uhr und abends um 18 Uhr täglich gemessen. Zudem wurden auf dem nur mit Stroh abgedeckten Mietenteil die Konzentration von Ammoniak ab dem 8. Tag, die Kohlendioxid-Konzentration ab dem 13. Tag nach Aufbau der Miete einmal täglich bestimmt. Auf der folienabgedeckten Mietenhälfte erfolgte die Messung dieser beiden Gase wöchentlich ab dem 15. Tag. Zusätzlich wurde die Konzentration von Schwefelwasserstoff auf dem mit Stroh abgedeckten Teil der Miete sowie an den beiden Messorten zu den Seiten des Komposthaufens einmal wöchentlich festgestellt. Die Messungen erfolgten jeweils mit einer Einhand-Gasspürpumpe und den entsprechenden Gasprüfröhrchen. Die Gasprüfröhrchen sind mit einem Sorptionsmittel und einem Indikator befüllt. Die Reaktion des zu messenden Gases mit dem Sorptionsmittel führt zu einer pH-Wert-Änderung, die durch den Indikator farblich angezeigt wird (GRIMM, 2001). Mit Hilfe einer auf den Röhrchen abgebildeten Skala kann die Momentankonzentration des jeweiligen Gases direkt abgelesen werden.

3.6 Entsorgung des Kompostmaterials

Das Kompostmaterial durfte aufgrund der Rechtslage nicht auf Böden ausgebracht (Verordnung zur Durchführung des Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetzes vom 27. Juli 2006), sondern musste verbrannt oder vergraben werden [Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 vom 21. Oktober 2009]. Daher wurde das Kompostmaterial beim Abbau der Miete jeweils in Container verladen und zu der Verbrennungsanlage der Abfallbehandlung Nord GmbH in Bremen transportiert und dort verbrannt.

4 Ergebnisse

4.1 Erster Kompostierungsversuch

4.1.1 Mietenaufbau und Mietenabbau

Der Aufbau der Miete im ersten Versuch dauerte insgesamt 6 Stunden, 20 Minuten. Die zum Mietenaufbau verwendeten Materialien konnten mit Ausnahme der Drahtkörbe nicht im Versuchsstall gelagert werden. Sowohl die Einstreu als auch die Putenkadaver wurden außerhalb des Stalles deponiert und durch den an den Versuchsstall angrenzenden ehemaligen Laufstall zum Ort des Mietenaufbaus verbracht. Da der Platz im Versuchsstall insbesondere zu den Seiten begrenzt war, wurde nur eine Landmaschine eingesetzt, um ein ausreichendes Rangieren zu ermöglichen. Dieser Umstand sowie die Transportwege für das Einbringen des Einstreumaterials und der Putenkadaver in den Versuchsstall verlängerten die Zeit für den Mietenaufbau. Die beiden Mietenhälften wurden daher nicht zeitgleich aufgebaut. Die Aufschichtung der ersten Mietenhälfte dauerte ca. 3 Stunden, 20 Minuten, gegenüber dem Aufbau der zweiten Mietenhälfte ca. 20 Minuten länger aufgrund des Einbaus der Drahtkörbe. In Tabelle 1 ist der ungefähre Zeitaufwand für die einzelnen Abschnitte der Errichtung beider Mietenteile aufgeführt. Insgesamt wurden ca. 39 t bzw. zwei Drittel der angelieferten Einstreu (insgesamt 58,7 t) zum Mietenaufbau verwendet. Die Umschichtung der Miete am 13. Tag des Versuches dauerte insgesamt ca. 4 Stunden, 20 Minuten. Der Abbau der Miete am 30. Tag dauerte insgesamt ca. 6 Stunden, pro Mietenhälfte wurden ca. 3 Stunden benötigt. Das Mietenmaterial wurde mit Hilfe eines mit einer Schaufel ausgerüsteten Radladers abgetragen und durch den an den Versuchsstall angrenzenden ehemaligen Laufstall in Container außerhalb des Stallgebäudes verladen. In diesen Containern wurde das Kompostmaterial zur Verbrennung zur Abfallbehandlung Nord GmbH nach Bremen transportiert. Um die an den Folgetagen durchgeführte Reinigung mittels Hochdruckreiniger und die Desinfektion des Stalles vorzubereiten, wurden nach Abbau des Komposthaufens feste Rückstände von Kompostmaterial auf dem Boden mit Wasser besprüht und eingeweicht. In Tabelle 2 ist der ungefähre Zeitaufwand für die bei der Umschichtung durchgeführten Arbeitsschritte einzeln sowie für den Mietenabbau insgesamt aufgeführt.

Tabelle 1: Ungefährer Zeitaufwand für die einzelnen Arbeitsschritte beim Mietenaufbau im ersten Versuch.

	Arbeitsschritte	**Dauer** [1]
zuerst aufgebaute Mietenhälfte (mit Drahtkörben)	untere Einstreuschicht bzw. Bodenschicht (30 cm)	40 Minuten
	erste Tierkadaverlage (mit Drahtkörben)	40 Minuten
	kurzes Bewässern der ersten Tierkadaverlage (ca. 255 l Wasser [2])	15 Minuten
	mittlere Einstreuschicht zwischen den beiden Tierkadaverlagen (20 cm)	25 Minuten
	zweite Tierkadaverlage (mit Drahtkörben)	40 Minuten
	kurzes Bewässern der zweiten Tierkadaverlage (ca. 255 l Wasser [2])	15 Minuten
	abdeckende Einstreuschicht (20 cm)	25 Minuten
	insgesamt 200 Minuten (3 Stunden, 20 Minuten)	
zuletzt aufgebaute Mietenhälfte (ohne Drahtkörbe)	untere Einstreuschicht bzw. Bodenschicht (30 cm)	40 Minuten
	erste Tierkadaverlage	30 Minuten
	kurzes Bewässern der ersten Tierkadaverlage (ca. 255 l Wasser [2])	15 Minuten
	mittlere Einstreuschicht zwischen den beiden Tierkadaverlagen (20 cm)	25 Minuten
	zweite Tierkadaverlage	30 Minuten
	kurzes Bewässern der zweiten Tierkadaverlage (ca. 255 l Wasser [2])	15 Minuten
	abdeckende Einstreuschicht (20 cm)	25 Minuten
	insgesamt 180 Minuten (3 Stunden)	
Mietenaufbau insgesamt	**380 Minuten (6 Stunden, 20 Minuten)**	

[1] Die Zeit für das Aufladen und den Transport des zum Mietenaufbau verwendeten und aus verschiedenen niedersächsischen Geflügelbetrieben stammenden Einstreumaterials zum Versuchsstall wird nicht berücksichtigt.

[2] Die in der Tabelle angegebenen Wassermengen stellen berechnete Werte dar. Im ersten Versuch stand noch keine Wasseruhr zur Verfügung. Da in beiden Kompostierungsversuchen derselbe Wasseranschluss genutzt wurde, wurden anhand der im ersten Versuch für die Bewässerung verwendeten Zeit und der im zweiten Versuch mittels Wasseruhr festgestellten Wasserdurchflussrate des Wasserhahns von 17 l/min die entsprechenden Wassermengen berechnet.

Tabelle 2: Ungefährer Zeitaufwand für die einzelnen Arbeitsschritte bei der im ersten Versuch am 13. Tag durchgeführten Umschichtung sowie für den Abbau der Miete am 30. Tag insgesamt.

	Arbeitsschritte	**Dauer [1]**
Umschichtung	Beförderung des Mietenmaterials an die Seiten des Stalles	90 Minuten (1,5 Stunden)
	zusätzliche Einstreuschicht von 20 cm bis 25 cm Dicke als Untergrund für den zuerst aufgebauten Mietenteil (linker Teil)	30 Minuten
	Aufbau beider Mietenhälften ohne Drahtkörbe und unter fortlaufender Bewässerung des Kompostmaterials (ca. 2 m³ Wasser [2])	120 Minuten (2 Stunden)
	Abdeckung freiliegender Putenkadaver mit Einstreumaterial	20 Minuten
	insgesamt 260 Minuten (4 Stunden, 20 Minuten)	
Mietenabbau	Abbau einer Mietenhälfte	jeweils 180 Minuten (3 Stunden)
	insgesamt 360 Minuten (6 Stunden)	

[1] Die Reinigung und Desinfektion des Stalles sowie die dazugehörigen Vorarbeiten, aber auch der Transport und die Verbrennung des Kompostmaterials werden bei der für den Mietenabbau benötigten Zeit nicht berücksichtigt.
[2] Die bei der Bewässerung verbrauchte Wassermenge wurde aus den in Tabelle 1 genannten Gründen berechnet.

4.1.2 Temperaturmessungen in der Miete

4.1.2.1 Temperaturen in der zuerst aufgebauten Mietenhälfte (linker Teil)

Über die gesamte Dauer des Versuches von 30 Tagen wurden an den vier Messorten in der zuerst aufgebauten Mietenhälfte (linker Teil) Temperaturen über 30°C erreicht. Dabei lagen die Temperaturen in den oberen Schichten vor der Umschichtung an 7 aufeinanderfolgenden Tagen über 50°C (6. bis 12. Tag) und nach der Umschichtung an 15 Tagen über 40°C (16. bis 30. Tag). Im unteren Mietenbereich wurden an 8 Tagen Temperaturen über 35°C gemessen (7. bis 14. Tag; Abbildung 11).

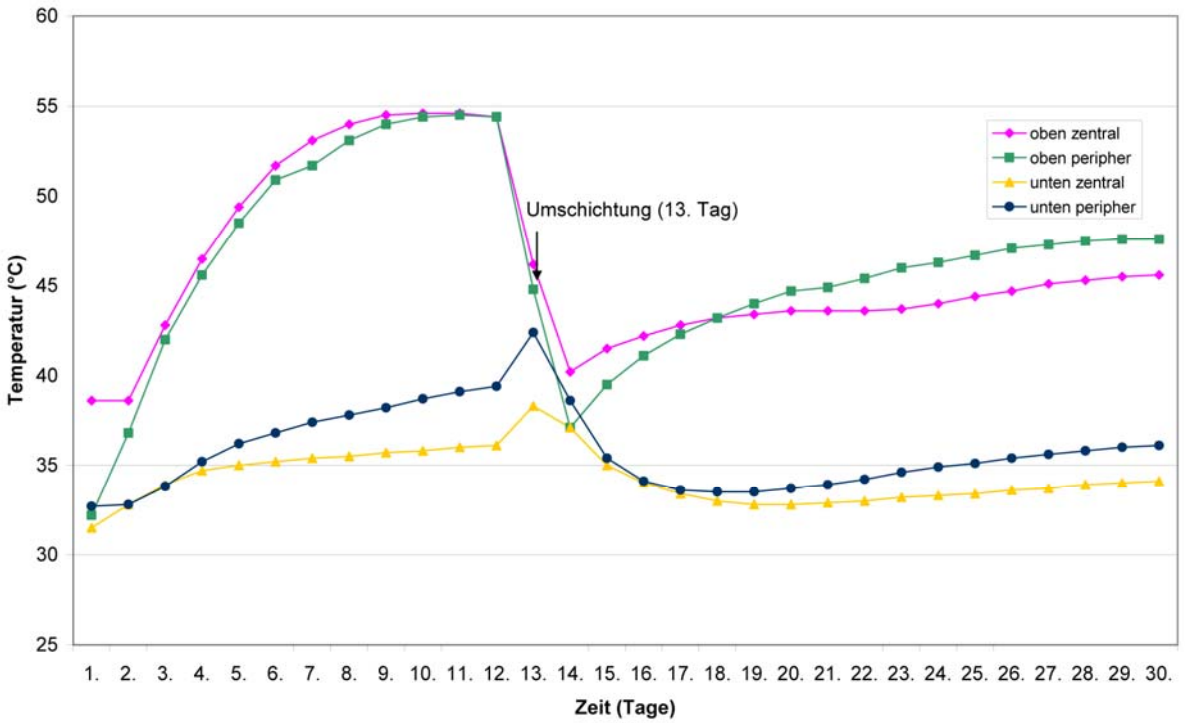

Abbildung 11: Tagesdurchschnittstemperaturen an den vier Messorten der zuerst aufgebauten Mietenhälfte (linker Teil) im ersten Versuch.
Aus den zweimal pro Tag an jedem Messort erhobenen Daten wurde jeweils der Mittelwert, die Tagesdurchschnittstemperatur, berechnet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird von der Angabe der Einzelwerte eines jeden Messortes abgesehen.

In den oberen Schichten wurden ab dem 6. Tag Temperaturen über 50°C gemessen. In den unteren Mietenlagen wurden diese hohen Temperaturen nicht erreicht, die protokollierten Werte lagen zwischen 31,5°C und 39,6°C. Aufgrund dieser Temperaturvariabilität und –inhomogenität in der Miete und weil ein Anstieg der Temperaturen in den unteren Schichten auf ein gleich hohes Niveau wie im oberen Teil nicht zu erwarten war, wurde eine Umschichtung des Komposthaufens vorgenommen. So sollte eine weitergehende Vermischung des Mietenmaterials erreicht werden; durch die gleichzeitige Bewässerung sollte versucht werden, eine homogenere Temperaturerhöhung zu erreichen. Die Umschichtung erfolgte am 13. Tag des Versuchs. Nach der Umschichtung wurden in den oberen Schichten Temperaturen über 50°C nicht mehr erreicht. Im unteren Bereich wurden mit Ausnahme der ersten Messung direkt nach der Mietenwendung gleichbleibend niedrige Werte bis zum Versuchsende protokolliert. Obwohl dieser Mietenteil auf einer zusätzlichen Einstreuschicht aufgebaut wurde, war in der Wärmebildkameraufnahme am 23. Versuchstag eine starke Wärmeabgabe an den Stallboden feststellbar (Abbildung 13). Die Temperaturen waren jeweils an den peripheren Messorten vor der Umschichtung nur in den unteren

Schichten und danach auch im oberen Bereich der Mietenhälfte höher als im zentralen Bereich, der sowohl beim Auf- als auch beim Wiederaufbau der Miete während der Umschichtung aufgrund der durch Holzpfosten unterteilten Stallfläche verstärkt mit dem Radlader befahren worden war.

Die Einzeltemperaturen der Messorte dieser Mietenhälfte, die daraus berechneten Tagesdurchschnittstemperaturen sowie die Minimal- und Maximalwerte sind im Anhang (Tabellen Anhang 6, 7, 8, 9) dargestellt.

4.1.2.2 Temperaturen in der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte (rechter Teil)

An den vier Messorten in der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte wurden Temperaturen über 30°C zu den beiden täglichen Messzeitpunkten an 14 aufeinanderfolgenden Tagen (13. bis 26. Tag) erreicht. Nur in den oberen Schichten wurden an 9 Tagen vor (4. bis 12. Tag) und an 15 Tagen nach der Umschichtung (16.bis 30. Tag) Temperaturen über 40°C protokolliert. Dabei wurden am zentralen Messort im oberen Mietenbereich an 11 Tagen (20. bis 30. Tag) bei beiden Messungen Temperaturen über 50°C gemessen (Abbildung 12).

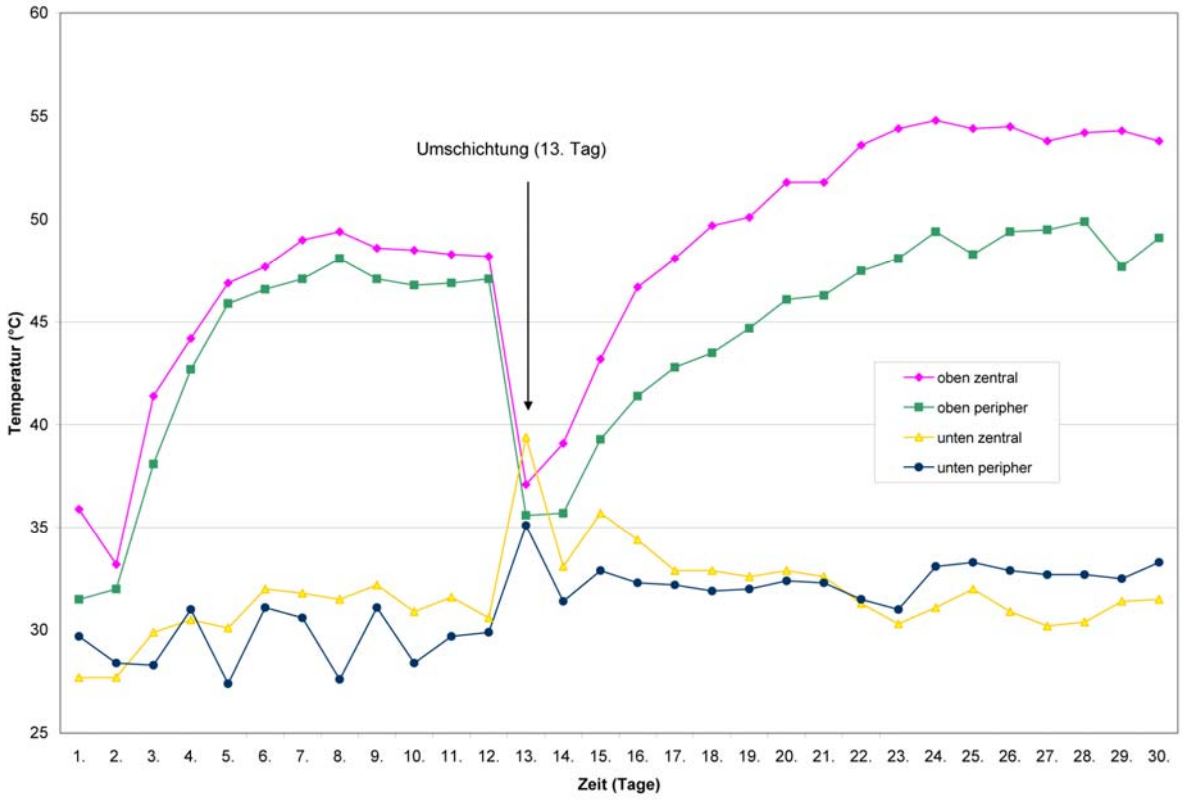

Abbildung 12: Tagesdurchschnittstemperaturen in der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte (rechter Teil) im ersten Versuch.
Aus den zwei pro Tag und Messort gemessenen Daten wurde jeweils der Mittelwert, die Tagesdurchschnittstemperatur, berechnet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird von der Angabe der Einzelwerte eines jeden Messortes abgesehen.

In den oberen Schichten wurden ab dem 4. Tag sowohl am zentralen als auch am peripheren Messort Temperaturen über 40°C erreicht. In den unteren Schichten wurden diese hohen Temperaturen nicht gemessen, die Werte lagen unter 35°C. Aufgrund der wie im zuerst aufgebauten Teil der Miete bestehenden starken Temperaturdifferenz zwischen oberem und unterem Bereich, der geringen Aussicht auf einen deutlichen Anstieg der Temperaturen in den unteren Schichten und der im Vergleich zur linken Mietenhälfte niedrigeren Temperaturen in den oberen Schichten wurde auch die rechte Komposthaufenhälfte am 13. Tag umgeschichtet. Nach der Umschichtung wurde weiterhin im oberen Mietenbereich ein höheres Temperaturniveau festgestellt. Am zentralen Messort wurden ab dem 19. Tag (zweite Messung) Werte über 50°C gemessen. Am peripheren Messort wurden ab dem 24. Tag (mit Ausnahme von drei Messungen mit geringfügig niedrigeren Werten am 25. Tag, erste und zweite Messung, sowie am 29. Tag, zweite Messung) Temperaturen knapp unter 50°C erreicht. In den unteren Schichten wurden mit Ausnahme von drei Messungen (erste Messung

allgemein nach Mietenwendung, nur im zentralen Bereich zweite Messung am 15. Tag sowie erste Messung am 16. Tag) gleichbleibend niedrige Werte unter 35°C gemessen. Die Wärmebildkameraufnahme am 23. Tag zeigte wie auch bei der anderen Mietenhälfte dieses Versuchs eine von den unteren Schichten ausgehende starke Wärmeabgabe an den Stallboden (Abbildung 13). Anders als erwartet waren die Temperaturen am peripheren Messort im unteren Bereich ab dem 22. Tag (zweite Messung) höher als zentral. Im zentralen Bereich war das teilweise Befahren des Mietenmaterials mit dem Radlader nicht zu verhindern. Jedoch war die Komprimierung des Kompostmaterials beim Auf- und Wiederaufbau nicht so stark ausgeprägt wie bei der jeweils zuerst aufgebauten Mietenhälfte, da der Radlader auf Höhe des rechten Mietenteils, der in der Nähe des Übergangs zum ehemaligen Laufstall gelegen war, mehr Platz zum Rangieren zur Verfügung hatte. Die Einzeltemperaturen der Messorte dieser Mietenhälfte, die daraus berechneten Tagesdurchschnittstemperaturen sowie die Minimal- und Maximalwerte sind im Anhang (Tabellen Anhang 10, 11, 12, 13) zu finden.

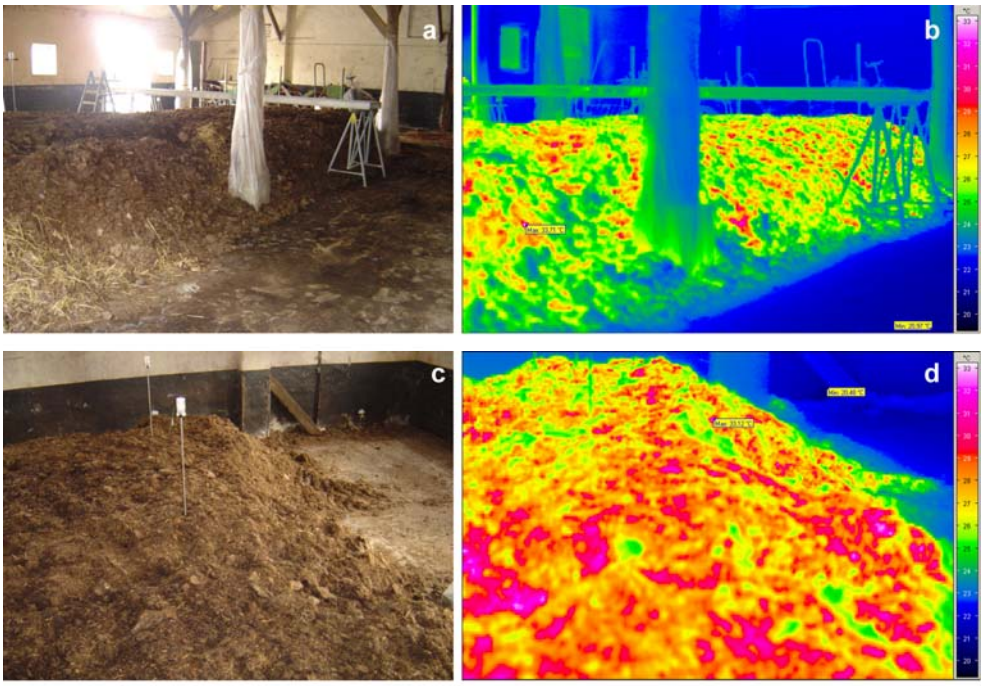

Abbildung 13: Erster Versuch - Umgebungsbilder und dazugehörige Wärmebildkameraaufnahmen (23. Versuchstag).
a + c = Normalansicht, b + d = Wärmebildkameraaufnahmen; a + b = Seiten und Bodenbereich der Miete, c + d = Deckfläche (obere abschließende Fläche) der Miete. Violett bis weiß: >33°C, violett: 31°C bis 33°C, rot: 30°C, orange: 28°C bis 29°C, gelb: 27°C, gelbgrün: 26°C, grün: 24°C bis 25°C, hellblau: 23°C, dunkelblau: 21°C bis 22°C, schwarz: <20°C. Die Oberflächentemperaturen der unteren Schichten lagen infolge der Wärmeabgabe an den Stallboden nahezu im Bereich der Bodentemperaturen (b). Über die gesamte Oberfläche der Miete bestand eine starke Wärmeabgabe an die Umgebung (d).

4.1.3 Sonstige Parameter in der Miete

4.1.3.1 Feuchtigkeitsgehalt des Mietenmaterials

Der Feuchtigkeitsgehalt, gemessen an den acht verschiedenen Lokalisationen in der Miete am 13. und am 30. Tag, lag zwischen 31% und 55%. Die Bewässerung des gesamten Mietenmaterials mit ca. 2 m³ Wasser sowie die Formung einer zusätzlichen Einstreuschicht unter dem zuerst aufgebauten, linken Mietenteil im Rahmen der Umschichtung führten zu keinen Unterschieden im Feuchtigkeitsgehalt der beiden Mietenhälften. Die Ergebnisse zum Feuchtigkeitsgehalt im ersten Kompostierungsversuch sind in Tabelle Anhang 14 dargestellt.

4.1.3.2 Zersetzung der Putenkadaver

Der Zersetzungsgrad der Putenkadaver wurde während des ersten Kompostierungsversuchs bei der Umschichtung der Miete am 13. Tag sowie beim Mietenabbau am 30. Tag beurteilt. Zum Zeitpunkt der Umschichtung waren die Tierkörper selbst nicht mehr zu erkennen. Es fanden sich Fleisch- und Knochenanteile, ohne dass diese einem Tierkörper zugeordnet werden konnten. Das Fleisch war jeweils von gekochtem Charakter (Abbildung 14a). Beim Abbau der Miete waren in den oberen Schichten keine Fleischanteile mehr erkennbar (Abbildung 14b). Auch die vereinzelt vorgefundenen Knochen wiesen kein anhaftendes Fleisch mehr auf (Abbildung 14c). Im unteren Bereich der Miete, der außer bei der ersten Messung direkt nach der Umschichtung deutlich niedrigere Temperaturen im Vergleich zu oben aufwies (vgl. 4.1.2), war die Zersetzung nicht so weit fortgeschritten. Hier war noch Fleisch bzw. Weichteilgewebe an den Knochen vorhanden (Abbildung 14d).

Abbildung 14: Erster Versuch - Zersetzung der Putenkadaver.
(a) Zersetzungsgrad der Putenkadaver am 13. Tag des Versuches (Tag der Umschichtung); (b)-(d): Zersetzungsgrad zum Zeitpunkt des Mietenabbaus am 30. Versuchstag, (b) Kompostmaterial der oberen Mietenschichten, (c) vereinzelt vorgefundene Knochen in den oberen Mietenschichten, (d) Mietenmaterial der unteren Schichten des Komposthaufens mit Fleischrückständen.

4.1.3.3 Mikrobiologische Untersuchungen

Der Kompostierungsprozess führte zu einer Reduzierung der Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie der Enterobakterien-Keimzahl in den untersuchten Proben im Vergleich zu dem Hähnchendung, der zum Mietenaufbau verwendet worden war. Die Lebendkeimzahl lag in den Kompostproben beider Mietenhälften bei Versuchsende um bis zu fünf Zehnerpotenzen niedriger als in diesem Ausgangsmaterial. Die Enterobakterien-Keimzahl erreichte in den am 30. Tag entnommenen Proben mit 100 KBE/g um jeweils bis zu vier Zehnerpotenzen kleinere Werte.

Die Lebendkeimzahlen aerober Bakterien in den Proben beider Mietenhälften am 13. und 30. Tag sowie die entsprechenden Enterobakterien-Keimzahlen sind im Anhang (Tabellen Anhang 15, 16) dargestellt.

4.1.4 Ergebnisse der Umgebungsuntersuchungen

4.1.4.1 Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit

Die Umgebungstemperatur lag während des ersten Versuches im Hochsommer zwischen 15,5°C und 31,0°C, die Außentemperatur zwischen 13,4°C und 31,6°C. Die Luftfeuchtigkeit im Stall betrug zwischen 34,2% und 85,3%. Außerhalb des Stalles wurden Werte zwischen 26,8% und 87,5% erreicht. Die Einzeltemperaturen im Stall sowie außerhalb und die Einzelwerte der Luftfeuchtigkeitsmessungen sind im Anhang (Tabellen Anhang 17, 18) aufgeführt.

4.1.4.2 Entwesung

Auf den 6, im Stall ausgelegten Schabenklebefallen wurden keine Schaben festgestellt.

Die Nagetierköder der im Versuchsstall in der Nähe der Miete aufgestellten Fallen wiesen während der Kompostierung keine Fraßspuren auf. Von den 17 außerhalb des Stalles verteilten Stationen hingegen wurden während dieser Zeit in 8 Fallen Köder verbraucht. Mit Ausnahme der Falle mit dem niedrigsten Köderverbrauch (Nr. 11) lagen die von den Nagetieren angenommenen Fallen im Randbereich des Hofgeländes. Der größere Teil dieser an den Hofgrenzen aufgestellten Stationen (Nr. 2, 7, 8, 9, 17) war dabei in der Nähe von Wassergräben postiert. Der durchschnittliche Giftverbrauch pro Station während der Versuchsdauer von 30 Tagen lag bei 45,9 g.

In der Zeit zwischen den Kompostierungsversuchen (über den Winter, 238 Tage) wurden mehr Stationen von Nagetieren angenommen, und in den in dieser Zeit zugänglichen Fallen betrug der durchschnittliche Giftverbrauch über 30 Tage pro Station 47,9 g. Von den insgesamt 15 kontrollierten, außerhalb des Versuchsstalles gelegenen Fallen waren in 14 Stationen Köder verbraucht worden. Nur das Ködergift der in der Fahrzeughalle positionierten Falle (Nr. 15) war nicht angefressen. Mit Ausnahme einer Falle (Nr. 11) lagen die Stationen mit dem höchsten Köderverbrauch (Nr. 9, 14, 5, 2, 13) an den Grenzen des Hofgeländes, während sich die zwei Fallen mit dem niedrigsten Giftverbrauch eher zur Mitte dieses Geländes befanden. Sowohl während des ersten Versuchs als auch in der Zeit danach wurden keine toten Ratten oder Mäuse auf dem Gelände gefunden. Eine Auflistung der während des ersten Versuchs und danach angenommenen Rattenköderstationen in absteigender Reihenfolge des verbrauchten Ködergifts befindet sich im Anhang (Tabellen Anhang 19, 20).

4.1.4.3 Arthropoden-Monitoring

Im ersten Kompostierungsversuch wurden insgesamt 22.348 Arthropoden an den Klebefolien, befestigt an vier Fenstern im Versuchsstall, gezählt. In der ersten und dritten Woche des Versuchs wurden Arthropodenzahlen von mehr als 6700 Einzeltieren festgestellt. In der vierten Woche wurde mit mehr als 7000 Einzeltieren das höchste, in der zweiten Woche, in der vermehrt Regen fiel und das Mietenmaterial umgeschichtet und stark bewässert wurde, mit ca. 1.400 Einzeltieren das niedrigste Arthropodenaufkommen festgestellt.

Die am stärksten vertretene Fraktion der Arthropoden war in jeder Woche des Versuchs die Klasse der Insekten. Dabei machten die Fliegen jeweils mehr als die Hälfte der gefundenen Arthropoden aus, darunter die in jeder Woche am stärksten vertretenen kleinen Dungfliegen (*Leptocera* spec., *Sphaeroceridae*) und die Güllefliegen (*Ophyra aenescens, Muscidae*), aber auch die Schwingfliegen (*Sepsidae*, erste Woche), die Goldfliegen (*Lucilia serrata, Calliphoridae*; dritte Woche) sowie die großen Stubenfliegen (*Musca domestica, Muscidae*; dritte und vierte Woche). Letztere erreichten ihre höchste Anzahl in der vierten Woche des Versuchs. In dieser Woche waren im Gegensatz zu vorher nun auch die kleinen Dungfliegen stärker vertreten.

Staubläuse waren in der ersten Woche des Versuchs mit 1686 Einzeltieren die zweitstärkste Fraktion der Arthropoden. Ihr Auftreten war in der zweiten bis vierten Woche des Versuchs deutlich reduziert (<40 Einzeltiere). Des Weiteren wurden Käfer, insbesondere Kurzdeckenflügler (*Staphylinidae*), vorgefunden. Mit Ausnahme der vierten Woche waren sie jeweils in der ersten und dritten Woche bei gleichzeitig hoher Fliegendichte mit 471 bis 574 Käfern vermehrt zu finden. In der zweiten Woche war das geringere Fliegenaufkommen mit einer deutlich reduzierten Käferanzahl (175 Käfer) verbunden. Dennoch waren sie nach den Fliegen die in dieser Woche am stärksten vertretene Ordnung der Insekten.

Mit der Fliegenanzahl war auch das Auftreten von Spinnentieren, in diesem Versuch v.a. Raubmilben, verbunden. Daher wurden in der dritten und vierten Versuchswoche, in denen die höchsten Fliegenzahlen protokolliert wurden, auch viele Raubmilben (1245 bis über 3000 Milben und Nymphen) als jeweils zweitstärkste Fraktion gezählt.

Mücken stellten in der zweiten und vierten Woche des Versuchs die am dritthäufigsten vorgefundene Fraktion innerhalb der Klasse der Insekten dar. Dazu gehörten die Dung- (*Scatopsidae*), die Schmetterlings- (*Psychodidae*) sowie die Trauermücken (*Sciaridae*). Eine Zusammenfassung der Gesamtzahlen der Arthropoden des ersten Kompostierungsversuchs ist

in Tabelle 3 dargestellt. Eine entsprechend detaillierte Auflistung nach einzelnen Klassen, Ordnungen, Gattungen und Arten sowie die Mücken- und Fliegenanzahl pro Woche (und insgesamt) befinden sich im Anhang (Tabelle Anhang 21, 22).

Tabelle 3: Arthropodenaufkommen im ersten Kompostierungsversuch.

Arthropodenaufkommen im ersten Kompostierungsversuch[1]					
Arthropoden	**1. Woche**	**2. Woche**	**3. Woche**	**4. Woche**	**Summe**
Klasse Insekten (*Insecta*):	6757	1419	5460	4112	17748
Mücken (*Nematocera*)	341	125	331	53	850
Fliegen (*Brachycera*)	3581	956	3828	3903	12268
Schmetterlinge (*Lepidoptera*)	30	8	27	4	69
Hautflügler (*Hymenoptera*)	314	58	369	43	784
Käfer (*Coleoptera*)	574	175	471	45	1265
Schnabelkerfe (*Hemiptera*)	24	6	15	4	49
Fransenflügler (*Thysanoptera*)	192	54	381	51	678
Staubläuse (*Psocoptera*)	1686	37	37	9	1769
Ohrwürmer (*Dermaptera*)	15	0	1	0	16
Klasse Springschwänze (*Collembola*)	1	1	1	3	6
Klasse Spinnentiere (*Arachnida*)	28	11	1284	3263	4586
Klasse höhere Krebse (Asseln = *Isopoda*)	0	0	0	0	0
unbestimmbar	5	3	0	0	8
GESAMTSUMME	6791	1434	6745	7378	22348

[1]Anzahl der Arthropoden insgesamt (pro Woche) sowie pro Klasse bzw. Ordnung (Unterordnung).

4.1.4.4 Messungen zum Arbeitsschutz

Stationär wurden an den zwei Messorten in Mietennähe (Abbildung Anhang 1) während des Mietenabbaus insgesamt sechs Messungen durchgeführt. Als Vormessungen im Stall bei geschlossener Miete dienten drei Messungen an dem einen, an der Längsseite der Miete gelegenen Messort. Im Rahmen dieser Vormessungen und auch während des Mietenabbaus erfolgten zusätzlich außerhalb des Stalles jeweils drei Messungen an dem zwischen Versuchs- und angrenzendem Bullenstall gelegenen dritten stationären Messort. Mobile Messungen

wurden nur im Stallinneren beim Abbau der Miete durchgeführt. Im Radlader sowie personengetragen erfolgten dabei jeweils zwei Messungen.

Die stationären Messungen mittels Impingement und GF-Filter-Technik im Stallinneren ergaben bei geschlossener Miete und vor ihrem Aufbruch jeweils nur wenige Keimemissionen. Thermophile Schimmelpilzsporen hatten einen Anteil von etwa 11% der mesophilen Schimmelpilzsporen. Die Staphylokokkenkonzentration war eine Zehnerpotenz höher als die der Aktinomyceten. Am Messort außen, an dem die Messungen im auf den Versuchsstall gerichteten (anströmenden) und vom benachbarten Bullenstall kommenden Wind stattfanden, waren Staphylokokken, Aktinomyceten sowie thermophile Schimmelpilzsporen hingegen nicht nachweisbar. Jedoch lag die Konzentration mesophiler Bakterien eine Zehnerpotenz und die Endotoxinkonzentration 3 EU/m³ höher als im Stall. Dabei waren die gemessenen Endotoxinkonzentrationen außerhalb wie innerhalb des Stalles nicht höher als 10 EU/m³.

Aufbruch und Abbau der Miete führten stationär im Stallinneren zu einem deutlichen Anstieg der Anzahl an mesophilen Bakterien, Staphylokokken, Aktinomyceten, mesophilen und thermophilen Schimmelpilzsporen sowie zu einer erhöhten Endotoxinkonzentration und einem vermehrten Staubaufkommen. Im Stallinneren wurden beim Mietenabbau die jeweils höchsten Werte nun auch für die Konzentration mesophiler Bakterien, die Endotoxinkonzentration und für die Anzahl der mesophilen Schimmelpilzsporen festgestellt. Die Konzentration der mesophilen Bakterien stieg im Versuchsstall um bis zu zwei Zehnerpotenzen und lag bis zu drei Zehnerpotenzen über dem außerhalb ermittelten Ergebnis. Die Endotoxinkonzentration erhöhte sich im Stallinneren mit 93,7 EU/m³ und 247,6 EU/m³ auf den 14fachen bis 37fachen Wert, während sie sich am Messort außen nur verfünffachte. Dabei wurde mit Werten von über 3 mg/m³ bis fast 4 mg/m³ ein deutlich höherer Staubgehalt im Stall festgestellt, während dieser am Messort außerhalb sich nur geringfügig erhöhte und noch unter den im Stall am Vortag gemessenen Werten lag. Die Anzahl von mesophilen Schimmelpilzsporen am Messort außerhalb des Stalles zeigte keine Veränderung beim Mietenabbau, im Stallinneren erhöhte sie sich um eine Zehnerpotenz. Thermophile Schimmelpilzsporen wurden stationär am Messort außerhalb des Stalles erst am Tag des Mietenabbaus festgestellt, und zwar in der Höhe der im Stall am Vortag gemessenen Konzentration. Im Stall stieg ihre Konzentration um eine Zehnerpotenz an.

Aktinomyceten und Staphylokokken wurden auch während des Mietenabbaus im Stall, nicht aber außerhalb nachgewiesen. Die Konzentration der Aktinomyceten stieg beim Mietenabbau um drei Zehnerpotenzen an, während sich die Anzahl der Staphylokokken ähnlich wie die der Schimmelpilze nur um eine Zehnerpotenz erhöhte. Die Staphylokokken machten damit an der Lebendkeimzahl aerober, mesophiler Bakterien einen Anteil von 20% bis 40% aus.

Bei den mobilen Messungen während des Mietenabbaus lagen im Radlader die Konzentrationen von mesophilen Bakterien, Staphylokokken, Aktinomyceten und thermophilen Schimmelpilzsporen sowie das Staubaufkommen, bei den personengetragenen Untersuchungen auch die Anzahl der mesophilen Schimmelpilzsporen im Bereich der stationär ermittelten Werte (Abbildung 15). Dabei wurden im Radlader trotz nicht verschlossener Tür tendenziell niedrigere Belastungen im Vergleich zu den personengetragenen Untersuchungsergebnissen festgestellt; so waren die Konzentration mesophiler Bakterien im Vergleich zum personengetragenen Ergebnis sowie die Konzentration von mesophilen Schimmelpilzsporen auch in Bezug auf die stationär gemessenen Werte jeweils eine Zehnerpotenz niedriger. Die Endotoxinkonzentration in der Fahrerkabine war mit 97,16 EU/m³ im unteren Wertebereich der stationär gemessenen Ergebnisse einzuordnen, während sie bei der personengetragenen Untersuchung die jeweils höchste Belastung darstellte und mit 412,6 EU/m³ zwei- bis viermal so hoch war wie stationär.

In den stationär und mobil während des Mietenabbaus im Stall entnommenen Proben wurden Salmonellen nicht nachgewiesen. Es wurden neben *Clostridium* spec. überwiegend *Bacillus* spec. festgestellt. In den außen gesammelten Luftproben waren weder *Bacillus* spec. noch *Clostridium* spec. nachweisbar.

Bei den Messungen zum Arbeitsschutz waren auf den jeweils als Negativkontrollen mitgeführten GF-Filtern weder Staub noch Endotoxine und auf den entsprechenden Negativkontrollen der PC-Filter und des Impingements keine Bakterien und Pilzsporen nachweisbar. Im Vergleich zu den Bakterienmengen und der Anzahl an Schimmelpilzsporen, die auf den aktiv beprobten Filtern während der mobilen Messungen (Radlader, personengetragene Untersuchung) abgeschieden wurden, war die Beaufschlagung durch umherfliegende größere Partikel vernachlässigbar (s. Radlader-Kontrolle, personengetragene Kontrolle).

Die im Rahmen dieser Untersuchungen gemessenen Konzentrationen von Kohlendioxid lagen beim Mietenabbau nicht höher als 1000 ppm. Die zwei in direkter Mietennähe ermittelten Ammoniakkonzentrationen stellten unter den insgesamt fünf beim Mietenabbau durchgeführten Einzelmessungen die höchsten Werte dar. Die Einzelergebnisse der Messungen zum Arbeitsschutz am Ende des ersten Versuchs sind im Anhang aufgeführt (Tabellen Anhang 23, 24, 25, 26). Die Umgebungstemperatur sowie die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb und außerhalb des Stalles zum Zeitpunkt der Messungen am 29. Tag abends sowie am 30. Tag morgens sind ebenfalls dem Anhang (Tabelle Anhang 27) zu entnehmen. Die Windstärke betrug am 29. Tag 2,7 m/s und am 30. Tag 2,9 m/s jeweils aus wechselnden Richtungen.

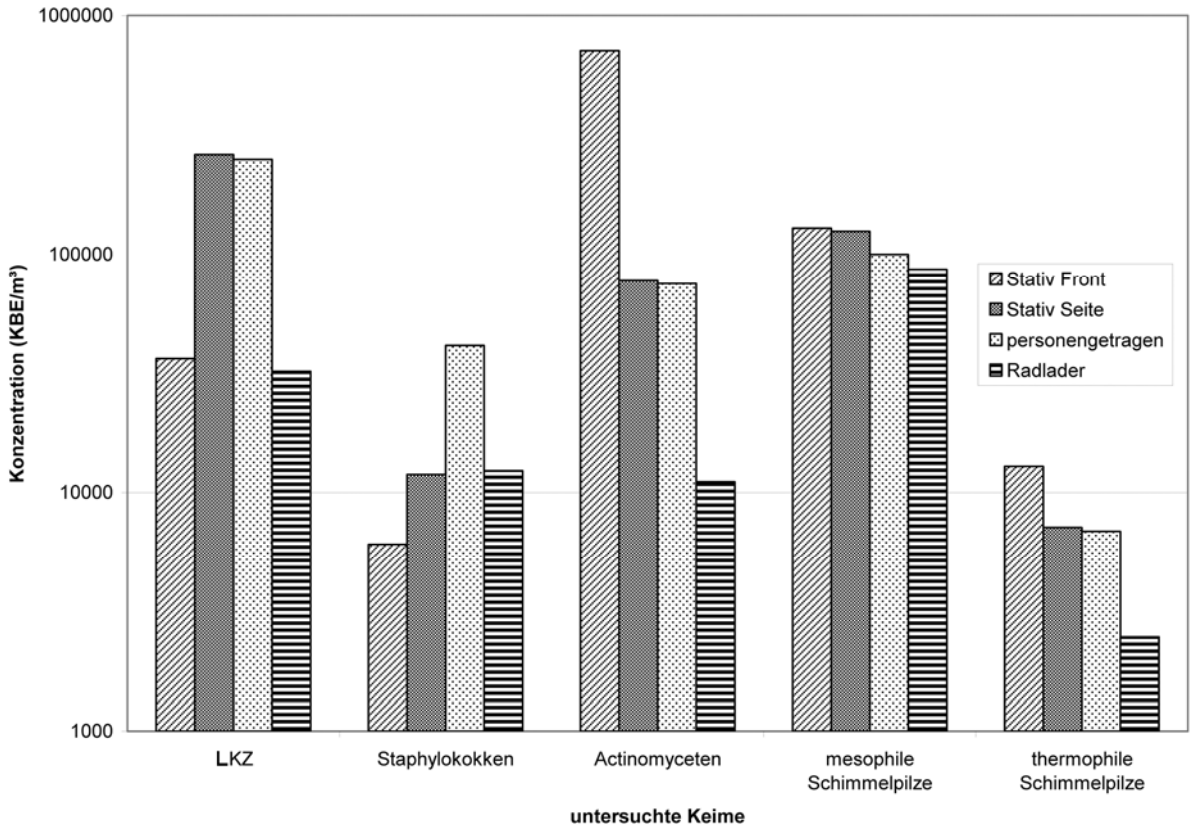

Abbildung 15: Anzahl mesophiler Bakterien (Lebendkeimzahl, LKZ), Staphylokokken und Aktinomyceten sowie mesophiler und thermophiler Schimmelpilzsporen zum Zeitpunkt des Mietenabbaus im ersten Versuch.
Die Keimzahlen wurden zusätzlich zu den Messungen mit dem Impingementverfahren mittels PC-Filtertechnik am Ende des ersten Versuchs stationär an der Frontseite (jeweils 1. Säule) sowie an der Längsseite der Miete (jeweils 2. Säule) ermittelt. Die mobilen Messungen erfolgten personengetragen neben der Miete (jeweils 3. Säule) sowie im Radlader (jeweils 4. Säule).

4.2 Tierversuch

In den vor der Impfung der 12 SPF-Tiere entnommenen 12 Rachen- und 12 Kloakentupfern wurde mittels PCR kein Impfvirus nachgewiesen. Die Untersuchung der Serumproben, die einen Antikörpertiter von unter 1:2 bis 1:4 ergab, zeigte, dass die Tiere ungeimpft waren. Die nach der Impfung entnommenen Serumproben zeigten eine Serokonversion. Während am 2. Tag Antikörpertiter von 1:2 bis 1:4 ermittelt wurden, lagen diese am 9. Tag bei Werten zwischen 1:128 bis 1:1024. In den nach der Impfung entnommenen 30 Kloakentuperproben wurde in einer Probe am 6. Tag das Impfvirus nachgewiesen; bei zwei am 2. Tag entnommenen Proben war das Ergebnis fraglich. In den 30 Rachentupferproben wurde das Impfvirus bei insgesamt 15 Proben (neun am 4. Tag sowie sechs am 6. Tag entnommen) nachgewiesen. Bei zwei Proben am 2. Tag war das Ergebnis fraglich. In den insgesamt 72 Organproben war das Impfvirus nur in drei Proben - nämlich in der Lunge jeweils eines Tieres am 2. und 9. Tag sowie in der Milz eines Tieres am 4. Tag - mittels PCR nachweisbar. Anders als erwartet wurde das ND-Impfvirus in der Eikultur nicht nachgewiesen. Die Prüfung der immunogenen Wirkung des Impfstoffes mit Hilfe des HAH-Tests verlief positiv (Antikörpertitern >1:16). Die Ergebnisse der Untersuchungen von Organ-, Tupfer- und Serumproben sind im Anhang zusammengefasst (Tabellen Anhang 28, 29).

4.3 Zweiter Kompostierungsversuch

4.3.1 Mietenaufbau und Mietenabbau

Der Aufbau der Miete im zweiten Versuch dauerte insgesamt 10,5 Stunden. Wie schon beim ersten Versuch konnten die zum Mietenaufbau verwendeten Materialien mit Ausnahme der zugeschnittenen Drainagerohr- und Folienteilstücke sowie der Maissilage nicht im Versuchsstall selbst gelagert werden und wurden außerhalb des Stalles deponiert. Das zum Aufbau des Komposthaufens verwendete lockere Stroh wurde nach Bedarf in Form von Großballen aus einer Lagerhalle in unmittelbarer Nähe des Versuchsstalles entnommen, während das Strohballenpolster aus HD-Ballen bereits am Vortag aufgebaut worden war. Neben den Transportzeiten des Materials erwies sich die Bewässerung während des Mietenaufbaus als zeitintensivster Faktor. Die Bewässerung war nur über den einen im Stall vorhandenen Wasseranschluss möglich. Daher wurde aufgrund der geplanten intensiveren Bewässerung des mit Folien und Stroh abgedeckten Mietenteils (linker Teil) für diese

Mietenhälfte beim Aufschichten des Kompostmaterials etwas mehr als doppelt so viel Zeit zum Aufbau benötigt wie für den anderen Komposthaufenteil (rechter Teil). Nach Abdeckung des einen Mietenteils (linker Teil) mit Dampfbremsfolie wurde zeitgleich mit der Auftragung und Bewässerung des zu kompostierenden Materials der anderen Mietenhälfte (rechter Teil) begonnen. Insgesamt wurden ca. 34 t bzw. zwei Drittel der angelieferten Einstreu (insgesamt 51,5 t) zum Mietenaufbau verwendet. Der Abbau der Miete des zweiten Versuchs dauerte insgesamt 8,5 Stunden. Trotz des je nach Bedarf mit einer Greifzange oder einer Ladeschaufel ausgerüsteten Radladers war es nicht möglich, das Kompostmaterial getrennt vom folienbedeckten Strohballenpolster abzutragen, so dass die Miete im Ganzen abgebaut werden musste. Das abgetragene Material wurde wie im ersten Versuch in Container außerhalb des Stallgebäudes verbracht und zur Verbrennung zur Abfallbehandlung Nord GmbH nach Bremen transportiert. Folienreste sowie die Drainagerohrteilstücke wurden vor dem Verladen zur gesonderten Entsorgung in dieser Verbrennungsanlage aussortiert. Der Abbau des mit Folien und Stroh abgedeckten Mietenteils verzögerte sich dabei im Vergleich zur anderen Komposthaufenhälfte um ca. eine halbe Stunde, da die verwendete Siloplane sowie die Dampfbremsfolie in Teilstücke geschnitten und entfernt werden mussten. Als zeitintensivster Faktor beim Abbau insgesamt erwies sich jedoch der verhältnismäßig lange Transportweg des Mietenmaterials zu den Containern. Um die an den Folgetagen durchzuführende Reinigung mittels Hochdruckreiniger sowie die Desinfektion des Stalles vorzubereiten, wurden im Anschluss an den Mietenabbau feste Rückstände von Kompostmaterial am Boden mit Wasser besprüht und eingeweicht. In Tabelle 4 ist der Zeitaufwand für die einzelnen Arbeitsschritte des Mietenaufbaus sowie für den Mietenabbau angegeben.

Tabelle 4: Ungefährer Zeitaufwand für die einzelnen Arbeitsschritte beim Mietenaufbau und für den Mietenabbau im zweiten Versuch.

	Arbeitsschritte	**Dauer** [1]
Mietenunterbau	Verladung der HD-Strohballen, Aufbau des Strohballenpolsters	40 Minuten
	untere Siloplane	10 Minuten
	untere Strohschicht (20 cm) über die gesamte Länge der Miete	30 Minuten
	insgesamt 80 Minuten (1 Stunde, 20 Minuten)	
mit Stroh und Folien abgedeckter Mietenteil	Auftragen und Vermischen der Tierkadaver, der Einstreu sowie der Maissilage Einbau der Drainagerohre Bewässerung des Materials (3338 l Wasser [2])	300 Minuten (5 Stunden)
	Dampfbremsfolie, Schneiden der Löcher an beiden Längsseiten der Miete für die Drainagerohre	15 Minuten
	obere Strohschicht (30 cm), an den Seiten in Form von Platten aufgetragen	20 Minuten
	abschließende Silofolie, Schneiden der Löcher an der Oberseite sowie für die Drainagerohre an den Längsseiten der Miete	15 Minuten
	insgesamt 350 Minuten (5 Stunden, 50 Minuten)	
nur mit Stroh abgedeckter Mietenteil	Auftragen und Vermischen der Tierkadaver, der Einstreu sowie der Maissilage Einbau der Drainagerohre Bewässerung des Materials (1697 l Wasser [2])	180 Minuten (3 Stunden)
	abdeckende Strohschicht (30 cm)	20 Minuten
	insgesamt 200 Minuten (3 Stunden, 20 Minuten)	
Mietenaufbau insgesamt	**630 Minuten (10 Stunden, 30 Minuten)**	
Mietenabbau	mit Stroh und Folien abgedeckte Mietenhälfte	270 Minuten (4,5 Stunden)
	nur mit Stroh abgedeckter Teil der Miete	240 Minuten (4 Stunden)
	insgesamt 510 Minuten (8 Stunden, 30 Minuten)	

[1] Obwohl in diesem zweiten Versuch die beiden Mietenhälften teilweise zeitgleich aufgebaut wurden, sind die aufgeführten Zeitspannen für jeden der aufgeführten Arbeitsschritte einzeln protokolliert worden. Beim Mietenaufbau wird die Zeit für das Aufladen und den Transport des Einstreumaterials zum Versuchsstall vor Versuchsbeginn, beim Mietenabbau der Zeitaufwand für die Reinigung, Desinfektion und die dazugehörigen Vorarbeiten sowie für den Transport und die Verbrennung des Mietenmaterials in der Verbrennungsanlage nicht berücksichtigt.
[2] Die angegebenen Wassermengen wurden mit Hilfe einer Wasseruhr ermittelt.

4.3.2 Temperaturmessungen in der Miete

4.3.2.1 Temperaturen in der mit Folien und Stroh abgedeckten Mietenhälfte

Die Wärmedämmung wurde in diesem Versuch durch den Aufbau der Miete auf einem Strohballenpolster verstärkt, um insbesondere im unteren Mietenbereich die Temperaturen zu erhöhen, da die im ersten Versuch angefertigten Wärmebildkameraaufnahmen eine verstärkte Wärmeabgabe der unteren Schichten an den Stallboden gezeigt hatten (Abbildung 13).

Lang andauernde hohe Temperaturen über 40°C traten nun auch in den unteren Mietenschichten auf, und zwar jeweils bei beiden täglichen Messungen am unteren zentralen Messort an 16 aufeinanderfolgenden Tagen (20. bis 35. Tag) und im unteren peripheren Bereich an sechs nicht aufeinanderfolgenden Tagen (2. bis 4., 10. bis 11., 13. Tag; Abbildung 16). Dagegen waren an diesem unteren peripheren Messort der mit Folien und Stroh abgedeckten Mietenhälfte (linker Teil) Temperaturen über 35°C bereits ab dem 2. Tag, im unteren zentralen Bereich jedoch erst ab dem 10. Tag des Versuches messbar. Temperaturen über 45°C bzw. 50°C wurden sowohl in den oberen als auch in den unteren Schichten nicht gemessen.

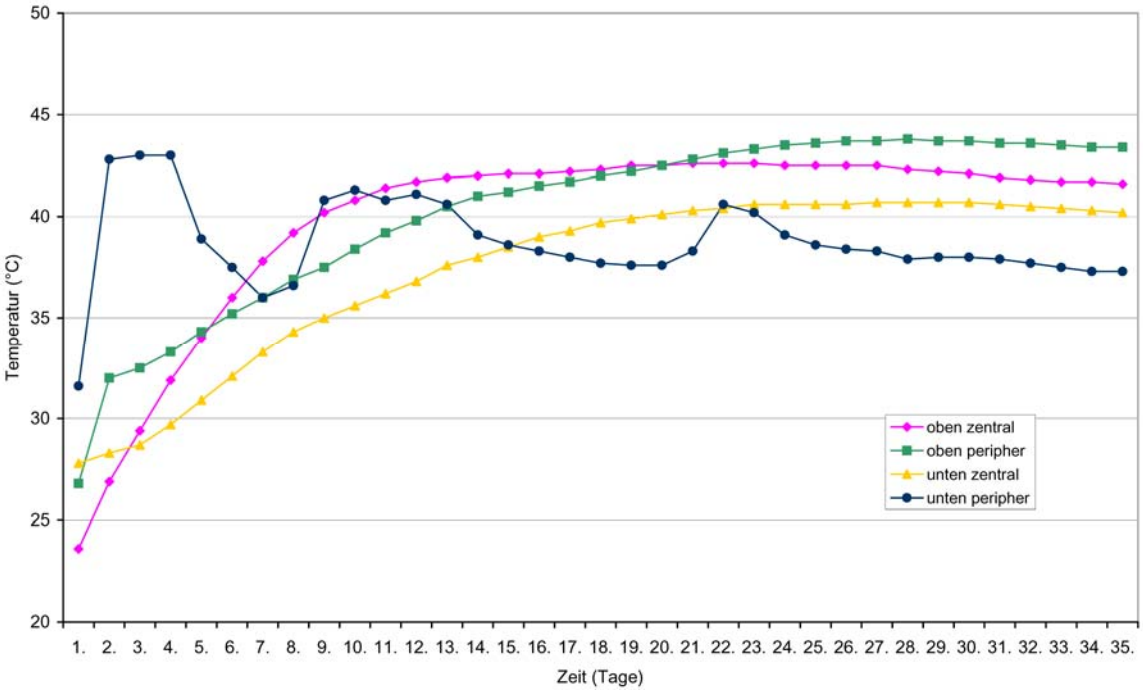

Abbildung 16: Tagesdurchschnittstemperaturen an den vier Messorten der mit Folien und Stroh abgedeckten Mietenhälfte (linker Teil) im zweiten Versuch.
Aus den zwei pro Tag und Messort gemessenen Temperaturen wurde jeweils der Mittelwert, die Tagesdurchschnittstemperatur, berechnet. Zur besseren Übersichtlichkeit wird von der Angabe der Einzelwerte eines jeden Messortes abgesehen.

In der mit Folien und Stroh abgedeckten Mietenhälfte wurden an allen vier Messorten, nun auch in den unteren Schichten, Temperaturen über 40°C erreicht. Die in diesem zweiten Versuch am 29. Tag angefertigten Wärmebildkameraaufnahmen zeigten, dass die Wärmeabgabe an den Stallboden deutlich reduziert war (Abbildung 18). Die Temperaturdifferenz zwischen oberen und unteren Mietenschichten war im Vergleich zum ersten Kompostierungsversuch deutlich geringer ausgeprägt. Werte über 50°C wie im ersten Versuch wurden jedoch nicht gemessen. An mehr als sieben Tagen wurden Temperaturen über 30°C und mit Ausnahme im unteren peripheren Bereich an mehr als fünf aufeinanderfolgenden Tagen Werte über 40°C erreicht. Der untere periphere Mietenbereich wies im Gegensatz zu den drei anderen Messorten einen unregelmäßigen Temperaturverlauf mit insgesamt drei Peaks [1. bis 6. Tag, 8. Tag (2. Messung), 13. Tag (1. Messung), 21. bis 25. Tag] auf. Während dieser Peaks wurden auch an diesem Messort Temperaturen über 40°C festgestellt. Zur Zeit des ersten Peaks sowie während des zweiten Peaks am 9. und am 10. Tag (jeweils 2. Messung) wurden höhere Temperaturen als in den anderen Mietenbereichen protokolliert. Die Temperaturkurve des unteren peripheren Messortes zeigte dann jedoch bis zum Ende des Versuches eine sinkende Tendenz. Wie bereits im ersten Versuch beobachtet, waren die Temperaturen jeweils am peripheren Messort in den unteren Schichten bis zum 15. Tag und in den oberen Schichten zwischen dem 1. und dem 5. Tag sowie ab dem 21. Tag grundsätzlich höher als am zentralen Messort. Das Befahren des zentralen Mietenbereichs mit dem Radlader (in dieser Mietenhälfte stärker als in der anderen) war trotz des überwiegenden Einsatzes eines Teleskopladers beim Mietenaufbau aufgrund der durch Holzpfosten unterteilten Stallfläche nicht zu verhindern. Die Einzeltemperaturen dieser Mietenhälfte, die daraus berechneten Tagesdurchschnittstemperaturen sowie die Minimal- und Maximaltemperaturen sind im Anhang (Tabellen Anhang 30, 31, 32) aufgeführt.

4.3.2.2 Temperaturen in der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte

An den vier Messorten der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte (rechter Teil) wurden Temperaturen über 30°C zu den jeweils zwei täglichen Messzeiten an 28 Tagen (8. bis 35. Tag; Abbildung 17) festgestellt. Dabei lagen die Werte in den oberen Mietenschichten an beiden Messorten vor den Bewässerungen an fünf Tagen (5. bis 9. Tag) sowie danach an 13 Tagen (23. bis 35. Tag) über 40°C. In den unteren Mietenschichten wurden diese hohen Temperaturen nur am peripheren Messort, an 16 Tagen (20. bis 35. Tag), erreicht. Im unteren

zentralen Mietenbereich lag die Temperatur zum Ende des Versuchs knapp unter 40°C. Dagegen wurden an diesem Messort Werte über 35°C [mit Ausnahme der Messungen nach der zweiten Wasserzufuhr am 12. Tag (1. Messung) sowie am 13. Tag (1. Messung)] bereits ab dem 9. Tag, im unteren peripheren Bereich erst ab dem 14. Tag (nach den zwei Bewässerungen) erreicht.

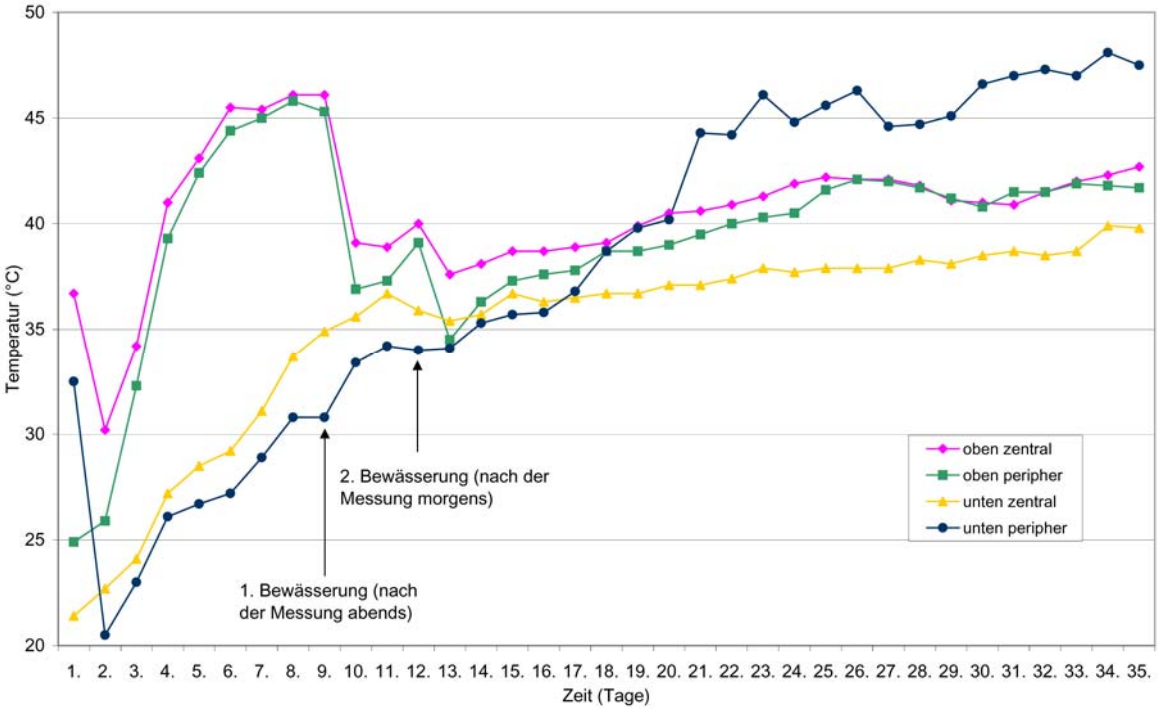

Abbildung 17: Tagesdurchschnittstemperaturen in der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte (rechter Teil) im zweiten Versuch.
Aus den zwei pro Tag und Messort gemessenen Daten wurde jeweils der Mittelwert, die Tagesdurchschnittstemperatur, berechnet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird von der Angabe der Einzelwerte eines jeden Messortes abgesehen.

In dieser nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte wurden an beiden Messorten in den oberen Schichten sowie peripher im unteren Bereich Temperaturen über 40°C gemessen. Werte über 50°C wurden auch in dieser Mietenhälfte nicht erreicht. Bis zum 8. Tag, einen Tag vor der ersten Bewässerung, zeigten die Temperaturen einen mit dem ersten Versuch vergleichbaren Verlauf. Die Werte in den oberen Schichten lagen jedoch wie bei dem anderen Mietenteil dieses zweiten Versuchs, der bei niedrigeren Außentemperaturen im Frühjahr stattfand, auf einem insgesamt niedrigeren Niveau. In dieser Zeit vor den Bewässerungen bestand zwischen oberen und unteren Schichten im Vergleich mit der anderen Mietenhälfte eine deutlich höhere, im Vergleich zum ersten Kompostierungsversuch eine ähnlich hohe

Temperaturdifferenz. Die Bewässerungen führten zu einer Angleichung der Temperaturen des oberen und unteren Mietenbereichs und somit zu einer deutlichen Verringerung dieser Temperaturdifferenz. Sie hatten auf die Temperaturentwicklung in den oberen Schichten einen negativen Einfluss. Ausgehend von dem direkt vor der ersten Wasserzufuhr gemessenen Wert sank die Temperatur trotz geringer Erhöhung zwischen den Bewässerungen zentral insgesamt um 9,1°C und peripher um 11,2°C. Die vor den Bewässerungen gemessenen Temperaturen über 45°C wurden danach bis zum Versuchsende nicht wieder erreicht. Auf die Temperaturentwicklung der unteren Schichten, v.a. des unteren peripheren Bereiches, wirkte sich insbesondere die erste Bewässerung positiv aus. Ein starker Wärmeverlust wie in den oberen Schichten wurde hier nicht beobachtet. Die Temperatur blieb am zentralen Messort fast auf dem gleichen Niveau und stieg im peripheren Bereich sogar um 2,6°C an. Erst die zweite Bewässerung führte nun auch an den beiden unteren Messorten der Miete zu einem Temperaturabfall, der aber im Vergleich zu den oberen Schichten am zentralen Messort mit 3,3°C und peripher mit 1,1°C deutlich schwächer war. Die zweite Wasserzufuhr hatte zudem in der Mitte der einen Mietenlängsseite ein Absinken von Kompostmaterial zur Seite hin zur Folge. Bis zum Versuchsende wurden in den unteren Schichten zentral und besonders peripher im Gegensatz zum oberen Mietenbereich höhere Temperaturen gemessen. Am zentralen Messort lagen die Temperaturen zum Versuchsende knapp unter 40°C. Am peripheren Messort war der Temperaturanstieg deutlich stärker. In diesem Bereich wurden mit Temperaturen weit über 45°C am 26. Tag (2. Messung) sowie ab dem 30. Tag (2. Messung) höhere Werte als in den oberen Schichten vor der Bewässerung und die höchsten Temperaturen im gesamten Versuch gemessen. Auch in dieser Mietenhälfte war auf den am 29. Tag angefertigten Wärmebildkameraaufnahmen eine reduzierte Wärmeabgabe über die Mietenoberfläche sowie an den Stallboden sichtbar (Abbildung 18). Die Temperaturen waren jeweils am peripheren Messort in den unteren Schichten am 1. Tag sowie ab dem 17. Tag (2. Messung), in den oberen Schichten hingegen nur bei vier Messungen während des gesamten Versuchs (jeweils 1. Messung am 29. und 32. Tag, beide Messungen am 31. Tag) höher als zentral. Das Befahren des zentralen Bereichs war auch beim Aufbau dieser Mietenhälfte trotz des Einsatzes eines Teleskopladers nicht zu verhindern.

Die Einzeltemperaturen an den Messorten dieser Mietenhälfte, die daraus berechneten Tagesdurchschnittstemperaturen sowie die Minimal- und Maximalwerte sind im Anhang aufgeführt (Tabellen Anhang 33, 34, 35, 36).

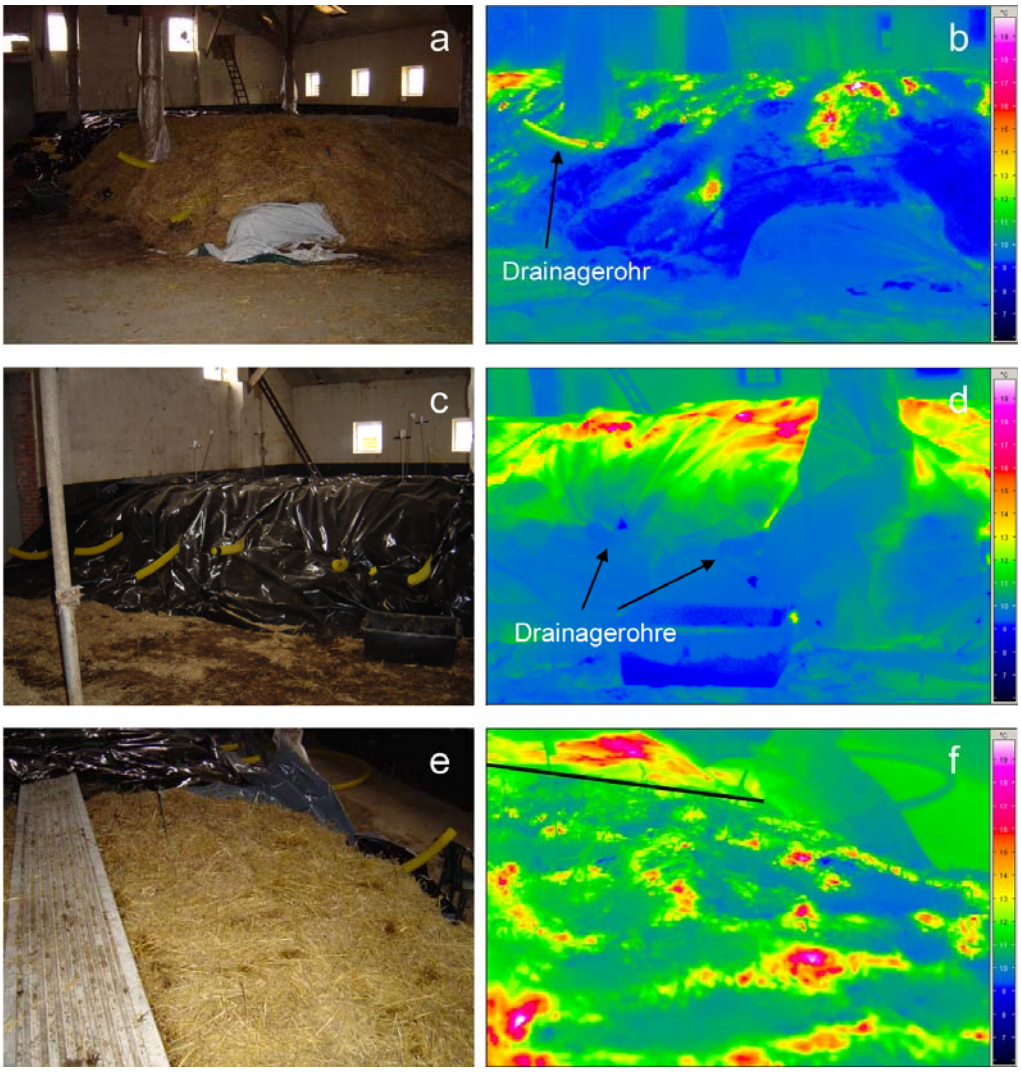

Abbildung 18: Zweiter Versuch - Umgebungsbilder und dazugehörige Wärmebildkamera-aufnahmen der Miete (29. Versuchstag).
a + c + e = Normalansicht, b + d + f = Wärmebildkameraaufnahmen; a + b = die nur mit Stroh abgedeckte Mietenhälfte, c + d = die mit Folien und Stroh abgedeckte Mietenhälfte, e + f = Deckflächen (obere abschließende Flächen) beider Mietenteile. Violett: 17°C bis 19°C, rot: 16°C, orange: 14°C bis 15°C, gelb:13°C, grün: 11°C bis 12°C, hellblau: 10°C, dunkelblau: 7°C bis 9°C. Die Wärmeabgabe an den Stallboden war im Vergleich zum ersten Versuch deutlich reduziert. Die z.T. etwas wärmeren Bereiche des Stallbodens waren wahrscheinlich auf eine Aufwärmung des Bodens infolge der zur Zeit der Aufnahme warmen Witterung zurückzuführen (b + d + f). Bei der durchgehend warmen Oberfläche des nur mit Folie abgedeckten Teils des Komposthaufens handelt es sich vermutlich um Stauungswärme, die über die Luftlöcher in der Siloplane nur verlangsamt abgegeben wurde (d). Die Wärmeabgabe über der Oberfläche des nur mit Stroh abgedeckten Mietenteils war im Vergleich zum ersten Versuch deutlich reduziert (f).

4.3.3 Sonstige Parameter in der Miete

4.3.3.1 Feuchtigkeitsgehalt des Mietenmaterials

Der Feuchtigkeitsgehalt des beim Mietenaufbau verwendeten Einstreumaterials auf Strohbasis lag bei 45,3% bis 56%, das Einstreumaterial auf Sägemehlbasis wies mit 29,4% bis 31,2% einen niedrigeren Feuchtigkeitsgehalt auf. Im Mietenmaterial der mit Folien abgedeckten Komposthaufenhälfte, das vor der Probenentnahme beim Versuchsaufbau bis zur Sättigung bewässert wurde, schwankten die Werte zwischen 38,1% und 51,6% zu Beginn sowie zwischen 46,2% und 78,1% zum Ende des Versuchs. In den Proben der nur mit Stroh abgedeckten und während des Versuchsaufbaus weniger stark bewässerten Mietenhälfte schwankte der Feuchtigkeitsgehalt am ersten Tag zwischen 33,9% und 46,8%. Bei den zusätzlichen Bewässerungen dieses Mietenteils war eine Einstellung des Mietenmaterials auf einen Zielfeuchtigkeitsgehalt von 65% trotz der Berechnung der dazu benötigten Wassermenge nicht möglich. In den ab dem 13. Tag nach diesen Bewässerungen entnommenen Kompostproben dieses Mietenteils wurden mit wenigen Ausnahmen, die sich auf die Proben des unteren peripheren Bereichs beschränkten, Feuchtigkeitsgehalte von deutlich über 65% festgestellt. Sie reichten von 57,8% bis 80,4%.

Zwei gleichzeitige Untersuchungen der Kompostproben zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes durch zwei voneinander unabhängige Institute ergaben deutliche Unterschiede in den Ergebnissen; die für die Methode angegebene Wiederholgrenze von 8,4% wurde jedoch in beiden Untersuchungseinrichtungen jeweils nicht überschritten.

Die Ergebnisse zum Feuchtigkeitsgehalt beider Untersuchungseinrichtungen sind für die Messorte in beiden Mietenhälften sowie für das angelieferte Einstreumaterial im Anhang dargestellt (Tabellen Anhang 37, 38).

4.3.3.2 Zersetzung der Putenkadaver

Der Zersetzungsgrad der Putenkadaver wurde während des zweiten Versuchs nur beim Abbau der Miete am 35. Tag beurteilt. Die Zersetzung war in der mit Folien abgedeckten Mietenhälfte (linker Teil) sowohl in den oberen als auch in den unteren Schichten wenig fortgeschritten. Die Tierkörper selbst waren noch zu erkennen. Ihr Fleisch wirkte wie gekocht (Abbildung 19a). Dagegen wies der größere Teil der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte (rechter Teil) keine Fleischrückstände auf (Abbildung 19b). In den oberen und unteren Mietenschichten fanden sich hier nur vereinzelt Fleischanteile von gekochtem Charakter

(Abbildung 19c), z. T. auch in größeren Ansammlungen (Abbildung 19d), sowie Knochen. Die Zersetzung in den beiden Mietenhälften des zweiten Versuchs war insgesamt nicht so stark wie in den oberen Lagen der Miete im ersten Versuch beobachtet. Nur im unteren Bereich der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte des zweiten Versuchs war der Abbau der Putenkadaver vergleichbar oder weiter fortgeschritten als im ersten Versuch.

Abbildung 19: Zweiter Versuch - Zersetzung am 35. Versuchstag.
(a) Zersetzungsgrad der Putenkadaver in dem mit Stroh und Folien abgedeckten Mietenteil; (b)-(d) Zersetzungsgrad im nur mit Stroh abgedeckten Teil des Komposthaufens, (b) Kompostmaterial ohne sichtbare Fleischeinlagerungen, (c) vorgefundene Fleischstücke von gekochtem Charakter, (d) eine der wenigen größeren Ansammlungen von Fleischresten im nur mit Stroh bedeckten Mietenteil.

4.3.3.3 Mikrobiologische Untersuchungen

Der Kompostierungsprozess führte zu einer Reduzierung der Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie der Enterobakterien- und Enterokokken-Keimzahl in den untersuchten Proben.

Die Lebendkeimzahl aerober Bakterien wies am 35. Tag im Kompostmaterial der mit Folien abgedeckten Mietenhälfte (linker Teil) bis zu acht Zehnerpotenzen, in der nur mit Stroh

abgedeckten Mietenhälfte (rechter Teil) bis zu fünf Zehnerpotenzen niedrigere Werte auf im Vergleich zu dem beim Mietenaufbau entnommenen Probenmaterial. Die Enterobakterien-Keimzahl lag in den Proben beider Mietenhälften am 35. Tag unter 10 KBE/g. Bei dem Kompostmaterial des linken Mietenteils entsprach dies einer Verringerung um bis zu fünf Zehnerpotenzen, bei der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte hingegen um bis zu zwei Zehnerpotenzen im Vergleich zum Ausgangsmaterial. Die Enterokokken-Keimzahl zeigte im Probenmaterial beider Mietenhälften am 35. Tag mit 10 KBE/g bis zu sieben Zehnerpotenzen niedrigere Werte. Die Reduzierung der Enterobakterien- sowie der Enterokokken-Keimzahl wurde für den strohabgedeckten Teil der Miete aufgrund der zusätzlichen Beprobung bereits am 27. Tag festgestellt.

Die in den Proben des Mietenmaterials beider Mietenhälften festgestellten Lebendkeimzahlen aerober Bakterien, die Enterobakterien- sowie die Enterokokken-Keimzahlen sind im Anhang (Tabellen Anhang 39, 40) dargestellt.

4.3.4 Ergebnisse der Umgebungsuntersuchungen

4.3.4.1 Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit

Die Umgebungstemperatur lag während des zweiten Versuches im Frühjahr zwischen 7,5°C und 23,7°C, die Außentemperatur zwischen 4,7°C und 27,1°C. Die Luftfeuchtigkeit im Stall betrug zwischen 46,5% und 86,5%. Außerhalb des Stalles wurden Werte zwischen 42,2% und 84,6% erreicht. Im Anhang sind die Einzeltemperaturen sowie die Werte der Luftfeuchtigkeitsmessungen im Stall sowie außerhalb (Tabellen Anhang 41, 42) aufgeführt.

4.3.4.2 Entwesung

Auf den 6 im Stall ausgelegten Schabenklebefallen wurden keine Schaben festgestellt.

Die Köder der im Versuchsstall in der Nähe der Miete aufgestellten Rattenfallen wiesen auch während des zweiten Versuchs keine Fraßspuren auf. Bei den 17 außerhalb des Stalles verteilten Rattenköderstationen wurden in 9 Fallen während der Versuchszeit Köder verbraucht. Diese von den Nagetieren angenommenen Stationen lagen mit Ausnahme von 2 Fallen (Nr. 4 und Nr. 11) wie beim ersten Versuch an den Grenzen des Hofgeländes. Der durchschnittliche Giftverbrauch pro Station während der Versuchsdauer war jedoch im Vergleich zum ersten Versuch mit 9,9 g sehr niedrig. In der Zeit nach dem zweiten Versuch (143 Tage) wurden unter den im Versuchsstall aufgestellten Fallen nun bei einer Station

(Nr. 23), die durch ein Loch in der Außenwand zugänglich war, Fraßstellen festgestellt. In jeder der 15 außerhalb des Stalles aufgestellten Fallen wurden in dieser Zeit Köder verbraucht, und zwar nun auch in der in der Fahrzeughalle positionierten Station (Nr. 15). Der Köderverbrauch beschränkte sich nun also nicht mehr auf Fallen, die an den Grenzen des Hofgeländes lagen, sondern es wurden auch in der Mitte des Geländes postierte Stationen (Nr. 1, 3, 4, 6, 12, 15) von den Nagetieren angenommen. Letztere gehörten jedoch zusammen mit der einzigen Fraßspuren aufweisenden Station im Versuchsstall zu den sieben Fallen mit dem niedrigsten Köderverbrauch. Der durchschnittliche Giftverbrauch pro Station über 30 Tage war in der Zeit nach dem zweiten Kompostierungsversuch mit 53,6 g höher als während des ersten und zweiten Versuchs und in der Zeit zwischen den Versuchen. Eine Auflistung der während des zweiten Versuchs und danach angenommenen Rattenköderstationen in absteigender Reihenfolge des verbrauchten Ködergifts und mit Angabe der täglich gefressenen Giftmenge befindet sich im Anhang (Tabellen Anhang 43, 44).

4.3.4.3 Arthropoden-Monitoring

Im zweiten Kompostierungsversuch wurden mit insgesamt 51.196 Einzeltieren mehr als doppelt so viele Arthropoden im Vergleich zum ersten Versuch gezählt. Die Arthropodenanzahl stieg wöchentlich deutlich an. In den ersten beiden Wochen des Versuchs lag die Arthropodenzahl zwischen 1000 und etwas mehr als 1300 Einzeltieren, und in der dritten Woche war ein deutlicher Anstieg auf die acht- bis elffache Zahl (11052 Arthropoden) zu verzeichnen. Im Vergleich dazu verdoppelte sich die Arthropodenzahl nahezu in der vierten sowie fünften Woche des Versuchs. Mit 18573 bis etwas mehr als 19000 Einzeltieren wurde in diesen letzten beiden Wochen des Versuchs das höchste Arthropodenaufkommen festgestellt. Im Gegensatz zum ersten Kompostierungsversuch waren die Fliegen nur in der vierten und fünften Woche die am häufigsten vertretene Fraktion innerhalb der Klasse der Insekten. Sie machten in der vierten Woche mit mehr als 12.000 Einzeltieren mehr als die Hälfte der Arthropoden aus. In der ersten bis dritten Woche des Versuchs stellten sie mit 100 bis etwas mehr als 1700 Einzeltieren jeweils die zweitstärkste Fraktion dar. Das Artenspektrum glich dem des ersten Versuchs, zudem wurden Scheu- (*Heleomyzidae*) sowie Schmeißfliegen (*Calliphora* spec., *Calliphoridae*) als weitere Arten vorgefunden. Mit dem Fliegenaufkommen stieg auch die Anzahl der Raubmilben. Die Zahl der Spinnentiere,

insbesondere auch in diesem Versuch durch die Raubmilben (*Arachnida*, Überfamilie *Gamasina*) vertreten, stieg während des Versuchs auf über 9300 Einzeltiere an. In der zweiten Woche waren sie am dritthäufigsten vertreten, in der Woche des höchsten Fliegenaufkommens (vierte Woche) waren sie mit über 5700 Tieren bereits die zweithäufigste Fraktion der Arthropoden. In der fünften Woche machten sie sogar noch vor den Fliegen den größten Anteil der Arthropoden aus. Mücken stellten in den ersten beiden Wochen des Versuchs die stärkste und ab der dritten Woche die zweitstärkste Fraktion der Arthropoden dar. Das Artenspektrum glich auch hier dem des ersten Versuchs, wobei jedoch die Schmetterlingsmücken (*Psychodidae*) am häufigsten vertreten waren. Die Anzahl der Staubläuse war im Vergleich zum ersten Versuch verschwindend gering. Im Gegensatz zum ersten Kompostierungsversuch wurde weniger als die Hälfte der Käfer, jedoch mehr als das Zehnfache an Fransenflüglern (*Thysanoptera*) gezählt. Letztere machten in der ersten Woche die drittstärkste und in der dritten Woche die stärkste Fraktion der Arthropoden aus. Danach war in der vierten und fünften Woche ein starker Rückgang festzustellen. Eine Zusammenfassung der Gesamtzahlen der Arthropoden des zweiten Kompostierungsversuchs ist in Tabelle 5, eine entsprechend detaillierte Auflistung nach einzelnen Klassen, Ordnungen, Gattungen und Arten ist im Anhang (Tabelle Anhang 45) zu finden. In Tabelle Anhang 46 ist die Mücken- und Fliegenanzahl pro Woche (und insgesamt) im zweiten Kompostierungsversuch gesondert dargestellt.

Tabelle 5: Arthropodenaufkommen im zweiten Kompostierungsversuch.

Arthropodenaufkommen im zweiten Kompostierungsversuch[1]						
Arthropoden	**1. Woche**	**2. Woche**	**3. Woche**	**4. Woche**	**5. Woche**	**Summe**
Klasse Insekten (*Insecta*):	972	1230	10062	12798	9874	34936
Mücken (*Nematocera*)	490	945	1767	486	616	4304
Fliegen (*Brachycera*)	350	165	1734	12141	8626	23016
Schmetterlinge (*Lepidoptera*)	4	8	16	7	17	52
Hautflügler (*Hymenoptera*)	6	7	10	1	21	45
Käfer (*Coleoptera*)	29	14	222	34	245	544
Schnabelkerfe (*Hemiptera*)	1	0	2	0	2	5
Fransenflügler (*Thysanoptera*)	78	75	6296	123	240	6812
Staubläuse (*Psocoptera*)	14	16	11	6	105	152
Ohrwürmer (*Dermaptera*)	0	0	4	0	2	6
Klasse Springschwänze (*Collembola*)	0	2	1	0	1	4
Klasse Spinnentiere (*Arachnida*)	41	103	989	5775	9347	16255
Klasse höhere Krebse (Asseln = *Isopoda*)	1	0	0	0	0	1
GESAMTSUMME	1014	1335	11052	18573	19222	51196

[1] Anzahl der Arthropoden insgesamt (pro Woche) sowie pro Klasse bzw. Ordnung (Unterordnung). Die fett gedruckten Zahlen kennzeichnen jeweils die drei stärksten Fraktionen der Arthropoden.

4.3.4.4 Messungen zum Arbeitsschutz

An den zwei Messorten in Mietennähe (Abbildung Anhang 1) wurden sowohl während des Aufbaus als auch des Abbaus der Miete sowie je einen Tag zuvor jeweils sechs stationäre Messungen durchgeführt. Mobile Messungen erfolgten nur beim Auf- und Abbau der Miete. Sie fanden personengetragen während der Arbeit in Mietennähe sowie im Radlader statt. Dabei erfolgten personengetragen während des Mietenaufbaus fünf und beim Abbau insgesamt vier Messungen, im Radlader fanden jeweils zwei Messungen statt.

Die stationären Messungen vor Aufbau der Miete im nicht genutzten, leeren Stallgebäude ergaben nur geringe Keimkonzentrationen; Aktinomyceten waren dabei nicht nachweisbar. Es wurde eine relativ geringe Anzahl mesophiler und thermophiler Schimmelpilzsporen in der Stallluft festgestellt. Der Staubgehalt erreichte nur Werte unter 0,8 mg/m³, die Endotoxinkonzentration lag bei 2 EU/m³ bis 3 EU/m³. In wenigen der während dieser Vormessungen entnommenen Proben wurden *Bacillus* spec. nachgewiesen.

Der Aufbau der Miete verursachte gemäß stationärer Messung neben einem ersten Nachweis von Aktinomyceten einen deutlichen Anstieg der Konzentration mesophiler Bakterien, Staphylokokken und mesophiler und thermophiler Schimmelpilzsporen sowie eine erhöhte Endotoxinkonzentration und ein vermehrtes Staubaufkommen in der Stallluft im Vergleich zum Vortag. Dabei erreichte die Anzahl der mesophilen Bakterien beim Aufbau der Miete zwei, die der Staphylokokken zwei bis drei Zehnerpotenzen höhere Konzentrationen. Anders als beim Mietenabbau im ersten Versuch wurden deutlich mehr Staphylokokken als Aktinomyceten in der Stallluft festgestellt. Ihre Konzentration stieg um zwei bis drei Zehnerpotenzen an. Staphylokokken machten mit ca. 60% bis 80% auch einen größeren Anteil an der Lebendkeimzahl aerober, mesophiler Bakterien aus. Die Anzahl der Aktinomyceten erreichte einen ein bzw. zwei Zehnerpotenzen niedrigeren Wert. Beim Mietenaufbau stieg die Konzentration der mesophilen Schimmelpilzsporen um ein bis zwei Zehnerpotenzen im Vergleich zu den Vormessungen an. Thermophile Schimmelpilzsporen hatten einen Anteil von etwa 21% der mesophilen Schimmelpilzsporen. Der Staubgehalt stieg auf Werte zwischen 1 mg/m³ und über 2 mg/m³ an. Die Endotoxinkonzentration erreichte an einem der beiden stationären Messorte mit 164 EU/m³ den 55fachen Wert im Vergleich zum Vortag.

Die mobilen Messungen beim Mietenaufbau ergaben während der personengetragenen Untersuchungen zum Zeitpunkt der Formung der unteren Strohschicht die höchsten Bakterien- und Schimmelpilzkonzentrationen (1. personengetragene Untersuchung, Abbildung 20) und bei der Aufschichtung des zu kompostierenden Materials die stärksten Belastungen mit Endotoxinen und Staub (2. personengetragene Untersuchung, Abbildung 20). Damit war das Staubaufkommen in dieser zweiten personengetragenen Untersuchung mit 6,6 mg/m³ annähernd doppelt, die Endotoxinkonzentration mit 2139 EU/m³ sogar viermal so hoch wie bei der Formung der unteren Strohschicht. Die Bakterien- und Schimmelpilzsporenkonzentrationen lagen im Gegensatz dazu bis zu zwei Zehnerpotenzen niedriger. Bei der dritten personengetragenen Untersuchung, die nur unter Verwendung von GF-Filtern während der Bewässerung des Mietenmaterials durchgeführt wurde, wurde eine ca. 100 EU/m³ höhere Endotoxinkonzentration als bei der Formung der unteren Strohschicht gemessen, während das Staubaufkommen eine ähnlich hohe Konzentration wie im Radlader aufwies.

Im Radlader lag während des Mietenaufbaus nur der Staubgehalt mit 4,54 mg/m³ deutlich über den stationär gemessenen Ergebnissen, aber im Bereich der bei den personengetragenen Untersuchungen festgestellten Werte.

In den stationär und mobil während des Mietenaufbaus entnommenen Proben wurden überwiegend *Bacillus* spec. nachgewiesen. Dabei waren nun auch *Clostridium* spec. in einer stationär mittels des Impingements entnommenen Probe nachweisbar.

Die stationären Messungen (Impingement, GF-Filter) bei geschlossener Miete vor ihrem Abbau ergaben nur geringe Bakterienkonzentrationen und eine relativ niedrige Zahl von Schimmelpilzsporen. Der Staubgehalt erreichte nur Werte unter 0,1 mg/m³, die Endotoxinkonzentration lag bei 3 mg/m³ bis 4 mg/m³.

Der Aufbruch und Abbau der Miete führten gemäß stationärer Messung neben einem ersten Nachweis von Aktinomyceten zu einem deutlichen Anstieg der Konzentration mesophiler Bakterien, Staphylokokken und thermophiler Schimmelpilze sowie zu einer erhöhten Endotoxinkonzentration und einem vermehrten Staubaufkommen in der Stallluft im Vergleich zum Vortag. Die Zahl der mesophilen Schimmelpilzsporen stieg um bis zu einer Zehnerpotenz, die der thermophilen Schimmelpilzsporen um ein bis zwei Zehnerpotenzen an. Sie hatten einen Anteil von etwa 13% der mesophilen Schimmelpilzsporen. Staphylokokken zeigten einen gleich hohen Konzentrationsanstieg. An einem der beiden stationären Messorte lag ihre Konzentration dabei eine Zehnerpotenz höher als die der Aktinomyceten. Eine Reduzierung der Belastung mit Staphylokokken sowie eine erhöhte Konzentration von Aktinomyceten wurden beim Mietenabbau im Gegensatz zum ersten Versuch nicht beobachtet. Staphylokokken machten nur an einem der beiden stationären Messorte mit 36% einen geringeren Anteil an der Lebendkeimzahl aerober Bakterien aus, während sie an dem anderen mit mehr als 90% einen noch höheren Anteil als beim Mietenaufbau erreichten. Die Konzentration aerober Bakterien erreichte zwei Zehnerpotenzen höhere Werte. Der Staubgehalt stieg mit Werten zwischen 0,6 mg/m³ und über 1 mg/m³ auf das 11fache bis 29fache an. Die Endotoxinkonzentration zeigte eine stärkere Erhöhung. Sie erreichte mit 78 EU/m³ und 211 EU/m³ das 20fache bzw. 70fache der Konzentration vom Vortag.

Bei den mobilen Messungen lagen im Radlader die Konzentrationen der Staphylokokken sowie der mesophilen und thermophilen Schimmelpilze, während der zwei personengetragenen Untersuchungen auch die der mesophilen Bakterien und der Aktinomyceten im Bereich der stationär gemessenen Ergebnisse (Abbildung 21). Die

Belastung mit aeroben Bakterien und Aktinomyceten war im Radlader bei geschlossener Fahrerkabine geringer. Sie lag eine Zehnerpotenz niedriger als bei der Arbeit in Mietennähe (personengetragen) und ein bis zu zwei Zehnerpotenzen unter den stationär ermittelten Ergebnissen. Das Staubaufkommen sowie die Endotoxinkonzentration wiesen hier Werte im Bereich der stationär gemessenen Ergebnisse auf, während sie bei der Arbeit in Mietennähe die jeweils höchsten Belastungen darstellten. Während der personengetragenen Untersuchungen war die Endotoxinkonzentration mit durchschnittlich 489 EU/m³ zwei- bis sechsmal so hoch wie stationär. Der Staubgehalt erreichte mit Werten um 2 mg/m³ das bis zu Dreifache der stationär gemessenen Konzentrationen.
In den stationär und mobil während des Mietenabbaus entnommenen Proben wurden im überwiegenden Teil *Bacillus* spec. und vermehrt auch *Clostridium* spec. nachgewiesen.

Bei den Messungen zum Arbeitsschutz waren auf den jeweils als Negativkontrollen mitgeführten GF-Filtern weder Staub noch Endotoxine, auf den entsprechenden Negativkontrollen der PC-Filter und des Impingements keine Bakterien und Schimmelpilze nachweisbar. Im Vergleich zu den Konzentrationen von Bakterien und Schimmelpilzen, die auf den aktiv beprobten Filtern während der mobilen Messungen (Radlader, personengetragene Untersuchung) jeweils abgeschieden wurden, war die Beaufschlagung durch umherfliegende größere Partikel ebenfalls zu vernachlässigen (s. Radlader-Kontrolle, personengetragene Kontrolle).
Die Einzelergebnisse der Messungen zum Arbeitsschutz im zweiten Versuch beim Mietenauf- und -abbau sind im Anhang (Tabellen Anhang 47, 48, 49, 50, 51, 52) dargestellt. Die Umgebungstemperatur sowie die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb des Stalles zum Zeitpunkt der Messungen am 1. Tag morgens sind dem Anhang (Tabelle Anhang 41) zu entnehmen. Einen Tag vor Mietenaufbau abends wurde im Stall eine Temperatur von 8,4°C gemessen. Die relative Luftfeuchtigkeit betrug 73,9%.
Die regelmäßig gemessenen Konzentrationen von Ammoniak, Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff während des Versuchs sind im Anhang (Tabelle Anhang 53) zu finden. Während dieser Begleitmessungen wurde ein tendenzieller Anstieg der Ammoniakkonzentration bis zum Versuchsende sowohl an den beiden Messorten in Mietennähe als auch auf der Miete beobachtet. Bei den Messungen in Mietennähe wurden ab dem 23. Tag des Versuches mehrmalig Konzentrationen über 20 ppm (bis 37 ppm)

festgestellt. Über der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte wurde die jeweils stärkste Belastung mit Ammoniak gemessen. Werte über 20 ppm (bis 70 ppm) wurden in diesem Bereich überwiegend bereits ab dem 11. Tag gemessen. Die stärkste Belastung mit einer über dem Messbereich von 70 ppm liegenden Konzentration wurde am vorletzten Tag des Versuches ermittelt. Die über der mit Folien abgedeckten Mietenhälfte ab dem 15. Tag wöchentlich gemessenen Ammoniakkonzentrationen hingegen waren jeweils nicht höher als 20 ppm. Die in Mietennähe und auch die über beiden Mietenhälften gemessenen Kohlendioxidkonzentrationen waren nicht höher als 1600 ppm. Dabei wurden die höheren Werte jeweils zum Ende des Versuchs gemessen. Die höchsten Belastungen mit Kohlendioxid wurden mit 1600 ppm im Bereich über der Miete und mit 1450 ppm an den Messorten in Mietennähe wie bei der Messung der Ammoniakkonzentration am vorletzten Tag protokolliert. Über der mit Folien abgedeckten Mietenhälfte wurden Konzentrationen von nicht mehr als 650 ppm festgestellt. Schwefelwasserstoff wurde in diesem Versuch nicht nachgewiesen. Die Konzentrationen von Ammoniak und Kohlendioxid an den zwei Messorten in Mietennähe sowie die Ergebnisse der Messungen auf der Miete sind in Tabelle Anhang 53 aufgeführt.

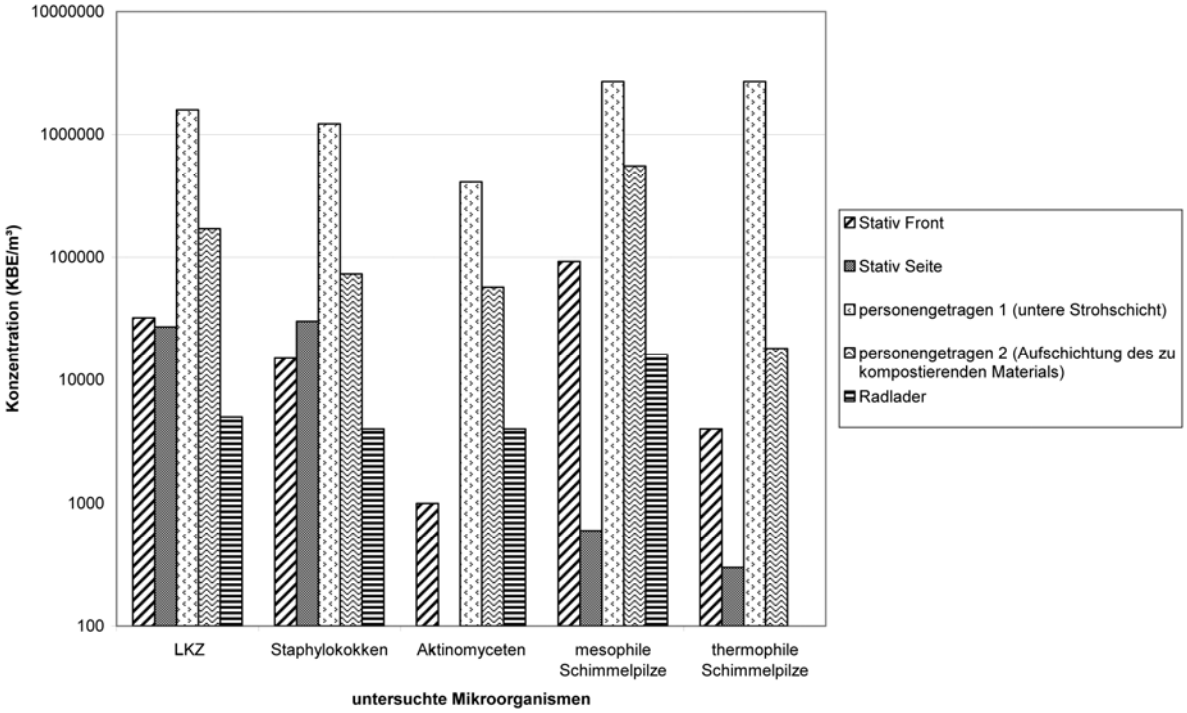

Abbildung 20: Anzahl mesophiler Bakterien (Lebendkeimzahl, LKZ), Staphylokokken und Aktinomyceten sowie mesophiler und thermophiler Schimmelpilzsporen zum Zeitpunkt des Mietenaufbaus im zweiten Kompostierungsversuch.
Die Keimzahlen wurden mittels PC-Filtertechnik am Anfang des zweiten Versuchs stationär an der Frontseite (jeweils 1. Säule) sowie an der Längsseite der Miete (jeweils 2. Säule) ermittelt. Die mobilen Messungen erfolgten personengetragen bei der Formung der unteren Strohschicht (jeweils 3. Säule) und während der Aufschichtung des zu kompostierenden Materials (jeweils 4. Säule) sowie im Radlader (jeweils 5. Säule). Wurden bestimmte Bakterienspezies oder Schimmelpilzsporen an einem Messort bzw. bei einer Messung nicht nachgewiesen, fehlt die entsprechende Säule im Diagramm.

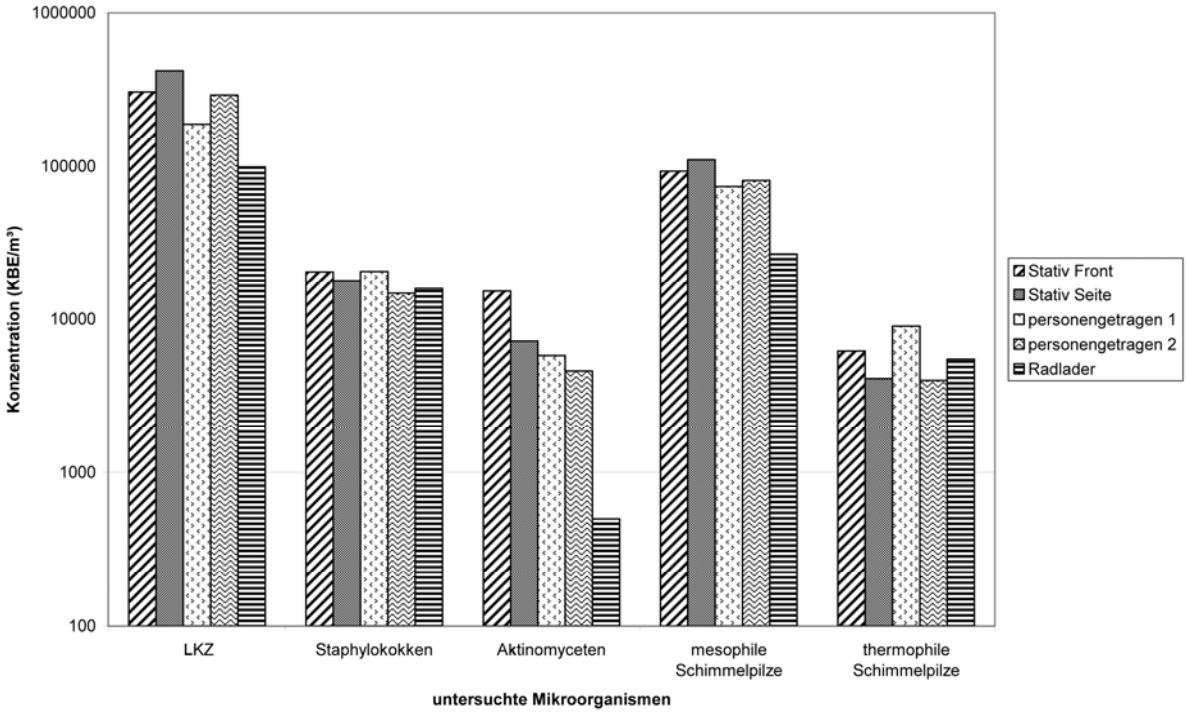

Abbildung 21: Anzahl mesophiler Bakterien (Lebendkeimzahl, LKZ), Staphylokokken und Aktinomyceten sowie mesophiler und thermophiler Schimmelpilzsporen zum Zeitpunkt des Mietenabbaus im zweiten Kompostierungsversuch.
Die Keimzahlen wurden mittels PC-Filtertechnik am Ende des zweiten Versuchs stationär an der Frontseite (jeweils 1. Säule) sowie an der Längsseite der Miete (jeweils 2. Säule) ermittelt. Die mobilen Messungen erfolgten personengetragen (jeweils 3. und 4. Säule) sowie im Radlader (jeweils 5. Säule).

5 Diskussion

5.1 Übergreifende Diskussion

In der Geflügelhaltung fallen aufgrund der sehr hohen Besatzdichte bei Ausbruch einer Tierseuche innerhalb kürzester Zeit große Mengen von Tierkadavern an, die die Kapazitäten der entsprechenden Verarbeitungsbetriebe übersteigen können. Nach Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 vom 21. Oktober 2009 sind bei Auslastung dieser Anlagen oder wenn Verschleppungsrisiken zu befürchten sind, auch das Vergraben und Verbrennen zulässige Entsorgungsverfahren für die Tierkadaver. Die vorliegende Dissertation sollte mit der technischen Untersuchung der Kompostierung von Tierkadavern im Stall, die auch die kontaminierte Einstreu einschließt, einen möglichen dritten Entsorgungsweg, alternativ zum Vergraben und Verbrennen, mit weniger unkontrollierten Folgen für die Umwelt (Luft- und Grundwasserverschmutzung) aufzeigen.
Dabei wurde mit Niedersachsen ein Bundesland mit hoher Geflügelkonzentration als Ort der Kompostierungsversuche gewählt. Hier waren z.B. 2008/09 im Landkreis Cloppenburg mehrere Ausbrüche niedrigpathogener aviärer Influenza (H5N3) vorrangig in Putenbeständen amtlich festgestellt worden (GERDES et al., 2009).
Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchte thermische Behandlung der Tierkadaver im Stall durch den Kompostierungsprozess vor dem Abtransport des Materials in Verbrennungsanlagen kann zur Eindämmung einer Tierseuche beitragen. Das Verfahren der Kompostierung zur Beseitigung von Geflügelkadavern wurde in den USA sowie in Kanada bereits mehrfach bei Tierseuchenausbrüchen erfolgreich eingesetzt (SCHWARTZ, 1993; SHANE, 2004; SPENCER et al., 2004; BENDFELDT et al., 2005 a, b; SPENCER et al., 2005; BENDFELDT et al., 2006; FLORY et al., 2006 b; MALONE, 2006; SHANE, 2006; SPENCER und GUAN, 2006; BENSON et al., 2008; FLORY und PEER, 2010).

Im **ersten Kompostierungsversuch** wurde die 1,2 m hohe Kompostmiete in Anlehnung an die Methode von CARR et al. (1998) und TABLANTE et al. (2002) aufgebaut. Dabei fand der Kompostierungsprozess zweiphasig mit Umschichtung über einen Zeitraum von 30 Tagen statt. Die Putenkadaver wurden entsprechend der „layering“-Methode (MALONE, 2004; 2005, 2006; SHANE, 2006) in zwei durch Einstreu voneinander getrennten Tierkadaverschichten in der Miete angeordnet. Die Putenkadaver wurden aufgrund ihrer

Größe wie von TABLANTE et al. (2002) empfohlen jeweils nur einlagig als Tierkadaverschicht aufgebaut. Sie wurden so verteilt, dass sie sich möglichst nicht gegenseitig berührten, um lokale Bereiche extremer Feuchtigkeit mit schlechter Zersetzung zu vermeiden (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997). Zum Mietenrandbereich wurde bei der Formung der Kadaverschichten ausreichend Platz (20 cm bis 30 cm) gelassen (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997; CARR et al., 1998; TABLANTE et al., 2002), um sicherzustellen, dass die Tierkadaver möglichst den höheren Temperaturen im Mietenzentrum ausgesetzt wurden (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997; BERGE et al., 2009). Dabei wurden nur die Federn der Tierkadaver entsprechend MURPHY (1992 b), CARR et al. (1998) sowie TABLANTE et al. (2002) bewässert, ohne die darunterliegende Einstreuschicht zu befeuchten.

Laut CARR et al. (1998) und TABLANTE et al. (2002) waren in der Miete Temperaturen zwischen 57,2°C und 62,8°C innerhalb einer Woche nach Mietenaufbau zu erwarten. Dieses Temperaturniveau wurde in beiden Mietenhälften im ersten Kompostierungsversuch vor und nach der Umschichtung nicht erreicht. Auch die Temperaturverteilung entsprach nicht den bisherigen Erfahrungen mit den höchsten Temperaturen im Mietenzentrum und den niedrigeren Temperaturen in peripheren Mietenbereichen (WILKINSON, 2007; BERGE et al., 2009). So wurden in den unteren Schichten der zuerst aufgebauten Mietenhälfte ab dem 4. Versuchstag deutlich höhere Temperaturen am peripheren Messort im Vergleich zum zentralen Bereich erreicht. Eine mittelbare Ursache für diese Diskrepanz könnte der im Versuchsstall bestehende Platzmangel gewesen sein, der durch eine Unterteilung der Stallfläche durch Holzpfosten noch verstärkt wurde; dadurch war das Rangieren des Teleskopladers beim Aufbau der Miete deutlich eingeschränkt und insbesondere das Befahren des zentralen Bereichs der zuerst aufgebauten Mietenhälfte konnte aufgrund der an dieser Stelle vorhandenen seitlichen Betonabgrenzungen nicht vermieden werden. Dieses Befahren des Mietenmaterials führt aber laut FLORY und PEER (2010) zu einer Verdichtung des Materials und zu einer nicht ausreichenden Sauerstoffkonzentration. Damit werden die Vermehrung der Keimflora und die damit verbundene Wärmeentwicklung gehemmt. Auch kann verdichtetes Material an der Mietenbasis nicht ohne Weiteres die Körperflüssigkeiten der Kadaver aufnehmen, so dass es zur Bildung von Sickerwasser kommt. Das Befahren des Mietenmaterials ist daher möglichst zu vermeiden (SPENCER et al., 2004).

Die Kompression des Mietenmaterials in der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte war dagegen weniger stark ausgeprägt, da sich dieser Teil des Komposthaufens in der Nähe des Übergangs zum ehemaligen Laufstall befand und an dieser Stelle daher mehr Platz zum Rangieren vorhanden war. Dies war vermutlich der Grund dafür, dass hier - wie von WILKINSON (2007) beschrieben - die Temperaturen in den unteren Schichten am zentralen Messort zumeist höher lagen als im korrespondierenden peripheren Bereich.

Da im vorliegenden ersten Versuch ein Temperaturgradient von mehr als 23°C zwischen den oberen und unteren Schichten beider Mietenhälften, wie von MURPHY (1990) insbesondere für nicht umgeschichtete Mieten beschrieben, vorlag und da zudem eine starke Inhomogenität der Temperaturen innerhalb des Mietenmaterials bestand, wurde am 13. Versuchstag eine Umschichtung durchgeführt. Ein entsprechender Neuaufbau der Miete ist auch bei CARR et al. (1998) sowie TABLANTE et al. (2002) nach 7 bis 10 Tagen bzw. 10 bis 14 Tagen bei einsetzendem Temperaturabfall auf Werte zwischen 46,1°C und 51,7°C beschrieben. Der ausbleibenden Temperaturentwicklung infolge eines nicht optimalen Feuchtigkeitsgehaltes, einer inaktiven Einstreu oder eines Sauerstoffmangels (wie vermutlich im eigenen ersten Versuch) kann durch Mietenumschichtung entgegengewirkt werden (MALONE, 2004). Die Umschichtung dient einer weitergehenden Vermischung des Materials und einer Anregung des Kompostierungsprozesses durch Sauerstoffeintrag, so dass höhere Durchschnittstemperaturen und eine gleichmäßigere Wärmeverteilung im Mietenmaterial erreicht werden (MURPHY und HANDWERKER, 1988; MURPHY, 1990). Dabei sollte das Kompostmaterial zur Belüftung und zur Erhöhung der Porosität während der Umschichtung und vor dem Neuaufbau der Miete „aufgeschüttelt“ werden (CARR et al., 1998; TABLANTE et al., 2002).

Da zusätzlich als Grund für die beobachtete Temperaturdifferenz auch eine Abgabe der Kompostwärme der unteren Schichten an den Stallbetonboden in Frage kam (SENNE et al. 1994), wurde bei der Umschichtung die zuerst aufgebaute Mietenhälfte nicht direkt auf dem Stallboden, sondern auf einer zusätzlichen Einstreuschicht von 25 cm Dicke aufgebaut. Weil bei einer Handquetschprobe des Mietenmaterials die Handfläche trocken blieb (CARR et al., 1998; TABLANTE et al., 2002), wurde das Kompostmaterial während der Umschichtung zudem laufend bewässert. Aufgrund des beschriebenen Platzmangels im Stall konnte die

Miete nur an derselben Position im Stall wieder aufgebaut und damit ein erneutes Befahren des Mietenmaterials durch den Teleskoplader mit den damit verbundenen negativen Auswirkungen nicht vermieden werden. Durch das während der Umschichtung zu den Seiten des Stalles beförderte Mietenmaterial wurden der Platzmangel verstärkt und die Rangiermöglichkeiten des Teleskopladers beim Aufbau der zuerst aufzubauenden Mietenhälfte nach der Umschichtung noch deutlicher eingeschränkt, so dass die Kompression im zentralen Bereich wahrscheinlich wesentlich stärker ausgeprägt war als am 1. Versuchstag. Diese stärkere Kompression hatte nun auch Auswirkungen auf die Temperaturentwicklung in den oberen Schichten dieser Mietenhälfte, so dass hier nach der Umschichtung Temperaturen über 50°C nicht mehr nachweisbar waren. Es zeigte sich, dass in dem weniger befahrenen, zuletzt aufgebauten Mietenteil diese Auswirkungen auf die Temperaturentwicklung der oberen Schichten nicht beobachtet wurden und hier nach der Umschichtung nun Temperaturen auch über 50°C messbar waren. Die Kompression im zentralen Bereich scheint dennoch auch bei diesem Mietenteil im Vergleich zum 1. Versuchstag stärker ausgeprägt gewesen zu sein, da nun in den unteren Schichten ab dem 22. Tag am peripheren Messort höhere Temperaturen als im zentralen Bereich protokolliert wurden. Allerdings wurden im bodennahen Bereich dieses Mietenteils, der nicht durch eine zusätzliche Schicht zum Boden hin isoliert war, weiterhin keine Temperaturen von durchgehend über 35°C erreicht. Dabei konnte die vermutete Wärmeabgabe an den Boden durch am 23. Tag angefertigte Wärmebildkameraufnahmen belegt werden. Zudem zeigten diese Aufnahme deutliche Wärmeverluste über die Mietenoberfläche an. Somit könnten die im Vergleich zu vorangegangenen Arbeiten niedrigeren Temperaturen in den oberen Mietenschichten auch durch eine nicht ausreichende Abdeckung mit Einstreu begründet werden.

Der Temperaturpeak in den unteren Schichten bzw. Temperaturabfall in den oberen Bereichen kurz nach der Umschichtung beruhte vermutlich auf der mit der Mietenwendung erzielten weitergehenden Vermischung des Mietenmaterials. Dabei gelangte wärmeres Kompostmaterial aus den oberen in die unteren Lagen des Komposthaufens und umgekehrt (WILKINSON, 2007). In diesem Zusammenhang können bezüglich des Temperaturabfalls in den oberen Schichten eine mögliche Abkühlung durch Bewässerung des Mietenmaterials bei Neuaufbau der Miete und ein genereller Wärmeverlust durch Aufbrechen der Miete (RYNK et al., 1992) weiteren Einfluss ausgeübt haben.

Der Temperaturgradient zwischen oberen und unteren Schichten der Miete bewirkte höchstwahrscheinlich den unterschiedlichen Zersetzungsgrad der Tierkadaver. Die Zersetzung ist nicht nur von der Belüftung des Mietenmaterials, sondern auch von den in der Miete erreichten Temperaturen abhängig (RYNK et al., 1992; GLANVILLE und TRAMPEL, 1997; KALBASI et al., 2005). Hohe Zersetzungsraten bis zu 95% der Kadavergewebe nach 12 bis 14 Tagen (SCHWARTZ, 1993; DOUGHERTY, 1999; MALONE, 2004; BENSON et al., 2008) waren bei diesem ersten Versuch nicht nachweisbar. Allerdings waren bei der Umschichtung am 13. Tag die Putenkadaver nicht mehr als solche erkennbar. Beim Abbau der Miete am 30. Tag war in den oberen Lagen, die höhere Temperaturen aufgewiesen hatten, kein sichtbares Weichteilgewebe mehr vorhanden. Stattdessen fanden sich nur noch vereinzelt Knochen ohne anhaftendes Fleisch. In den unteren Bereichen der Miete hingegen, in denen die Temperaturentwicklung geringer gewesen war und in denen vermutlich ein Sauerstoffmangel infolge der Kompression des Mietenmaterials durch den Teleskoplader bestanden hatte, war die Zersetzung weniger weit fortgeschritten; hier war noch Fleisch an den Knochen vorhanden.

Im **zweiten Kompostierungsversuch** wurde die 1,8 m hohe Kompostmiete in Anlehnung an die Methode von SPENCER et al. (2004) aufgebaut. Dabei fand der Kompostierungsprozess einphasig ohne Umschichtung des Mietenmaterials über einen Zeitraum von 35 Tagen statt. Die Putenkadaver wurden entsprechend der „mix and pile“-Methode (SHANE, 2004, 2006; MALONE, 2006) mit der Einstreu als Gemisch in die Miete eingebracht, ohne dass Tierkadaverlagen geformt wurden. Als Kohlenstoffquelle wurde diesem Gemisch Maissilage (1% des Putengesamtgewichtes) zugefügt, um so die metabolische Aktivität der Mikroorganismen und damit die Wärmebildung zu fördern. Um die Wärmedämmung zum Boden hin zu verbessern, wurde dieses Tierkadaver-Einstreu-Maissilage-Gemisch auf ein mit schwarzer Siloplane abgedecktes Strohballenpolster aufgetragen. Die Siloplane sollte dabei eine Kontamination des Strohballenpolsters sowie einen Eintrag von zu kompostierendem Material zwischen die Strohballen verhindern. Eine weitere 20 cm dicke Schicht aus lockerem Stroh auf dieser Siloplane sowie zwischen den im oberen Teil der zuerst aufgebauten Mietenhälfte aufgetragenen Folien bzw. als Abdeckung des anderen, ohne Folien aufgebauten Mietenteils (jeweils 30 cm) sollte das Kompostmaterial gegenüber Wärmeverlusten zusätzlich isolieren (Abbildung 5). Die Dampfbremsfolie zur Abdeckung des Kompostmaterials der

zuerst aufgebauten Mietenhälfte trennte das im Tierseuchenfall gegebenenfalls mit Erregern kontaminierte Kompostmaterial von der darüberliegenden Strohschicht und sollte zudem zu einer Speicherung der Feuchtigkeit im Mietenmaterial beitragen sowie ein Austrocknen der Mietenoberfläche verhindern (SPENCER und GUAN, 2006). Die diesen Mietenteil abschließend abdeckende und mit Luftlöchern versehene Siloplane sollte zu einer weiteren Speicherung der Kompostwärme und damit zu einer Förderung der Dekontamination der Oberfläche beitragen sowie eine unterstützende Wirkung auf den Kompostierungsprozess ausüben (SPENCER und GUAN, 2006). Da regelmäßige Bewässerungen während des Versuches in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt nur für die mit Stroh abgedeckte Mietenhälfte vorgesehen waren, wurde das zu kompostierende Material des mit Folien abgedeckten Mietenteils im Vergleich dazu beim Aufbau stärker, bis zur Sättigung, bewässert. Die Bewässerung sollte zu niedrige Feuchtigkeitsgehalte im Mietenmaterial, die zu einer Austrocknung und Konservierung der Kadavergewebe führen können (BRODIE und CARR, 1997; DOUGHERTY, 1999), verhindern. Drainagerohre wurden in gleichmäßigen Abständen zur passiven Belüftung in das zu kompostierende Material eingebaut, so dass die Notwendigkeit einer Umschichtung zur Luftzufuhr nicht mehr gegeben war (SPENCER et al., 2004; 2007). Nach RYNK et al. (1992) sind in nicht umzuschichtenden Mieten insbesondere strukturbietende Komponenten von großer Partikelgröße zu verwenden, um eine Verdichtung im Mietenmaterial zu verhindern. Daher bestand die zur Kompostierung der Kadaver verwendete Einstreu nicht nur aus Sägemehl, sondern auch aus Stroh. Diese Verwendung von Stroh bzw. der höhere Strohanteil bei den eingesetzten Rohmaterialien (in der Einstreu und an der Mietenbasis) sollte des Weiteren zu einer Erhöhung des Temperaturniveaus, wie bei CONNER et al. (1991 b, c, 1992, 1993) und BLAKE et al. (1991) beschrieben, beitragen.

Laut SPENCER et al. (2004) waren in der so aufgebauten Miete Temperaturen zwischen 40°C und 50°C zu erwarten. Diese Temperaturen wurden ebenfalls im eigenen Versuch auch in den unteren Mietenschichten weitgehend (außer im unteren zentralen Bereich der strohabgedeckten Mietenhälfte) erreicht.
Die Folien, die in dem einen Teil der Miete eingesetzt wurden, wirkten einer Austrocknung entgegen und führten vermutlich über die Speicherung von Feuchtigkeit im Mietenmaterial im Bereich der unteren peripheren Messlokalisation zu einer Optimierung der Bedingungen für das mikrobielle Wachstum. Dabei war in diesem Bereich der Miete der Sauerstoffzutritt

aufgrund der größeren Oberfläche und weil die Folie am Rand der Miete nicht luftdicht versiegelt war, ausreichend hoch. Niedrigere Temperaturen unter 45°C in den oberen Schichten im Vergleich zur strohabgedeckten Mietenhälfte (vor deren Bewässerung) waren wahrscheinlich durch eine Reduzierung des Sauerstoffeintritts trotz der Luftlöcher in der abdeckenden Siloplane bedingt. Eine vergleichbare Verhinderung der Luftzirkulation sowie zusätzlich die Speicherung von zu viel Feuchtigkeit im Mietenmaterial bei Gebrauch von Kompostabdeckplanen werden auch von FLORY und PEER (2010) bei der Kompostierung im Außenbereich beschrieben. MALONE (2006) beschreibt die Bildung einer Kondenswasserschicht bei der Verwendung von Folien aus Polyethylen, wie sie auch im vorliegenden Versuch verwendet wurden. Zu viel Feuchtigkeit führt dabei zu einer Füllung der Lufträume mit Wasser und damit zu einer Blockierung der Luftzirkulation mit der Folge, dass anaerobe Bedingungen im Mietenmaterial entstehen (DE BERTOLDI et al., 1988; RYNK et al., 1992; GLANVILLE und TRAMPEL, 1997; ELWELL et al., 2001; HENRY, 2003; DE ROUCHEY, 2005; KALBASI et al., 2005; FLORY und PEER, 2010). Damit ist die aerobe, mikrobielle Aktivität begrenzt (FLORY und PEER, 2010) und es kommt laut CARR et al. (1998) bei unangemessenen Feuchtigkeitsgehalten zu einer Störung des Kompostierungsprozesses. So ist der anaerobe Abbau von Nährstoffen nicht nur von der Bildung geruchsintensiver Nebenprodukte, sondern auch von der Erzeugung geringerer Wärme (RYNK et al., 1992; GLANVILLE und TRAMPEL, 1997) mit der Folge einer niedrigeren Prozesstemperatur (BRODIE und CARR, 1997) begleitet.
FLORY und PEER (2010) führen diese nachteiligen Auswirkungen auf das Mietenmaterial nicht nur auf die Folie, sondern teilweise auch auf den zur Befestigung an der Mietenbasis verwendeten Mulch zurück. Im vorliegenden Versuch war eine ähnlich verstärkende Wirkung auch den seitlich zwischen Dampfbrems- und Silofolie angebrachten Strohmatten zuzuschreiben, da in diesem Bereich das Stroh aufgrund der Schräglage nicht als lockere Schicht aufgetragen werden konnte. Auch könnte die geringere Temperaturentwicklung in den oberen Schichten wie schon im ersten Versuch durch die aus dem Befahren mit dem Teleskoplader resultierende stärkere Kompression im zentralen Bereich dieser Mietenhälfte mitbegründet werden.

In der ohne Folie aufgebauten Mietenhälfte wurden im Gegensatz zum ersten Versuch Bewässerungen vorgenommen, um durch Evaporation bedingte Feuchtigkeitsverluste (RYNK

et al., 1992; FULHAGE, 1997) auszugleichen. Dazu wurde mit 65% ein an der oberen Grenze des optimalen Wassergehaltes im Mietenmaterial gelegener Zielwert gewählt. Der maximal mögliche Feuchtigkeitsgehalt im Mietenmaterial ist dabei laut RYNK et al. (1992) sowohl von der Porosität bzw. Partikelgröße der eingesetzten Materialien als auch von ihrer Fähigkeit zur Flüssigkeitsabsorption abhängig. Diese beiden Faktoren wurden bei der im zweiten eigenen Versuch eingesetzten Einstreu, bestehend aus Stroh (große Partikelgröße, strukturbietend) und Sägemehl (feuchtigkeitsbindend) als gegeben angesehen. Die Einstellung des Mietenmaterials auf diesen Zielfeuchtigkeitsgehalt gelang trotz der Berechnung der dazu notwendigen Wassermenge und ihrer Aufteilung auf zwei Bewässerungen jedoch nicht. Die Bewässerungen führten zu deutlich höheren Feuchtigkeitsgehalten im Mietenmaterial. Dies kann zum einen durch die Inhomogenität des Mietenmaterials, zum anderen durch das eingesetzte Equipment begründet werden. Da sich die Ergebnisse zwischen den Messorten und auch zwischen den zwei Untersuchungseinrichtungen aufgrund der Inhomogenität des Mietenmaterials z.T. deutlich voneinander unterschieden, jedoch die Berechnung der Wassermenge zwingend auf der Grundlage des arithmetischen Mittels dieser Ergebnisse erfolgte, wurde wahrscheinlich die zuzuführende Wassermenge rechnerisch überschätzt. Durch den verwendeten Sprühregner war eine gleichmäßige Verteilung der Feuchtigkeit nicht möglich; das Wasser wurde von oben auf die Miete aufgebracht, so dass die Feuchtigkeit zu den unteren Mietenbereichen erst mit einer Verzögerung, bedingt durch das Versickern des Wassers, gelangte. Das spiegelte sich auch in den tendenziell höheren Feuchtigkeitsgehalten an den oberen Messorten wider.

Vor den Bewässerungen entsprach der Temperaturverlauf im Wesentlichen dem im ersten Versuch. Die Bewässerungen wirkten sich auf die Temperaturentwicklung in den oberen Schichten negativ aus. Insbesondere die erste Bewässerung hatte aber einen positiven Einfluss auf die Temperaturentwicklung in dem unteren peripheren und infolge der Dochtwirkung der umgebenden kohlenstoffreichen Materialien stark austrocknungsgefährdeten Bereich (BERGE et al., 2009). Sie führte zu einer Reduzierung der Temperaturdifferenz zwischen den oberen und unteren Schichten. Die zweite Bewässerung führte dann aber auch zu einem Temperaturabfall in den unteren Schichten. Dies war vermutlich durch eine Übersättigung der Miete mit Wasser bedingt; diese Annahme wird bestärkt durch die erfolgte Abgabe von Sickerwasser u.a. über die Drainagerohre direkt nach der zweiten Bewässerung. Der Austritt von Sickerwasser ist als Zeichen eines zu hohen Feuchtigkeitsgehaltes im Mietenmaterial

anzusehen (BRODIE und CARR, 1997; DOUGHERTY, 1999; KEENER et al., 2000; BLAKE, 2003; BERGE et al., 2009) und kann zur Verbreitung von Pathogenen und zur Kontamination der Umgebung beitragen (BRODIE und CARR, 1997; DOUGHERTY, 1999). Zudem hatte diese zweite Bewässerung auch negative Folgen auf die Integrität der Miete und führte zu einem Absinken von Mietenmaterial in der Mitte der einen Mietenlängsseite.

Um trotz der niedrigeren Temperaturen insbesondere in den oberen Mietenschichten und trotz des zu hohen Feuchtigkeitsgehaltes eine vollständige Zersetzung der Putenkadaver zu erreichen und weil eine Umschichtung bei dieser Mietenkonstruktion auf den Strohballen nicht geplant und auch nicht umsetzbar war, wurde die Kompostierungszeit auf 35 Tage verlängert in der Erwartung, dass sich die Temperaturen infolge der natürlichen Abgabe von Feuchtigkeit über Evaporation während des weiteren Kompostierungsprozesses erholen würden.

Allerdings zeigte die unzureichende Zersetzung der Tierkadaver in diesem Versuch, dass sich der Kompostierungsprozess nicht erholte. Sie war im Vergleich zum ersten Versuch, in dem im Mietenmaterial Feuchtigkeitsgehalte über 55% nicht nachgewiesen wurden, deutlich weniger weit fortgeschritten als in den Studien von SPENCER et al. (2004) beschrieben. So waren im mit Stroh abgedeckten Teil noch vereinzelt Fleischstücke von gekochtem Charakter und Knochen in größerem Gefüge vorzufinden, während in der mit Folien abgedeckten Mietenhälfte sogar noch Tierkadaver in ihrem Gefüge erkennbar waren. Der weitergehende Zersetzungsgrad in der strohabgedeckten Mietenhälfte trotz des bei beiden Mietenhälften vorliegenden übermäßigen Feuchtigkeitsgehaltes scheint auf den noch größeren Sauerstoffeintritt über die Strohschicht zurückzuführen sein.

Zusammengefasst scheinen also im zweiten Versuch die überhöhte Feuchtigkeit sowie der durch die Folien in der einen Mietenhälfte stark eingeschränkte Sauerstoffeintritt in das Mietenmaterial den unterstützenden Effekt der Wärmedämmung auf den Kompostierungsprozess und die Temperaturentwicklung an den verschiedenen Messorten teilweise aufgehoben zu haben. Jedoch war anhand der am 29. Tag angefertigten Wärmebildkameraaufnahmen eine deutlich reduzierte Wärmeabgabe an den Stallboden sowie über die Mietenoberfläche nachweisbar.

Ein von anderen Autoren beschriebener Einfluss der Umgebungstemperatur war bei den vorliegenden Versuchen vermutlich von untergeordneter Bedeutung, da nur geringe

Variationen bestanden. Grundsätzlich läuft nach FULHAGE (1997) der Kompostierungsprozess mit steigender Umgebungstemperatur besser ab, jedoch ist ihr Einfluss angesichts der in einer aktiven Kompostmiete gegebenen Wärmemenge in Zusammenhang mit dem sie isolierenden Material nur gering. So führt bei angemessener Beladung mit Tierkadavern und ausreichender Dimensionierung der Miete kaltes Wetter zu keiner Beeinträchtigung des Kompostierungsprozesses (KASHMANIAN und RYNK, 1996). Allerdings können kleine Mieten mit einem geringen Volumen (niedrige Wärmebildungskapazität) bei gleichzeitig großer Oberfläche (hohes Wärmeverlustrisiko) durch niedrige Umgebungstemperaturen empfindlich gestört werden (GLANVILLE und TRAMPEL, 1997). Nach DOUGHERTY (1999) ist in kalten Monaten mit einer längeren Kompostierungszeit zu rechnen. Auch KALBASI et al. (2005) gehen von einer Verlangsamung des Kompostierungsprozesses in Form einer geringeren Abbaurate und einer längeren Kompostierungszeit aufgrund einer durch die kalte Wetterlage reduzierten mikrobiellen Aktivität an der Mietenoberfläche aus. GONZÁLEZ und SÁNCHEZ (2005) führen niedrigere Mietentemperaturen im Winter auf die in die Miete über natürliche Selbstbelüftung gelangende kalte Luft zurück.
In den eigenen Untersuchungen wurden im ersten Versuch, aufbauend auf den Empfehlungen von CARR et al. (1998) und TABLANTE et al. (2002), für die Kompostierung im Stall nur 20 cm Einstreu zur Abdeckung der Miete genutzt. Im zweiten Versuch wurde aufgrund der Ergebnisse der Wärmebilduntersuchungen und der zu erwartenden niedrigeren Umgebungstemperaturen im Stall, aufbauend auf der Empfehlung von KEENER et al. (2002), die Dicke dieser nun aus Stroh aufgebauten Abdeckschicht auf 30 cm erhöht. Noch höhere Schichtdicken von abdeckendem Material von bis zu 60 cm, wie bei KEENER et al. (2002) beschrieben, waren aufgrund des Mietenaufbaus im Stall mit dem Ziel einer Eingrenzung des Verbrauchs von im Tierseuchenfall wahrscheinlich nur begrenzt verfügbarem und gegebenenfalls zum Stall zu transportierendem Material (gleichzeitige Reduzierung des notwendigen Fahrzeugverkehrs) nicht geplant.

Die Messung höherer Temperaturen in den amerikanischen Fallstudien könnte auch in der Lokalisation der Temperaturmessung vermehrt im Mietenzentrum begründet sein. So sind nach WILKINSON (2007) und BERGE et al. (2009) in der Nähe des Mietenzentrums die höchsten Temperaturen infolge der umfassenden isolierenden Wirkung der

Kompostmaterialien zu erwarten. In der vorliegenden Dissertation wurden die Messorte im ersten Versuch nach der Lage der Tierkadaver ausgewählt und im zweiten Versuch aus Gründen einer besseren Vergleichbarkeit in entsprechenden Höhen gesetzt. Dabei waren durch Einsatz von Datenloggern gleichmäßigere Werte nachweisbar. Bei der Handmessung der Temperaturen in der jeweils zuletzt aufgebauten Mietenhälfte waren Unterschiede in den Temperaturen zu erwarten, da trotz Kennzeichnung der Messorte und der Einstichtiefe der Messsonde nicht immer die gleiche Lokalisation am Messort angetroffen werden konnte. Auch die Berechnung des notwendigen Einstreubedarfs erwies sich als schwierig, da das Material variable Dichten aufwies; beim Mietenaufbau zeigte sich, dass der Einstreubedarf überschätzt wurde (also das Material eine geringere als die aufgrund von Literaturangaben angenommene Dichte aufwies). Das Putenvolumen wurde experimentell bestimmt und die Größe der aufzubauenden Miete rechnerisch ermittelt.
Die Untersuchung des Feuchtigkeitsgehaltes im Mietenmaterial bei 105°C im Trockenofen, wie bei CUMMINS et al. (1992) beschrieben, erfolgte als standardisiertes Verfahren nach der Methode der BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST E.V. (2006). Die Untersuchung der Kompostproben im zweiten Versuch fand in zwei unabhängig voneinander arbeitenden Untersuchungseinrichtungen statt. Dabei wurden in den beiden voneinander unabhängigen Untersuchungen der Kompostproben zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes deutliche Unterschiede in den Ergebnissen ermittelt. Die für die Methode angegebene Wiederholgrenze von 8,4% wurde in beiden Untersuchungseinrichtungen jeweils nicht überschritten. Daher war es vermutlich die sehr inhomogene Struktur des Untersuchungsmaterials, die trotz intensiver manueller Vermischung des Materials nach Probenentnahme die deutlichen Unterschiede in den Ergebnissen der beiden unabhängigen Untersuchungen zur Folge hatte. Eine weitergehende Vermischung durch Einsatz eines Mixers war aufgrund der Knochenanteile im Mietenmaterial nicht möglich.

Die zur Abtötung von Pathogenen erforderlichen Temperaturen werden von KEENER et al. (2002) mit 54°C und höher angegeben. Während im ersten Versuch entsprechend hohe Temperaturen in den oberen Mietenschichten gemessen wurden, waren im zweiten Versuch Temperaturen oberhalb von 48,4°C nicht nachweisbar. Die von MURPHY (1990), BRODIE und CARR (1997) sowie DOUGHERTY (1999) zur größtmöglichen Pathogenkontrolle angegebenen Temperaturen über 54,4°C für mindestens drei Tage wurden in der zuerst

aufgebauten Mietenhälfte im ersten Versuch vollständig im oberen zentralen Bereich und weitestgehend auch am peripheren Messort erfüllt. In der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte beschränkten sich diese Temperaturen auf Einzelmessungen im oberen zentralen Bereich. Mindesttemperaturen von 55°C und höher, wie sie von HAUG (1993), FULHAGE (1997), DE ROUCHEY (1999), LAWSON und KEELING (1999), KEENER et al. (2000), KEENER und ELWELL (2000), HENRY (2008) sowie KALBASI et al. (2006) zur allgemeinen Pathogenkontrolle gefordert werden, waren jedoch in beiden Versuchen nicht nachweisbar.

Ausgehend von seiner Literaturstudie zur Inaktivierung von aviären Viren gehen SPENCER et al. (2007) von einer Virenabtötung im Kompostmaterial bei Temperaturen über 56°C für mindestens drei Tage aus. Bei niedrigeren Temperaturen erhöht sich nach Meinung der Autoren die notwendige Einwirkungszeit. Dagegen wiesen GUAN et al. (2007) die Inaktivierung von aviärem Influenzavirus (H6N2) sowie eines Newcastle Disease-Impfvirus während der Kompostierung von Geflügelmist innerhalb von drei Tagen bei Erreichen von Temperaturen über 40°C nach. Entsprechende Temperaturwerte wurden in den eigenen Untersuchungen im ersten Versuch zumeist nur in den oberen Mietenbereichen gemessen, im zweiten Versuch wurden diese Werte auch in den unteren Mietenschichten mit Ausnahme des unteren zentralen Bereichs der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte nachgewiesen. Nach SPENCER und GUAN (2006) galt das hochpathogene aviäre Influenzavirus (HPAI-Virus) während eines Ausbruchs in Kanada bei Komposttemperaturen von 25°C für 10 Tage, 30°C für 7 Tage, 40°C für 5 Tage oder 55°C für 30 Minuten als vollständig abgetötet. Diese Zeit-Temperatur-Bedingungen wurden in den eigenen Versuchen sowohl in den oberen als auch in den unteren Mietenschichten in beiden Kompostierungsversuchen nachgewiesen. SENNE et al. (1994) bewiesen die Inaktivierung des HPAI-Virus in ihrem 20tägigen Kompostierungsversuch bereits nach der ersten Phase der Kompostierung vor der Umschichtung am 10. Tag trotz vorliegender Temperaturdifferenz zwischen oberen und unteren Mietenschichten auch im kälteren, unteren Mietenbereich bei Temperaturen nur knapp über 40°C. Vergleichbare Temperaturen konnten auch in den eigenen Versuchen (mit Ausnahme der bodennahen Bereiche im ersten Versuch) erreicht werden.
SENNE et al. (1994) erklären die Temperaturdifferenzen innerhalb der Miete mit einer verstärkten Wärmeabgabe an den Betonboden. Sie waren auch entgegen der Meinung von MURPHY (1990) sowie MURPHY und CARR (1991) nach der Umschichtung sowohl bei

SENNE et al. (1994) als auch im ersten eigenen Versuch nachweisbar. Diese ungleichmäßige Temperaturverteilung kann im Hinblick auf die Inaktivierung hitzeresistenterer Viren wie z.B. des Egg-Drop-Syndrome-76 (EDS-76)-Adenovirus und des Newcastle-Disease-Virus einen Risikofaktor darstellen. So war das EDS-76-Adenovirus im Versuch von SENNE et al. (1994) noch in einer in den kälteren, unteren Mietenbereichen gelegenen Probe vor der Umschichtung nachweisbar und erst nach Abschluss der zweiten Phase der Kompostierung nach 20 Tagen abgetötet. Infolge des Mietenaufbaus im ersten eigenen Versuch direkt auf dem Boden und der damit verbundenen Wärmeverluste kann davon ausgegangen werden, dass sich eine Inaktivierung von Pathogenen vorrangig auf die Tierkadaverlagen konzentrierte, während diese im zweiten Versuch verstärkt auch in der Einstreu möglich war. DE BERTOLDI et al. (1988) verweisen in diesem Zusammenhang auf die technisch nur schwierig umzusetzende Forderung, dass in allen Bereichen der Miete gleichzeitig die zur Inaktivierung notwendigen Temperaturen erreicht werden müssen. Um der Erfüllung dieser Forderung näher zu kommen, sollten - wie im zweiten Kompostierungsversuch erfolgt - Bemühungen um eine gleichmäßigere Temperaturverteilung umgesetzt werden.

Als weiterer Risikofaktor bei einer Inaktivierung des HPAI- sowie des ND-Virus gilt insbesondere eine zu hohe Feuchtigkeit wie im zweiten Versuch. So wurde gezeigt, dass trockenere Umgebungsbedingungen die Überlebensfähigkeit beider Viren reduzieren (SPENCER et al., 2007). Nach LU et al. (2004) war aviäres Influenzavirus (H7N2) 13 Tage nach Beginn der klinischen Symptome in Stallmist, nicht jedoch in entsprechenden Staubproben des betroffenen Stalles nachweisbar. OLESIUK (1951) wies bei der Inaktivierung des ND-Virus eine positive Korrelation zu den Trocknungseigenschaften des kontaminierten Materials nach. So war das ND-Virus bei Temperaturen zwischen 20°C und 30°C auf schnell trocknenden Materialien wie Eierschalen und Filterpapier bereits innerhalb von 50 Tagen abgetötet, während es in Kotproben bis zu 71 Tage nachweisbar war. Die durch die zu hohe Feuchtigkeit im Mietenmaterial insbesondere im zweiten Versuch herabgesetzte Belüftung des Komposthaufens bzw. ein wie im ersten Versuch vorrangig durch die Kompression des Mietenmaterials verursachter Sauerstoffmangel kann als weiterer Risikofaktor bei der viralen Inaktivierung in Betracht gezogen werden. So wird in der Literatur auf eine schnellere Inaktivierung von Viren nach Belüftung des kontaminierten Materials hingewiesen (DERBYSHIRE und BROWN, 1979; LUND, 1980). Dabei verweisen DERBYSHIRE und BROWN auf eine erhöhte mikrobielle Aktivität infolge der Luftzufuhr,

die für einen Abbau der viralen Kapside verantwortlich ist. Somit wird die Inaktivierung von Pathogenen nicht nur durch die Temperatur als Hauptfaktor bestimmt, sondern weitere Faktoren wie die enzymatische Aktivität und die Produktion von Ammoniak und anderen Gasen, wie auch in beiden Kompostierungsversuchen in der Umgebungsluft nachgewiesen, können zur Dekontamination des Kompostmaterials beitragen (SPENCER et al., 2007). SPENCER et al. (2004, 2005, 2007) sowie SPENCER und GUAN (2006) prägten in diesem Zusammenhang bei der Kompostierung von natürlich mit aviärem Influenzavirus infiziertem Geflügel den Begriff „Bio-Hitze-Behandlung“, um zu verdeutlichen, dass im Kompostierungsprozess neben Wärme auch Ammoniak und andere Verbindungen mit viruzider Wirkung gebildet werden. GUAN et al. (2009) wiesen in ihren Untersuchungen nach, dass die mikrobielle Aktivität im Kompostmaterial zu einer schnellen Abtötung von AI- und ND-Viren sowie zur Zersetzung ihrer viralen RNA beiträgt (s. 2.1.5.2). Auf die Beteiligung der mikrobiellen Aktivität und abbauender Enzyme verweisen auch die Untersuchungen von LU et al. (2003). Diese zeigten in ihrer Studie, dass das aviäre Influenzavirus (H7N2) in Geflügelmist innerhalb von sechs Tagen bei Temperaturen zwischen 15°C und 20°C abgetötet wurde, während es ohne Zusatz von Hühnermist für 32 Tage nachweisbar blieb. Dabei spielte nach Meinung der Autoren auch die Herkunft des Stallmists eine entscheidende Rolle: Bei entsprechenden Untersuchungen im Wasserbad bei 37°C war die Zeit bis zur Inaktivierung des aviären Influenzavirus in Mistproben von SPF-Tieren mit 14 bis 16 Tagen deutlich gegenüber entsprechenden Mistproben aus dem Feld (8 Stunden bis 24 Stunden) verlängert. Auch spielt nach DE BERTOLDI et al. (1988) der mikrobielle Antagonismus bei der Pathogeninaktivierung eine entscheidende Rolle. Als weiteres Zeichen der Effektivität des Kompostierungsprozesses kann die Zersetzung der Kadaver angesehen werden (SPENCER et al., 2004), die im ersten eigenen Versuch in den oberen Schichten beider Mietenhälften am weitesten fortgeschritten war.

Auch die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen sprechen für einen Teilerfolg der durchgeführten Kompostierungsversuche. Während die Lebendkeimzahl aerober Bakterien in beiden Kompostierungsversuchen ähnlich wie bei den in Kompostern durchgeführten Versuchen von CONNER et al. (1991 a, b, 1993) weiterhin in hohen Konzentration von 10^4 bis 10^8 KBE/g nachweisbar war, war eine deutliche Reduktion der erstmalig im zweiten Versuch untersuchten Enterokokken von bis zu 10^8 KBE/g auf unter 10^1 KBE/g nachweisbar. Ebenfalls in den eigenen Untersuchungen war im zweiten Versuch eine stärkere Reduktion

der Enterobakterien auf Werte unter 10^1 KBE/g im Vergleich zum ersten Versuch (Werte unter 10^2 KBE/g bei Mietenabbau) ersichtlich. Diese Reduktion der coliformen Keime um bis zu 5 Zehnerpotenzen war entgegen den Schlussfolgerungen von CONNER et al. (1991 a, b) im zweiten eigenen Kompostierungsversuch auch ohne Umschichtung des Mietenmaterials, wahrscheinlich infolge des veränderten Mietenaufbaus, möglich. Im ersten Kompostierungsversuch hingegen war die Reduktion der Enterobakterien-Keimzahl um bis zu 4 Zehnerpotenzen an allen Messorten erst nach Umschichtung des Mietenmaterials erreicht. Hier waren wie bei CONNER et al. (1991a, b, 1992, 1993) vermutlich die Belüftung des Mietenmaterials und die Einleitung einer zweiten Erwärmungsphase durch die Umschichtung zur weiteren Reduktion der coliformen Keime, die auch eine Indikatorfunktion für die Abtötung anderer enteropathogener Bakterien (z.B. Salmonellen) übernehmen können (CONNER und BLAKE, 1990; CONNER et al., 1991 a, b, c, 1992, 1993), notwendig.

Aufgrund der beschriebenen Risikofaktoren ist - auch vor dem Hintergrund der anderen Studien - nur von einem Teilerfolg der beiden Kompostierungsversuche hinsichtlich der Pathogeninaktivierung auszugehen. Insbesondere die unteren Mietenbereiche im ersten Versuch sowie der untere zentrale Mietenbereich im zweiten Versuch sind bezüglich einer weitergehenden Pathogeninaktivierung als zweifelhaft zu beurteilen. Der direkte Nachweis der Inaktivierung eines Newcastle Disease-Impfvirus konnte aufgrund des fehlgeschlagenen Tierversuchs zur Erzeugung von Indikatortieren nicht erfolgen. Zwar war eine Serokonversion bei den geimpften Tieren vorhanden und die Vakzine war laut Immunitätsprüfung des verwendeten Impfstoffes auch wirksam, doch das Virus war entgegen den allgemeinen Erwartungen sogar in der Eikultur nicht nachweisbar (Dr. Axel Nöckler, LAVES, persönliche Mitteilung).

Da bezüglich einer vollständigen Pathogeninaktivierung in Teilbereichen der beiden Mieten in den eigenen Untersuchungen Zweifel bestanden, wurde das Kompostmaterial nicht nur auf der Grundlage der bisherigen Gesetzgebung, sondern auch in Anlehnung an die Empfehlung von DOUGHERTY (1999), Kompost von kranken oder seuchenverdächtigen Tieren als Biosicherheitsmaßnahme zu verbrennen oder zu vergraben, einer Verbrennungsanlage zugeführt. In Virginia (USA) wurde der Transport von unbehandelten Kadavern zu Tierkörperbeseitigungsanlagen bei der Ausbreitung von aviärer Influenza als höchster Risikofaktor gesehen (MC QUISTON et al., 2005). Die Kompostierung von Kadavern vor einem solchen Transport kann auf Basis der eigenen Untersuchungen zumindest zur

Reduktion von Pathogenen führen und somit als Verfahren zur Behandlung der Putenkadaver im Stall zur Risikominimierung im Fall eines Tierseuchenausbruchs beitragen. Auch wenn die Kompostierung derzeit in der EU nicht erlaubt ist, besteht nach GWYTHER et al. (2011) hingegen bezüglich des Komposts von Geflügelkadavern keine wissenschaftliche Beweisgrundlage, die stärkere gesetzliche Restriktionen als bei Kompost von kommunalen Essensabfällen rechtfertigt.

In beiden Kompostierungsversuchen war die Klasse der Insekten bei der Bestimmung des Arthropodenaufkommens jeweils am stärksten vertreten. Im ersten Kompostierungsversuch wurden dabei in jeder Versuchswoche vorwiegend Fliegen vorgefunden, die sich von sich zersetzenden, organischen Stoffen (Fäkalien, Mist, Kompostmaterial) ernähren bzw. deren Larven sich darin entwickeln (Britta Oltmann, LAVES, persönliche Mitteilung). Dazu gehörten die über den gesamten Zeitraum am stärksten vertretenen kleinen Dungfliegen (*Leptocera* spec., *Sphaeroceridae*) und Güllefliegen (*Ophyra aenescens, Muscidae*). In der dritten und vierten Versuchswoche, in denen die höchsten Fliegenanzahlen protokolliert wurden, war eine deutliche Zunahme von Spinnentieren, in diesem Versuch v.a. von Raubmilben, feststellbar. Raubmilben können nicht fliegen und gelangen z.B. an die Fliegen geklammert zu neuem Entwicklungssubstrat wie dem Mietenmaterial, in dem sie sich vermehren (Britta Oltmann, LAVES, persönliche Mitteilung). Die Larven der Güllefliegen ernähren sich von den Larven der großen Stubenfliege (ECKERT et al., 2008), deren höchste Anzahl in der vierten Woche des ersten Versuchs festgestellt wurde. Infolge dieses sehr guten Nahrungsangebotes waren wahrscheinlich die Güllefliegen im Gegensatz zu vorher in dieser Woche nun auch stärker vertreten als die kleinen Dungfliegen. Die im Vergleich deutlich reduzierte Arthropodenanzahl in der zweiten Versuchswoche lässt sich vermutlich durch die Änderungen im Lebensraum der Arthropoden infolge der Umschichtung erklären: Laut MURPHY und CARR (1991) können Insektenlarven vorrangig in den peripheren, kälteren Mietenbereichen überleben. Mit der Umschichtung und beim Neuaufbau der Miete gelangte bestimmungsgemäß wahrscheinlich dieses Mietenmaterial aus den peripheren Bereichen in das wärmere Mietenzentrum, während wärmeres, zuvor zentral gelegenes Mietenmaterial zum Aufbau der peripheren Schichten verwendet wurde. Aus dem Zentrum der neuen Miete war eine Abwanderung der Insekten wahrscheinlich nicht möglich. Auch könnte hier infolge der steigenden Temperatur eine Abtötung eines Teils der Insektenlarven erfolgt sein. Die

peripheren, jedoch kurz nach der Mietenwendung noch wärmeren Mietenbereiche könnten für eine Besiedelung mit Insekten aufgrund ihrer höheren Temperatur noch ungeeignet gewesen sein, so dass sich die Insekten kurzfristig in kältere Bereiche auch außerhalb des Stalles zurückzogen. So können laut MURPHY (1990) nur Mietenareale mit Temperaturen unter 46°C Insekten beherbergen.

Im zweiten Kompostierungsversuch wurden mehr als doppelt so viele Einzeltiere im Vergleich zum ersten Versuch gezählt, wobei die Arthropodenanzahl wöchentlich deutlich anstieg. Dieses erhöhte Arthropodenvorkommen könnte einerseits durch eine Vorkontamination des zum Mietenaufbau eingesetzten Materials und durch die geringgradig veränderten Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbedingungen bedingt gewesen sein, andererseits könnte auch eine Vorbelastung des Stalles bzw. der Umgebung infolge des ersten Kompostierungsversuchs trotz der durchgeführten Reinigung und Desinfektion möglich gewesen sein wie auch aufgrund der nachfolgenden Nutzung des Stalles als Strohlager. Dabei könnten die Insekten im Stall in dort gelagerten Strohballen sowie in Ritzen oder auch in der näheren Umgebung des Stalles überwintert haben, um dann das Kompostmaterial schnell und gezielt anzufliegen. Das deutlich erhöhte Arthropodenaufkommen kann indirekt jedoch auch auf die übermäßige Feuchtigkeit im Mietenmaterial zurückgeführt werden. So führt nach MALONE (2006) das bei hohem Feuchtigkeitsgehalt im Mietenmaterial auftretende Sickerwasser nicht nur zur Geruchsbildung, sondern es werden dadurch auch Fliegen angezogen. Diese stellten vermutlich auch deshalb während der vierten und fünften Versuchswoche die stärkste Fraktion innerhalb der Klasse der Insekten dar. Wie beim ersten Versuch waren darunter kleine Dungfliegen (*Leptocera* spec., *Sphaeroceridae*) am häufigsten vertreten. Ab der dritten Versuchswoche stieg der Anteil der Güllefliegen (*Ophyra* spec.) an, so dass diese in der vierten und fünften Woche sogar die zweitstärkste Fraktion innerhalb der Fliegen nach den Dungfliegen ausmachten. Güllefliegen (*Ophyra aenescens*), wie sie in beiden Versuchen nachgewiesen wurden, können nach RIVES et al. (1992) bei einem erhöhten Aufkommen tendenziell auf einen fehlerhaften Kompostierungsprozess hinweisen. Eine Abhängigkeit zwischen dem Fliegenaufkommen und der Anzahl der Raubmilben war auch beim zweiten Versuch erkennbar. Somit erreichte die Zahl der Raubmilben in den beiden letzten Versuchswochen erneut ihr Maximum. Dass in der ersten und zweiten Woche vorrangig Mücken, die zur Entwicklung feuchtes Material benötigen, gezählt wurden, lässt sich vermutlich auf die stärkere Bewässerung des Mietenmaterials beim Aufbau

zurückführen. Dabei wurden hauptsächlich Schmetterlings- (*Psychodidae*) und Trauermücken (*Sciaridae*) gezählt. Diese gehören zu den Mückenarten, die sich auch von feuchtem, sich zersetzendem, organischem Material ernähren bzw. deren Larven sich darin entwickeln (Britta Oltmann, LAVES, persönliche Mitteilung). Die in der dritten Woche überwiegenden Fransenflügler (*Thysanoptera*), die sich ausschließlich auf Pflanzenmaterial entwickeln, hatten wahrscheinlich im Stroh, das zum Aufbau der Miete verwendet wurde, überwintert und sind infolge der höheren Temperaturen im Frühjahr mobil geworden (Britta Oltmann, LAVES, persönliche Mitteilung).

Die Messungen zum Arbeitsschutz wurden während des ersten Versuches nur beim Abbau der Miete, im zweiten Versuch zusätzlich auch beim Mietenaufbau durchgeführt. Dabei führten der Aufbruch und Abbau der Mieten in beiden Versuchen sowie auch der Aufbau der Miete im zweiten Versuch zu einem deutlichen Anstieg der Anzahl mesophiler Bakterien, Staphylokokken, Aktinomyceten, mesophiler und thermophiler Schimmelpilze sowie zu einer starken Erhöhung der Endotoxinkonzentration und des Staubgehaltes in der Stallluft. Dabei wurden jeweils Aktinomyceten und Staphylokokken im Stall, nicht aber außerhalb nachgewiesen. Die Staphylokokken machten beim Aufbau der Miete im zweiten Versuch einen Anteil von 60% bis 80% der Lebendkeimzahl aerober Bakterien aus. Dieser Wert ist mit der Luft in Broilerställen, in der Staphylokokken einen Anteil von 80% bis 90% der Gesamtkeimzahl ausmachen können (SALEH, 2006), vergleichbar. Dabei stammten die Staphylokokken vermutlich von den Geflügelkadavern. Staphylokokken sind nämlich auch beim gesunden Geflügel auf der Haut, Schleimhaut und den Federn zu finden (RICHTER, 2011). So wies SALEH (2006) in seinen Untersuchungen in Broilerställen die höchsten Konzentrationen an Staphylokokken in Tiernähe nach, da diese von der Haut der Tiere abgegeben werden. Beim Abbau der Miete im ersten Versuch hingegen war der Anteil der Staphylokokken an der Lebendkeimzahl aerober Bakterien mit 20% bis 40% deutlich geringer. Die Keimverschiebung zugunsten der wärmeliebenden Aktinomyceten, die vermutlich direkt aus dem Kompostmaterial stammten, konnte beim zweiten Versuch vermutlich infolge der durch überhöhte Feuchtigkeit bedingten geringeren Wärmeentwicklung in den oberen Schichten nicht nachgewiesen werden.
Die personengetragenen Untersuchungen ergaben bei allen Messungen jeweils die höchsten Belastungen. Durch die Kabine des Radladers war vermutlich ein gewisser Schutz gegeben,

der für die tendenziell geringeren Belastungen an diesem Messort verantwortlich war. Der während des Mietenaufbaus gemessene Staubgehalt in der Radladerkabine über den Werten der stationär gemessenen Ergebnisse könnte auf eine Vorkontamination und auf eine Verunreinigung der Fahrerkabine zurückgeführt werden. Da der Radladerkabine infolge der Untersuchungsergebnisse eine gewisse Schutzfunktion offensichtlich zugesprochen werden kann, sollte auch außerhalb des Radladers insbesondere beim Mietenauf- und –abbau ein entsprechender Schutz durch geeignete Schutzmasken (FFP3-Masken) gewährleistet werden. Diese sind aufgrund der nachgewiesenen deutlichen Überschreitung des Arbeitsplatzgrenzwertes (AGW) für Ammoniak von 20 ppm (Technische Regeln für Gefahrstoffe 900, 2006) insbesondere auf der mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte und in ihrer Nähe auch während der Verlaufskontrollen (spätestens ab der zweiten Woche) anzulegen. Ammoniak entsteht hauptsächlich bei der enzymatischen Hydrolyse der Harnsäure in Geflügelexkrementen (PHILLIPS et al., 1994). Bei einem zu niedrigen C:N-Verhältnis, d.h. einem Überschuss von Stickstoff im Kompostmaterial (RYNK et al., 1992; GLANVILLE und TRAMPEL, 1997; KALBASI et al. 2005), bzw. bei pH-Werten >8 (RYNK et al., 1992; CARR et al., 1998; KALBASI et al., 2005) ist von einer erhöhten Freisetzung von Ammoniak auszugehen. Möglicherweise war der Anteil des Strohs höher als der des Sägemehls im verwendeten Einstreugemisch im zweiten eigenen Versuch. Nach RYNK et al. (1992) unterliegt Stroh einem schnellen Abbau und setzt Kohlenstoff wesentlich einfacher frei als hölzerne Materialien (z.B. Sägemehl), bei denen der Kohlenstoff größtenteils in biologisch schwer abbaubaren Ligninen gebunden ist. In der Folge könnte daher bei fortschreitendem Kompostierungsprozess der Kohlenstoffanteil bereits verstoffwechselt worden sein, ohne dass der Stickstoff ausreichend stabilisiert wurde. Die unter dem AGW liegenden Ammoniakkonzentrationen über der anderen Mietenhälfte waren wahrscheinlich durch die Abdeckung dieses Mietenteils mit Folie bedingt. Im ersten Versuch wurde die Ammoniakkonzentration nicht an verschiedenen Messorten in Mietennähe sowie auf der Miete gemessen. Jedoch ergaben zwei in direkter Mietennähe bei fortgeschrittenem Mietenabbau durchgeführte Einzelmessungen um 5 ppm höhere Werte als der AGW für Ammoniak. Die jeweils gemessenen Kohlenstoffdioxid-Konzentrationen lagen hingegen deutlich unter dem für Kohlenstoffdioxid angegebenen AGW von 5000 ppm (Technische Regeln für Gefahrstoffe 900, 2006).

Der tendenziell niedrigere Staubgehalt an den Mietenmessorten sowie bei den personengetragenen Untersuchungen im zweiten eigenen Versuch im Vergleich zum Mietenabbau im ersten Versuch lässt sich vermutlich auf die stärkere Bewässerung des Kompostmaterials beim Mietenaufbau sowie auf den höheren Feuchtigkeitsgehalt des Mietenmaterials zurückführen.

Von der Methodik her dürfte aus Gründen des Arbeitsschutzes und der technischen Durchführbarkeit im Tierseuchenkrisenfall der Mietenaufbau nach SPENCER et al. (2004) sowie SPENCER und GUAN (2006) vorzuziehen sein, da hier der Kontakt der Arbeiter zu den gegebenenfalls infizierten Tierkadavern und der Einstreu deutlich eingeschränkt ist. Beim Mietenaufbau in Anlehnung an SPENCER et al. (2004) sowie SPENCER und GUAN (2006) im zweiten Versuch mussten keine Tierkadaverlagen geformt werden. Die Tierkadaver wurden zusammen mit der Einstreu durch Einsatz eines Teleskopladers als Gemisch aufgetragen. Bei der Methode von CARR et al. (1998) sowie TABLANTE et al. (2002) dagegen im ersten Versuch mussten zwei Tierkadaverlagen geformt werden. Die Tierkadaver konnten zwar mit Hilfe des Teleskopladers auf die aufzubauende Miete gelegt, mussten jedoch z.T. mit Hilfe von Forken oder per Hand einzeln verlegt werden, um eine gleichmäßige Verteilung der Tiere in der Tierkadaverschicht zu erzielen. Zudem war eine Umschichtung während des Kompostierungsprozesses einzuplanen.
Der Zeitaufwand zum Aufbau der Mieten sowie im ersten Versuch zusätzlich zur Umschichtung des Mietenmaterials war jedoch annähernd gleich hoch. Im zweiten Versuch erwies sich der Mietenaufbau insbesondere durch die intensive Bewässerung des Mietenmaterials, aber auch durch das Auslegen des Strohballenpolsters, der Folien und der Drainagerohre zeitaufwendiger. Dabei war der Zeitaufwand für den Aufbau des mit Folien abgedeckten Mietenteils mit 5 Stunden, 50 Minuten besonders durch die fast zweifach so starke Bewässerung im Vergleich zur anderen Mietenhälfte annähernd doppelt so hoch. Zwar dauerte der Mietenaufbau im Vergleich zum ersten Versuch länger, doch war hier eine Umschichtung bei geplant ablaufendem Kompostierungsprozess nicht vorgesehen. Der Mietenaufbau im ersten Versuch erforderte zwar vier Stunden weniger Zeit, die jedoch dann für die Umschichtung benötigt wurde, so dass sich letztendlich diese Zeitersparnis relativierte.

Ausgehend von den Ergebnissen der vorliegenden Studie besteht zur Durchführung einer Kadaverkompostierung weiterer Forschungsbedarf:
In weiteren Versuchen müsste die Einzelwirkung der folgenden Faktoren – evtl. in kleinerem Versuchsmaßstab – untersucht werden: Wirkung der Bewässerungen insbesondere auf die unteren, peripheren Mietenbereiche, Beimischung von Maissilage zum Mietenmaterial und Einsatz von Drainagerohren zur passiven Belüftung. Insbesondere wäre bei den Drainagerohren auch auf die Möglichkeit verstärkter Wärmeverluste zu achten.
Auch wäre die Fragestellung interessant, wie die Belüftung der mit Folie abgedeckten Mietenbereiche insbesondere im Stall verstärkt werden könnte.
Ebenfalls denkbare Versuche mit einer Zerkleinerung der Tierkadaver wurden bisher in Deutschland nicht durchgeführt, da zurzeit geeignete Maschinen, die ohne Aerosolbildung arbeiten, nicht zur Verfügung stehen. Auch ist eine entsprechende Vorbehandlung der Tierkadaver aus seuchenhygienischer Sicht zu überprüfen. Weitere Forschungsarbeiten sollten sich auf die Inaktivierung von Viren sowie auf die Entdeckung von Indikatororganismen zur Beurteilung der Effektivität des Kompostierungsprozesses richten. Auch sollte man prüfen, ob die Formeln von TABLANTE und MALONE (2005) im Falle einer Tierseuche neue Ansätze zur Berechnung des zusätzlichen Bedarfs an Kompostzusatzmaterialien bieten. Da der Gebrauch dieser Formeln eine bereits im Stall vorhandene Einstreuschicht auf dem Boden voraussetzt, könnten entsprechende Kompostierungsversuche in Mastställen nach Ausstallung des Mastgeflügels auf der Berechnungsbasis der verbleibenden Einstreu erfolgen.

5.2 Schlussfolgerungen

Die Kompostierung stellt im Tierseuchenkrisenfall bei Auslastung der Tierkörperbeseitigungsanlagen ein zur Behandlung und Zwischenlagerung von Tierkadavern geeignetes Verfahren dar. Eine tatsächliche Inaktivierung des aviären Influenzavirus und des Newcastle Disease-Virus lässt sich auf der Grundlage der vorliegenden Kompostierungsversuche angesichts des ausgebliebenen Nachweises eines Newcastle Disease-Impfvirus abschließend nicht beurteilen, wird jedoch unter Bezug auf die Literaturangaben für Teilbereiche der Miete als durchaus möglich angesehen. Beim derzeitigen Kenntnisstand sollte daher das Material nach der Kompostierung in geeigneten Verbrennungsanlagen verbrannt werden. Es ist allerdings durch die bereits im Stall einsetzende Behandlung des unter Umständen erregerhaltigen Materials (Einstreu und

Tierkadaver) im Rahmen des Kompostierungsprozesses von einer Erregerabreicherung und damit von einem reduzierten Risiko einer Erregerverschleppung auszugehen, auch wenn nicht in allen Teilbereichen der Miete für eine vollständige Keimabtötung ausreichende Temperaturen erreicht wurden, da nicht nur die Komposttemperatur, sondern auch andere Faktoren (z.B. mikrobieller Antagonismus, Bildung von Ammoniak und anderer Verbindungen mit viruzider Wirkung) an der Inaktivierung von Pathogenen beteiligt sind.

Bei einer Kompostierung im Stall sollte vom Gebrauch von Folien zur Abdeckung der Miete angesichts der negativen Folgen auf den Temperaturverlauf in den oberen Mietenschichten abgesehen werden. Die Wirkungen der Folie in Form einer Retention von Feuchtigkeit sowie einer Speicherung von Kompostwärme im Mietenmaterial sind vermutlich nur bei einer Kompostierung außerhalb des Stalles ausschlaggebend. Hier kann von einer zusätzlich verstärkten Erwärmung des Mietenmaterials durch Sonneneinstrahlung auf die schwarze Seite der Siloplane und von einer positiv zu bewertenden Abweisung von Regenwasser zur Feuchtigkeitskontrolle ausgegangen werden.
Da ein nachteiliger Einfluss kälterer Umgebungstemperaturen auf den Kompostierungsprozess, insbesondere auf die Temperaturentwicklung in den äußeren Mietenschichten, aufgrund der kontroversen Diskussion in der Literatur und auch vor dem Hintergrund der eigenen Ergebnisse nicht zweifelsfrei ausgeschlossen werden kann und weil eine Erhöhung der Kompostierungsrate bei steigenden Umgebungstemperaturen zu erwarten ist, sollte insbesondere im Winter überlegt werden, die Heizung im Stall für die Dauer der Kompostierung einzuschalten. Auf eine verstärkte Wärmedämmung der Miete insbesondere zum Stallboden ist zu achten.

Die unteren, peripheren Mietenbereiche sind am meisten von Austrocknung gefährdet. Während der Kompostierung treten durch Evaporation Feuchtigkeitsverluste auf, die aufgrund der größeren Oberfläche insbesondere die unteren, peripheren Mietenbereiche betreffen. Trotzdem sind massive Nachbewässerungen des Mietenmaterials während der Kompostierung zu vermeiden. Wie im ersten eigenen Versuch, in dem in den oberen Mietenschichten eine gute Zersetzung erreicht wurde, sollte sich die Bewässerung beim Mietenaufbau vorrangig auf die Federn der Tierkadaver konzentrieren. Eine kurze Bewässerung des gesamten Mietenmaterials ist zur Staubbindung möglich. Zur Kontrolle des Feuchtigkeitsgehaltes sind

jeweils Handquetschproben durchzuführen. Diese sollten während der Kompostierung unter entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen im Tierseuchenkrisenfall einmal wöchentlich vorgenommen werden. Nachbewässerungen während der Kompostierung in Abhängigkeit von Handquetschproben sollten sich dabei vorrangig auf die unteren, peripheren Randbereiche beschränken, da sie nachweislich auf die Temperaturentwicklung dieser stark austrocknungsgefährdeten Bereiche eine positive Wirkung haben. Es sollte beachtet werden, dass das Material feucht gehalten, jedoch nicht durchnässt wird. Die Bewässerung sollte in restriktiver Weise erfolgen. Die Menge des zugesetzten Wassers ist in Abhängigkeit von wiederholten Handquetschproben und in Abhängigkeit von der Struktur der Rohmaterialien zu begrenzen.

Ein Befahren des Mietenmaterials sollte vermieden werden. Bei Ställen, deren Fläche z.B. durch Holzpfosten unterteilt ist und daher einen entsprechenden Maschineneinsatz nicht zulässt, sollte deshalb über die Möglichkeit und Auswahl anderer Verfahren nachgedacht werden.

Aus arbeitsschutztechnischen Gründen ist eine Auftragung der Tierkadaver und der Einstreu als Gemisch zu bevorzugen. Für den Mietenauf- und –abbau sind mindestens drei Personen (ein Fahrer des Teleskop- oder Radladers, zwei weitere Arbeiter), für die Kontrollen bei laufender Kompostierung eine Person einzuplanen. Geeignete Schutzmasken sollten während der Kompostierung im Stall sowohl bei den durchzuführenden Prozesskontrollen (insbesondere bei der Messung der Mietentemperaturen) als auch beim Auf- und Abbau der Miete nicht nur im Rahmen eines Tierseuchenfalles, sondern auch vor dem Hintergrund der Belastungen mit Mikroorganismen, Staub, Endotoxinen und Ammoniak getragen werden.

Bei erhöhtem Fliegenaufkommen sind geeignete Insektizide einzusetzen.

Eine geeignete Desinfektion insbesondere der Mietenrandbereiche und der Mietenoberfläche ist infolge von gegebenenfalls geringeren Prozesstemperaturen in diesen Bereichen in Erwägung zu ziehen.

6 Zusammenfassung

Inga Schwarzlose (2012):

Kompostierung von Putenkadavern unter Seuchenbedingungen in Niedersachsen

In der Geflügelhaltung fallen bei Ausbruch einer Tierseuche aufgrund der sehr hohen Besatzdichte innerhalb kürzester Zeit große Mengen von Tierkadavern an, die die Kapazitäten der Tierkörperbeseitigungsanlagen übersteigen können. Nach VO (EG) Nr. 1069/2009 sind bei Auslastung dieser Anlagen oder wenn Verschleppungsrisiken zu befürchten sind, auch das Verbrennen und Vergraben zulässige Entsorgungsverfahren für die Tierkadaver. In der vorliegenden Arbeit wurde das Verfahren der Kompostierung von Putenkadavern und ihrer Einstreu im Stall als ein möglicher dritter Entsorgungsweg, alternativ zum Verbrennen und Vergraben, überprüft.

Es wurden zwei Kompostierungsversuche mit jeweils unterschiedlichem Aufbau der Miete unter Seuchenbedingungen in einem Stall in Niedersachsen durchgeführt. Beim ersten Versuch wurden zwei Putenkadaverlagen geformt. Die Miete, die eine Einstreuabdeckung aufwies, wurde direkt auf dem Stallboden aufgebaut. Beim zweiten Versuch, bei dem die Tierkadaver mit der Einstreu und unter Zusatz von Maissilage als Gemisch aufgetragen wurden, erfolgte der Mietenaufbau auf einem Strohballenpolster mit Folienabdeckung. Während im einen Teil der Miete Stroh zur Abdeckung diente, wurde der andere Teil mit Folien und Stroh abgeschlossen.

Beim Abschluss des ersten Versuchs war die Zersetzung der Putenkadaver in den oberen Schichten weit fortgeschritten. Im Gegensatz zu den unteren Mietenbereichen wurde in den oberen Schichten eine Temperatur von bis zu 54,9°C erreicht und nach 30 Tagen war kein Weichteilgewebe mehr sichtbar. In den unteren Schichten wurde nur eine Maximaltemperatur von 45,2°C gemessen, und die Zersetzung war weniger weit fortgeschritten. Diese Temperaturdifferenz bewirkte vermutlich den unterschiedlichen Zersetzungsgrad der Tierkadaver. Sie war wahrscheinlich u.a. die Folge einer vermehrten Wärmeabgabe an den Stallboden.

Der hohe Zersetzungsgrad, wie für die oberen Schichten der Miete im ersten Versuch beschrieben, konnte im zweiten Versuch nicht erreicht werden. Dabei war der Abbau der Putenkadaver nach 35 Tagen im mit Stroh abgedeckten Teil der Miete weiter fortgeschritten

als in dem mit Folien abgedeckten Teil des Komposthaufens. Der geringere Zersetzungsgrad der Tierkadaver im Vergleich zum ersten Versuch war vermutlich auf einen zu hohen Feuchtigkeitsgehalt im Mietenmaterial zurückzuführen. Während im ersten Versuch nur die Federn der Putenkadaver und bei der Umschichtung (13. Tag) das gesamte Kompostmaterial nur kurz bewässert wurde, erfolgte im zweiten Versuch eine intensivere Bewässerung des Mietenmaterials. Der mit Folien abgedeckte Teil des Komposthaufens wurde beim Aufbau bis zur Sättigung bewässert. Die Folien hatten durch die Speicherung von Feuchtigkeit einen positiven Einfluss auf den stark von Austrocknung gefährdeten unteren peripheren Bereich, der, infolge seiner größeren Oberfläche und weil die Folie am Rand der Miete nicht luftdicht versiegelt war, über einen ausreichenden Sauerstoffeintritt verfügte. Auf die Temperaturentwicklung der oberen Mietenschichten hingegen wirkten sich die Folien negativ aus, da sie den Sauerstoffeintritt in das Mietenmaterial in diesem Bereich wahrscheinlich deutlich einschränkten und zu einer Speicherung von zu viel Feuchtigkeit führten. Die nur mit Stroh abgedeckte Mietenhälfte wurde beim Aufbau weniger stark bewässert, da für diesen Teil der Miete eine regelmäßige Wasserzufuhr in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt vorgesehen war. Es zeigte sich, dass eine Einstellung des sehr inhomogenen Kompostmaterials auf einen Zielfeuchtigkeitsgehalt von 65% trotz Berechnung der dazu notwendigen Wassermenge und ihrer Aufteilung auf zwei Bewässerungen nicht möglich war. Die Bewässerungen führten zu einer Verringerung der Temperaturdifferenz zwischen oberen und unteren Schichten. Insbesondere die erste Bewässerung hatte einen positiven Einfluss auf die Temperaturentwicklung des unteren peripheren und stark austrocknungsgefährdeten Bereichs. Die Bewässerungen wirkten sich jedoch auf die Temperaturen der oberen Schichten negativ aus. Die übermäßige Feuchtigkeit führte vermutlich wie in den oberen Schichten der anderen Mietenhälfte zu einer Verdrängung von Sauerstoff mit der Folge anaerober Bedingungen und einer geringeren Temperaturentwicklung im Mietenmaterial. Letzteres kann auch durch ein Befahren des Mietenmaterials mit dem Rad- bzw. Teleskoplader infolge einer Materialverdichtung hervorgerufen werden. Im Vergleich zum ersten Kompostierungsdurchgang waren im zweiten Versuch hingegen, wahrscheinlich infolge der verstärkten Wärmedämmung v.a. zum Stallboden hin, nun auch höhere Temperaturen von bis zu 48,4°C in den unteren Schichten der Miete messbar.

Die Kompostierung stellt ein im Tierseuchenkrisenfall bei Auslastung der Tierkörperbeseitigungsanlagen zur Behandlung und Zwischenlagerung von Tierkadavern

geeignetes Verfahren dar. Eine tatsächliche Inaktivierung des aviären Influenzavirus und des Newcastle Disease-Virus lässt sich auf der Grundlage der vorliegenden Kompostierungsversuche angesichts des ausgebliebenen Nachweises eines Newcastle Disease-Impfvirus abschließend nicht beurteilen, wird jedoch unter Bezug auf die Literaturangaben für Teilbereiche der Miete als durchaus möglich angesehen. Beim derzeitigen Kenntnisstand sollte das Material nach der Kompostierung verbrannt werden. Durch die bereits im Stall einsetzende Behandlung des ggf. erregerhaltigen Materials ist allerdings von einer Erregerabreicherung und damit von einem reduzierten Risiko einer Erregerverschleppung beim Transport auszugehen, auch wenn nicht in allen Teilbereichen der Miete für eine vollständige Keimabtötung ausreichende Temperaturen erreicht wurden, da nicht nur die Komposttemperatur, sondern auch andere Faktoren (z.B. Bildung von Ammoniak und anderen chemischen Verbindungen mit viruzider Wirkung) an der Inaktivierung von Pathogenen beteiligt sind.

7 Summary

Inga Schwarzlose (2012):

Composting of turkey carcasses under conditions of an epizootic disease in Lower Saxony

In case of an animal epidemic in poultry farming with its high stocking densities, the large quantities of animal carcasses arising within a very short time could exceed the capacities of rendering plants. According to Regulation (EC) No. 1069/2009 incineration and burial are permitted methods of disposing of animal carcasses if the capacities of rendering plants are exceeded or if there is a risk of spreading disease.

In the present study composting of turkey carcasses and manure in the stable was investigated as a possible third pathway of disposal alternatively to incineration and burial. Two composting experiments, each with a different construction of the compost pile, were carried out in a stable in Lower Saxony, Germany. In the first approach two layers of turkey carcasses were formed. The compost pile covered with manure was directly built on the concrete floor. In the second approach carcasses and manure blended with corn silage were assembled as a mixture on straw bales covered with plastic foil. One part of this compost pile was covered with straw; the other one was additionally covered with plastic foil.

In the first approach temperatures of up to 54.9°C were reached in the upper layers of the windrow. The decomposition was well advanced with no soft tissues remaining after 30 days. By contrast, temperatures of only 45.2°C were obtained in the lower layers and decomposition was far less advanced. This temperature difference probably caused the difference in decomposition and presumably was the result of an increased heat loss to the ground. The high degree of decomposition seen in the upper layers of the windrow in the first approach was not achieved in the second trial. Decomposition was more advanced in the straw covered part of this compost pile than in the part covered with straw and plastic foil. The lower decomposition compared with the decomposition status of the first approach was probably caused by the excessive moisture content of the compost materials. Thus, whereas in the first trial only the feathers of the turkeys were wetted and the compost materials were shortly watered during the turning of the compost pile (13th day) in the second experiment a more intensive watering was carried out. The windrow covered with straw and plastic foil was watered to saturation during construction. By detaining water the plastic foils had a positive

effect on the moisture content of the lower peripheral section of the windrow most threatened by desiccation as a consequence of its larger surface and because the plastic foil was not hermetically sealed at the rims thus facilitating sufficient access of oxygen. On the other hand the plastic foil negatively affected the temperature development in the upper layers most likely because they decreased oxygen flow and led to retention of excess moisture. The straw covered part of the compost pile was watered less intensively. Regular watering depending on moisture content of the composting material was intended for this part of the windrow. It was revealed, however, that achieving the target of 65% in the inhomogeneous material was not possible despite calculating the necessary volume of water and installing two irrigation systems. The intense watering caused a decreased temperature difference between upper and lower layers of the straw covered part. The first watering specifically had a positive effect on the temperature development of the lower peripheral section tending to dry fastest. However, the irrigation had a negative impact on the temperature development in the upper layers. The excessive moisture probably led to a displacement of oxygen resulting in anaerobic conditions with lower temperatures as seen in the upper layers of the part covered with straw and plastic foil. Such a displacement of oxygen with the effects described above was also observed after the wheel loader or telescope loader had driven over the compost materials and had caused a compression. Compared to the first trial, in the second trial higher temperatures of up to 48.4°C were measured in the lower layers of this compost pile, most likely as a result of increased heat insulation to the concrete floor.

In case of high losses due to infectious animal diseases composting represents a suitable method for handling and temporary storage of animal carcasses when the capacities of rendering plants are exhausted. Due to the lack of detection of a Newcastle Disease vaccine virus an effective inactivation of avian influenza viruses and Newcastle Disease Virus could not be assessed decisively on the basis of the two composting trials described. However, based on the current literature it should be regarded possible for sections of the windrows. At the current status of knowledge the compost material should be incinerated after the decomposition process. The partial decomposition of carcasses is presumed to result in risk reduction with respect to accidental transmission during transport. Thus, even if there are windrow sections with temperatures not sufficiently high for complete pathogen inactivation, other factors (for example release of ammonia and other products with virucidal effect) are also involved in pathogen inactivation.

8 Literaturverzeichnis

ANGERSBACH-HEGER, S. (2002):
Untersuchungen zur Emission und Verfrachtung luftgetragener Mikroorganismen von der Auslauffläche einer Legehennenfreilandhaltung.
Hannover, Tierärztliche Hochschule, Diss.

BENDFELDT, E.S., R.W. PEER u. G.A. FLORY (2005 a):
Lessons learned from avian influenza outbreaks in Virginia 1983 and 2002.
In: Proc. of the Symposium on Composting Mortalities and Slaughterhouse Residuals, South Portland, Maine, USA, 24. – 25. Mai 2005. University of Maine Cooperative Extension, S. 6-9

BENDFELDT, E.S., R.W. PEER u. G.A. FLORY (2006):
In-house composting as a rapid response to avian influenza.
Biocycle 47, Nr. 5, S. 38-42

BENDFELDT, E.S., R.W. PEER, G.A. FLORY, G.K. EVANYLO u. G.W. MALONE (2005 b):
In-house composting of turkey mortalities as a rapid response to catastrophic losses.
In: Proc. of the Symposium on Composting Mortalities and Slaughterhouse Residuals, South Portland, Maine, USA, 24. – 25. Mai 2005. University of Maine Cooperative Extension, S. 44-50

BENSON, E.R., G.W. MALONE, R.L. ALPHIN, K. JOHNSON u. E. STAICU (2008):
Application of In-House Mortality Composting on Viral Inactivity of Newcastle Disease Virus.
Poult. Sci. 87, 627-635

BERGE, A.C.B., T.D. GLANVILLE, P.D. MILLNER u. D.J. KLINGBORG (2009):
Methods and microbial risks associated with composting of animal carcasses in the United States.
J. Am. Vet. Med. Assoc. 234, 47-56

BERNAL, M.P., A.F. NAVARRO, M.A. SÁNCHEZ-MONEDERO, A. ROIG u. J. CEGARRA (1998):
Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil.
Soil Biol. Biochem. 30, 305-313

BLAKE, J.P. (2003):
How well are you composting?
Poult. Dig. Online 3, Nr. 8

BLAKE, J.P. (2004):
Methods and technologies for handling mortality losses.
World Poult. Sci. J. 60, 489-499

BLAKE, J.P., D.E. CONNER u. J.O. DONALD (1991):
Wheat straw and peanut hulls are useful bulking agents in composting poultry carcasses.
Poult. Sci. 70 (Suppl. 1), 14

BLAKE, J.P., D.E. CONNER u. J.O. DONALD (1996):
Composting poultry carcases.
Br. Poult. Sci. 37 (Suppl.), S10-S11

BLAKE, J.P., u. J.O. DONALD (1992):
Alternatives for the Disposal of Poultry Carcasses.
Poult. Sci. 71, 1130-1135

BLAKE, J.P., J.O. DONALD, D.E. CONNER, J.K. TUCKER u. H.D. HARKINS (1994):
Field evaluation of mini-composting of poultry carcasses.
Poult. Sci. 73 (Suppl. 1), 41

BRODIE, J.L., u. L.E. CARR (1997):
Composting animal mortalities on the farm.
Fact Sheet 717. Cooperative Extension Service, University of Maryland
[Internet: http://extension.umd.edu/publications/pdfs/fs717.pdf]

CARR, L.E., H.L. BRODIE, J.H. MARTIN, G.W. MALONE, D.H. PALMER u. N. Zimmermann (1998):
Composting catastrophic event poultry mortalties.
Fact Sheet 723. Cooperative Extension Service, University of Maryland
[Internet: http://extension.umd.edu/publications/pdfs/fs723.pdf]

CONNER, D.E., u. J.P. BLAKE (1990):
Microbiological changes associated with composting of poultry farm mortalities.
Poult. Sci. 69 (Suppl. 1), 36

CONNER, D.E., J.P. BLAKE u. J.O. DONALD (1991 a):
Microbiological evaluation of poultry farm mortality composting.
Poult. Sci. 70 (Suppl. 1), 154

CONNER, D.E., J.P. BLAKE u. J.O. DONALD (1991 b):
Microbiological safety of composted poultry farm mortalities.
In: ASAE/CSAE Meeting Paper No. 91-4053, St. Joseph, Michigan, USA

CONNER, D.E., J.P. BLAKE u. J.O. DONALD (1993):
Composting as a method for the disposal of poultry carcasses.
In: Proc. of the 42nd Western Poultry Disease Conference, Sacramento, California, USA, 28. Februar – 2. März 1993. University of California, S. 24-27

CONNER, D.E., J.P. BLAKE, J.O. DONALD u. J.S. KOTROLA (1991 c):
Microbiological safety and quality of poultry mortality composting.
Poult. Sci. 70 (Suppl. 1), 29

CONNER, D.E., J.P. BLAKE, J.O. DONALD u. J.S. KOTROLA (1992):
Composting poultry carcasses: Microbiological safety.
In: Proc. of the National Poultry Waste Management Symposium, Birmingham, Alabama, USA, 6. – 8. Oktober 1992. National Poultry Waste Management Symposium Committee, S. 418-423

CUMMINS, C.G., C.W. WOOD, D.P. DELANEY, J.O. DONALD u. J.P. BLAKE (1992):
A survey of the fertilizer value of co-composted poultry mortalities and poultry litter.
In: Proc. of the National Poultry Waste Management Symposium, Birmingham, Alabama, USA, 6. – 8. Oktober 1992. National Poultry Waste Management Symposium Committee, S. 358-363

DE BERTOLDI, M., F. ZUCCONI u. M. CIVILINI (1988):
Temperature, pathogen control and product quality.
Biocycle 29, Nr. 2, 43-50

DENG, M.Y., u. E.O. CLIVER (1992):
Inactivation of poliovirus type 1 in mixed human and swine wastes and by bacteria from swine manure.
Appl. Environ. Microb. 58, 2016-2021

DERBYSHIRE, J.B., u. E.G. BROWN (1979):
The inactivation of viruses in cattle and pig slurry by aeration or treatment with calcium hydroxide.
J. Hyg. 82, 293-299

DE ROUCHEY, J.M., J.P. HARNER u. J.P. MURPHY (2005):
Catastrophic mortality composting: Is it safe and effective?
J. Appl. Poult. Res. 14, 414-416

DONALD, J.O., u. J.P. BLAKE (1996):
Update on bird disposal methods.
Poult. Dig. 55, Nr. 7, 18-20

DOUGHERTY, M. (1999):
Composting livestock and poultry mortalities.
In: DOUGHERTY, M. (Hrsg): Field guide to on-farm composting.
Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES), Ithaca, N.Y., S. 74-84

ECKERT, J., K.T. FRIEDHOFF, H. ZAHNER u. P. DEPLAZES (2008):
Lehrbuch der Parasitologie für die Tiermedizin.
2. Aufl., Enke Verlag, Stuttgart

ELWELL, D., H. KEENER u. S. MOELLER (2001):
Composting animal mortalities.
Biocycle 42, Nr. 5, 67-68

ELWELL, D., H. KEENER u. S. MOELLER (2001):
Composting animal mortalities.
Biocycle 42, Nr. 5, 67-68

EPSTEIN, E. (1997):
The Science of Composting.
Technomic Publishing AG, Basel
zit. nach WILKINSON (2007)

FLORY, G.A., u. R.W. PEER (2010):
Verification of poultry carcass composting research through application during actual avian influenza outbreaks.
ILAR Journal 51, 149-157

FLORY, G.A., R.W. PEER u. E.S. BENDFELDT (2006 a):
Composting wild birds, game birds and backyard poultry.
Biocycle 47, Nr. 11, 52-54

FLORY, G.A., R.W. PEER u. E.S. BENDFELDT (2006 b):
Evaluation of poultry carcass disposal methods used during an avian influenza outbreak in Virginia in 2002.
Virginia Department of Environmental Quality, Virginia Cooperative Extension
[Internet:
www.deq.virginia.gov/vpa/pdf/Evaluation_of_Poultry_Carcas_Disposal_Methods.pdf]

FULHAGE, C.D. (1995):
Composting dead animals.
In: New Knowledge in Livestock Odor Solutions, Proc. International Livestock Conference, Ames, Iowa, USA, 16. – 18. Oktober 1995. Iowa State University, S. 194-195

FULHAGE, C.D. (1997):
Management of livestock mortalities through composting.
In: Proc. International Livestock Environment Symposium (Vol. 1). ASAE, S. 355-362

GALE, P. (2002):
Risk Assessment: Use of composting and biogas treatment to dispose of catering waste containing meat.
Department for Environment, Food and Rural Affairs, London, United Kingdom
zit. nach K.G. WILKINSON (2007)

GERDES, U., J. DIEKMANN, K.-W. PASCHERTZ u. K.-P. BEHR (2009):
LPAI im Landkreis Cloppenburg.
Amtstierärztlicher Dienst und Lebensmittelkontrolle 16, 231-234

GILBERT, J.P., R.E. WOOLEY, E.B. SHOTTS u. J.A. DICKENS (1983):
Viricidal effects of Lactobacillus and yeast fermentation.
Appl. Environ. Microb. 46, 452-458

GLANVILLE, T.D., H.K. AHN, T.L. RICHARD, J.D. HARMON, D.L. REYNOLDS u. S. AKINC (2005):
Environmental impacts & biosecurity of composting for emergency disposal of livestock mortalities.
ASAE/CSAE Meeting Paper No. 054094, St. Joseph, Michigan, USA

GLANVILLE, T.D., u. D.W. TRAMPEL (1997):
Composting alternative for animal carcass disposal.
J. Am. Vet. Med. Assoc. 210, 1116-1120

GONZÁLEZ, J.L. u. M. SÁNCHEZ (2005):
Treatment of poultry mortalities on poultry farms.
Compost Sci. Util. 13, 136-140

GRIMM, E. (2001):
Prüfröhrchen.
In: Messmethoden für Ammoniak-Emissionen, KTBL-Schrift 401, Darmstadt, S. 69-72

GUAN, J., B.W. BROOKS, M. CHAN, C. GRENIER, D.C. WILKIE u. J.L. SPENCER (2007):
Survival of avian influenza virus and Newcastle disease virus during composting based on virus isolation and real time RT-PCR methods.
In: Proc. 15th World Veterinary Poultry Congress, Istanbul, Türkei, 22. – 26. August 2005. World Veterinary Poultry Association, S. 336

GUAN, J., M. CHAN, B.W. BROOKS u. J.L. SPENCER (2010):
Infectious Bursal Disease Virus as a Surrogate for Studies on Survival of Various Poultry Viruses in Compost.
Avian Dis. 54, 919-922

GUAN, J., M. CHAN, C. GRENIER, D.C. WILKIE, B.W. BROOKS u. J.L. SPENCER (2009):
Survival of Avian Influenza and Newcastle Disease Viruses in Compost and at Ambient Temperatures Based on Virus Isolation and Real-Time Reverse Transcriptase PCR.
Avian Dis. 53, 26-33

GWYTHER, C.L., A.P. WILLIAMS, P.N. GOLYSHIN, G. EDWARDS-JONES u. D.L. JONES (2011):
The environmental and biosecurity characteristics of livestock carcass disposal methods: A review.
Waste Manag. 31, 767-778

HAUG, R.T. (1993):
Practical Handbook of Compost Engineering.
Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA

HENRY, S.T. (2003):
Dead Animal Disposal.
Clemson University Cooperative Extension Service, S. 8-1 bis 8-15
[Internet:
http://www.clemson.edu/extension/livestock/livestock/camm/camm_files/swine/sch8_03.pdf]

HUSSONG, D., W.D. BURGE u. N.K. ENKIRI (1985):
Occurrence, growth, and suppression of Salmonellae in composted sewage sludge.
Appl. Environ. Microb. 50, 887-893

KALBASI, A., S. MUKHTAR, S.E. HAWKINS u. B.W. AUVERMANN (2005):
Carcass composting for management of farm mortalities.
Compost Sci. Util. 13, 180-193

KALBASI, A., S. MUKHTAR, S.E. HAWKINS u. B.W. AUVERMANN (2006):
Design, utilization, biosecurity, environmental and economic considerations of carcass composting.
Compost Sci. Util. 14, 90-102

KASHMANIAN, R.M., u. R.F. RYNK (1996):
Agricultural composting in the United States: Trends and driving forces.
J. Soil Water Conserv. 40, 194-201

KEENER, H.M. u. D.L. ELWELL (2000):
Dead animal composting.
Dept. of Food, Agricultural, and Biological Engineering, Ohio Agricultural Research and Development Center, Ohio State University
[Internet:
http://www.dep.state.pa.us/dep/DEPUTATE/Watermgt/wsm/WSM_TAO/InnovTechForum/InnovTechForum-IIC-Keener.pdf]

KEENER, H.M., D.L. ELWELL, M.J. MONNIN (2000):
Procedures and equations for sizing of structures and windrows for composting animal mortalities.
Applied Engineering in Agriculture 16, 681-692

KEENER, H.M., S.S. FOSTER, S.J. MOELLER u. D.L. ELWELL (2002):
Dealing with dead livestock.
Resource Magazine: Engineering and Technology for a Sustainable World 9, Nr. 8, 9-10

LAWSON, M.J., u. A.A. KEELING (1999):
Production and physical characteristics of composted poultry carcases.
Br. Poult. Sci. 40, 706-708

LU, H., A.E. CASTRO, K. PENNICK, J. LIU, Q. YANG, P. DUNN, D. WEINSTOCK u. D. HENZLER (2003):
Survival of Avian Influenza Virus H7N2 in SPF Chickens and Their Environments.
Avian Dis. 47, 1015-1021

LU, H., P.A. DUNN, E.A. WALLNER-PENDLETON, D.J. HENZLER, D.C. KRADEL, J. LIU, D.P. SHAW u. P. MILLER (2004):
Investigation of H7N2 Avian Influenza Outbreaks in Two Broiler Breeder Flocks in Pennsylvania, 2001-02.
Avian Dis. 48, 26-33

LUND, E. (1980):
The survival of enteric viruses in aerated and non-aerated cattle and pig slurry.
In: WALTHER, J.R. (Hrsg.): Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landspreading of manures. Workshop in the EEC program of coordination of research on effluents, Hannover, 4. – 6. November 1980, S. 149-156

MALONE, B. (2004):
Composting poultry losses.
In: Proc. to Poultry Information Exchange, Surfers Paradise, Australia, 18. – 21. April 2004, S. 39-42

MALONE, B. (2005):
Catastrophic mortality management.
In: Proc. of the Pennsylvania Poultry Sales and Service Conference, Grantsville, Pennsylvania, USA, 22. – 23. September 2005

MALONE, B. (2006):
Mass mortality composting programs.
In: Proc. of the National Poultry Waste Management Symposium, Springdale, Arkansas, USA, 23. – 25. Oktober 2006. National Poultry Waste Management Symposium Committee, S. 26-30

McQUISTON, J.H., L.P. GARBER, B.A. PORTER-SPALDING, J.W. HAHN, F.W. PIERSON, S.H. WAINWRIGHT, D.A. SENNE, T.J. BRIGNOLE, B.L. AKEY, T.J. HOLT (2005):
Evaluation of risk factors for the spread of low pathogenicity H7N2 avian influenza virus among commercial poultry farms.
J. Am. Vet. Med. Assoc. 226, 767-772

MILLNER, P.D., K.E. POWERS, N.K. ENKIRI u. W.D. BURGE (1987):
Microbially mediated growth suppression and death of Salmonella in composted sewage sludge.
Microb. Ecol. 14, 255-265

MUKHTAR, S., A. KALBASI u. A. AHMED (2004):
Composting.
In: Carcass Disposal: A comprehensive review. USDA APHIS Cooperative Agreement Project, Carcass Disposal Working Group.
National Agricultural Biosecurity Center, Kansas State University, S. 1-85

MURPHY, D.W. (1990):
Disease transfer studies in a dead bird composter.
In: Proc. of the National Poultry Waste Management Symposium, Raleigh, North Carolina, USA, 3. – 4. Oktober 1990. National Poultry Waste Management Symposium Committee, S. 25-30

MURPHY, D.W. (1991):
Dead bird disposal methods still high research priority.
Poult. Dig. 50, Nr. 1, S. 34-38

MURPHY, D.W. (1992 a):
Massive depopulation and disposal by composting.
In: Proc. Annu. Meet. U. S. Anim. Health Assoc., 96, S. 342-347

MURPHY, D.W. (1992 b):
Disposal of avian influenza infected poultry by composting.
In: Proc. of the Third International Symposium on Avian Influenza, Madison, Wisconsin, USA, 27. – 29. Mai 1992. U.S. Animal Health Association, S. 147-154

MURPHY, D.W. (1992 c):
New developments in mortality composters.
In: Proc. of the National Poultry Waste Management Symposium, Birmingham, Alabama, USA, 6. – 8. Oktober 1992. National Poultry Waste Management Symposium Committee, S. 33-40

MURPHY, D.W. (1993):
Feasibility of windrow composting for disposal of large-scale broiler mortality. I. Preliminary tests.
Poult. Sci. 72 (Suppl.), 78

MURPHY, D.W., u. L.E. CARR (1991):
Composting dead birds.
Fact Sheet 537. Cooperative Extension Service, University of Maryland
[Internet: http://www.extension.umd.edu/publications/pdfs/fs537.pdf]

MURPHY, D.W., u. T.S. Handwerker (1988):
Preliminary investigations of composting as a method of dead bird disposal.
In: Proc. of the National Poultry Waste Management Symposium, Columbus, Ohio, USA, 18. – 19. April 1988. Department of Poultry Science, Ohio State University, S. 65-72

OLESIUK, O.M. (1951):
Influence of environmental factors on the viability of Newcastle disease virus.
Am. J. Vet. Res. 12, 152-155

PAPADIMITRIOU, E.K., u. E.I. STENTIFORD (2003):
Processing standards for the composting and anaerobic digestion of feedstocks containing catering waste in England.
In: Proc. of the ECN/ORBIT e.V. Animal By-Products Regulation Workshop
zit. nach K.G. WILKINSON (2007)

PHILLIPS, V.R., R.W. SNEATH u. J. HARTUNG (1994):
Sources of air pollution from poultry production.
In: Proc. 9th European Poultry Conference, Glasgow, United Kingdom, 7. – 12. August 1994. World Poultry Science Association, Vol. 2, S. 252-255

RICHTER, A. (2011):
Untersuchungen zum Vorkommen von Methicillin-resistenten Staphylokokken (MRS) und Vancomycin-resistenten Enterokokken (VRE) in Putenmastbetrieben.
Berlin, Freie Univ., Fachbereich Veterinärmed., Diss.

RIVES, D., M. STRINGHAM, T. CARTER u. M. WINELAND (1992):
Fly populations associated with poultry mortality composting.
In: Proc. of the National Poultry Waste Management Symposium, Birmingham, Alabama, USA, 6. – 8. Oktober 1992. National Poultry Waste Management Symposium Committee, S. 409-412

RUSS, C.F., u. W.A. YANKO (1981):
Factors affecting salmonellae repopulation in composted sludges.
Appl. Environ. Microb. 41, 597-602

RYNK, R., M. VAN DE KAMP, G.B. WILLSON, M.E. SINGLEY, T.L. RICHARD, J.J. KOLEGA, F.R. GOUIN, L. LALIBERTY, D. KAY, D.W. MURPHY, H.A.J. HOITINK u. W.F. BRINTON (1992):
On-farm composting handbook.
Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES), Ithaca, N.Y.

RYNK (2000):
Fires at composting facilities: causes and conditions.
BIOCYCLE 41, Nr. 4, 54-58

SALEH, M. (2006):
Untersuchungen zur Luftqualität in verschiedenen Systemen der Geflügelhaltung mit besonderer Berücksichtigung von Staub und Luftkeimen.
Hannover, Tierärztliche Hochschule, PhD-These

SCHWARTZ, J.H. (1993):
Disposal by composting of a commercial turkey flock infected with avian influenza.
Poult. Sci. 72 (Suppl. 1), 117

SENNE, D.A., B. PANIGRAHY u. R.L. MORGAN (1994):
Effect of Composting Poultry Carcasses on Survival of Exotic Avian Viruses: Highly Pathogenic Avian Influenza (HPAI) Virus and Adenovirus of Egg Drop Syndrome-76.
Avian Dis. 38, 733-737

SHANE, S.M. (2004):
In-house composting to dispose of catastrophic mortality.
Poultry International 44, 34-37

SHANE, S.M. (2006):
Emergency depletion and disposal of poultry flocks.
World Poultry 22, Nr. 5, 42-44

SIDHU, J., R.A. GIBBS, G.E. HO u. I. UNKOVICH (2001):
The role of indigenous microorganisms in suppression of *Salmonella* regrowth in composted biosolids.
Wat. Res. 35, 913-920

SPENCER, J.L., u. J. GUAN (2006):
An overview of the Canadian experience in dealing with an outbreak of avian influenza including composting methods followed for disposal of carcasses and manure.
In: Referatesammlung zum 71. Fachgespräch der Fachgruppe „Geflügelkrankheiten", Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e.V., Hannover, 9. – 10. November 2006, S. 26-32

SPENCER, J.L., J. GUAN u. B.W. BROOKS (2007):
Survival of avian influenza and other poultry viruses in the environment and during composting of carcasses – a review.
In: Proc. 17th World Veterinary Poultry Congress, Beijing, China, 12. – 16. September 2007. World Veterinary Poultry Association, S. 14-18

SPENCER, J.L., J. GUAN u. B. RENNIE (2005):
Management related diseases – Manure management and environmental contamination.
In: Proc. 15th World Veterinary Poultry Congress, Istanbul, Türkei, 22. – 26. August 2005. World Veterinary Poultry Association, S. 159-162

SPENCER, J.L., B. RENNIE u. J. GUAN (2004):
Emphasis on biosecurity for composting poultry and manure during an outbreak of highly pathogenic avian influenza in British Columbia.
Can. Anim. Health Net Bull. 9, 21-23

STARICK, E., u. O. WERNER (2004):
RT-PCR-Methoden für die Differenzialdiagnostik AIV/NDV.
In: Mitteilung des DVG-Arbeitskreises für Veterinärmedizinische Infektionsdiagnostik (AVID), 23. Arbeits- und Fortbildungstagung der AVID, Bad Staffelstein, 15. – 17. September 2004

TABLANTE, N.L., u. G.W. MALONE (2005):
In-house Composting of Poultry Mortalities Due To Catastrophic Disease.
[Internet: http://www.extension.umd.edu/publications/pdfs/mep324.pdf]

TABLANTE, N.L., G.W. MALONE, F.N. HEGNGI, L.E. CARR, P.H. PATTERSON, G. FELTON u. N. ZIMMERMANN (2002):
Guidelines for In-house Composting of Catastrophic Poultry Mortality.
Fact Sheet 801. Cooperative Extension Service, University of Maryland
[Internet: http://www.extension.umd.edu/publications/pdfs/fs801.pdf]

WILKINSON, K.G. (2007):
The biosecurity of on-farm mortality composting.
J. Appl. Microbiol. 102, 609-618

WILKINSON, K.G., D. HARAPAS, E. TEE, R.B. TOMKINS u. R. PREMIER (2003):
Strategies for the safe use of poultry litter in food crop production.
Horticulture Australia Ltd., Sydney, Australia
[Internet: www.vgavic.org.au/pdf/r&d_VG01049_Poultry_Litter.pdf]

VERORDNUNGEN

2002
Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 des europäischen Parlamentes und des Rates vom 3. Oktober 2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte.

2006
Verordnung zur Durchführung des Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetzes (Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung-TierNebV) vom 27. Juli 2006.

Ausschuss für Gefahrstoffe (2006): Technische Regeln für Gefahrstoffe-TRGS 900, Gemeinsames Ministerialblatt (GMBl.), Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS)

2009
Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 21. Oktober 2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (Verordnung über tierische Nebenprodukte).

METHODENSAMMLUNGEN, LEITFÄDEN UND DIN-NORMEN

Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (2006):
Methodenbuch zur Analyse organischer Düngemittel, Bodenverbesserungsmittel und Substrate.
5. Aufl., Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (Hrsg.)

DIN EN ISO 4833 (2003):
Mikrobiologie von Lebensmitteln und Futtermitteln – Horizontales Verfahren für die Zählung von Mikroorganismen – Koloniezählverfahren bei 30°C (ISO 4833:2003); dt. Fassung EN ISO 4833:2003

DIN EN ISO 6887-1 (1999):
Mikrobiologie von Lebensmitteln und Futtermitteln – Vorbereitung von Untersuchungsproben und Herstellung von Erstverdünnungen und von Dezimalverdünnungen für mikrobiologische Untersuchungen – Teil 1: Allgemeine Regeln für die Herstellung von Erstverdünnungen und Dezimalverdünnungen (ISO 6887-1:1999); dt. Fassung EN ISO 6887-1:1999

DIN EN ISO 7899-2 (2000):
Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von intestinalen Enterokokken – Teil 2: Verfahren durch Membranfiltration (ISO 7899-2:2000); dt. Fassung EN ISO 7899-2:2000

DIN ISO 7218:1996 (E) [1996]:
Microbiology of food and animal feeding stuffs – General rules for microbiological examinations.

DIN ISO 21528-2 (2004):
Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal methods for the detection and enumeration of Enterobacteriaceae – Part 2: Colony-count method.

Friedrich-Loeffler-Institut (2007):
Amtliche Sammlung von Verfahren zur Probennahme und Untersuchung von Untersuchungsmaterial tierischen Ursprungs für anzeigepflichtige Tierseuchen (Amtliche Methodensammlung für anzeigepflichtige Tierseuchen).
Friedrich-Loeffler-Institut (Hrsg.), Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit, Stand: Juni 2007
[Internet: www.fli.bund.de]

Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2006):
Leitfaden zur großräumigen Rattenbekämpfung in Niedersachsen.
Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (Hrsg.), 1. Aufl., Mai 2006
[Internet: www.laves.niedersachsen.de]

Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl: 9420). 30. Lfg. IV/2003.
In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. BGIA – Institut für Arbeitsschutz (Hrsg.), Erich Schmidt Verlag, Berlin

Verfahren zur Bestimmung der Bakterienkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl: 9430). 32. Lfg. IV/2004.
In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. BGIA – Institut für Arbeitsschutz (Hrsg.), Erich Schmidt Verlag, Berlin

Verfahren zur Bestimmung der Endotoxinkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl: 9450). 28. Lfg. IV/2002.
In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. BGIA – Institut für Arbeitsschutz (Hrsg.), Erich Schmidt Verlag, Berlin

9 Anhang

9.1 Methodenbeschreibungen

9.1.1 Tierversuch „Indikatortiere“ (Az.: 06/1188): Durchführung, Probenentnahme und Probenuntersuchungen

Zur Darstellung der Virusinaktivierung sollten Hühner oder Puten, die mit einem geeigneten Indikatorkeim infiziert wurden, während des zweiten Kompostierungsversuchs in die aufzubauende Miete eingebracht und in regelmäßigen Abständen auf vorhandenes Virus untersucht werden. Diese infizierten Tiere sollten als ganze Tierkörper kompostiert werden, um die Bedingungen einer bei Ausbruch einer aviären Tierseuche notwendigen Kompostierung besser nachzustellen.

Um Störungen beim Virusnachweis durch Antikörper zu vermeiden, dienten als Versuchstiere SPF-Tiere. Da SPF-Puten zum Zeitpunkt des Tierversuchs nicht zur Verfügung standen, wurden legereife SPF-Hühner (Lohmann Animal Health GmbH, Cuxhaven) als Indikatortiere ausgesucht.

Als Indikatorerreger diente Newcastle Disease-Impfvirus, da das Virus der Newcastle Disease im Vergleich zu aviären Influenzaviren eine höhere Tenazität aufweist. Wenn also das Impfvirus in den SPF-Hühnern nach erfolgter Kompostierung nicht mehr nachweisbar ist, so kann das Verfahren der Kompostierung als alternative Beseitigungsmöglichkeit auch bei Ausbruch von aviärer Influenza zum Einsatz kommen.

Materialien:

Material für die Impfung der SPF-Hühner und die Probenentnahme

Newcastle Disease (ND)-Impfstoff AviPro® ND LASOTA, 1x1000 Dosen; Lohmann Animal Health GmbH (LAH), Cuxhaven

AviPro® Diludrop (Lösungsmittel), 1x34 ml, LAH, Cuxhaven

Zwischenstück und Tropfenformer, LAH, Cuxhaven

Kanülen (Sterican, 0,9x40 mm), B. Braun Melsungen AG, Melsungen

Blutprobengefäße (Polypropylenröhrchen), 10 ml, KABE Labortechnik GmbH, Nümbrecht-Elsenroth

Rachen- und Kloakentupfer sowie Transportmedium (PBS mit Mykostatin, Penicillin, Streptomycin und Gentamicin, hergestellt durch das Lebensmittel- und Veterinärinstitut

Oldenburg des LAVES nach der Amtlichen Methodensammlung für anzeigepflichtige Tierseuchen, Friedrich-Loeffler-Institut, Stand: Juni 2007)
Einmalhandschuhe, Heiland VET GmbH, jetzt Henry Schein VET GmbH, Hamburg

Material für den Virusnachweis (Organmaterial, Tupferproben)
Eikultur:
sterile physiologische Kochsalz- (NaCl-) Lösung (0,85%ig), Eigenproduktion des Lebensmittel- und Veterinärinstituts Oldenburg des LAVES
8 bis 10 Tage vorbebrütete SPF-Hühnereier, LAH, Cuxhaven
Allantoisflüssigkeit mit ND-Virus, Stamm Montana (positive Kontrolle), c.c.pro Gesellschaft für Herstellung und Vertrieb von Produkten für Cellkulturen mbH, Oberdorla
steriles Zellerhaltungsmedium (negative Kontrolle)
Spiritus
Paraffin
Schere und Pinzette
Porzellanmörser und Pistill
steriler Seesand, Merck KGaA, Darmstadt
sterile Röhrchen
Filter (450 nm), Sarstedt AG & Co., Nümbrecht
Spritzen (2 ml Volumen), Heiland VET GmbH, jetzt Henry Schein VET GmbH, Hamburg
Nadel
Kanülen mit Schrägschliff, Heiland VET GmbH, jetzt Henry Schein VET GmbH, Hamburg
sterile Zellstofftupfer
Blutplatten, Eigenproduktion des Lebensmittel- und Veterinärinstituts Oldenburg des LAVES
Präzisionspipetten, Eppendorf AG, Hamburg, und Fisher Scientific GmbH, Schwerte
Einmalpipettenspitzen, Eppendorf AG, Hamburg
Zentrifuge, Heraeus Holding GmbH, Hanau
Bunsenbrenner
Eier-Brutschrank, 37°C
Kühlschrank (4°C)
Schierlampe

Hämagglutinationstest (HA-Test):

Allantoishöhlenflüssigkeit aus der Eikultur (zu untersuchende Matrix)

physiologische NaCl-Lösung (0,85%ig)

1%ige Hühnererythrocyten-Suspension, LAH, Cuxhaven

Kontrollantigen (ND-Virus, Stamm Montana), c.c.pro Gesellschaft für Herstellung und Vertrieb von Produkten für Cellkulturen mbH, Oberdorla

sterile Mikrotiterplatten (96 Vertiefungen) mit Deckel, Greiner Bio-One GmbH, Frickenhausen

sterile Röhrchen

Präzisionspipetten

Einmalpipettenspitzen

Zentrifuge, Heraeus Holding GmbH, Hanau

Kühlschrank (4°C)

PCR-Untersuchungen:

a) RNA-Extraktion:

Testkit High Pure Viral RNA Kit (Roche Deutschland Holding GmbH, Grenzach-Wyhlen), bestehend aus:

- Bindepuffer (Guanidinhydrochlorid und Triton X-100 enthaltend), 2x25 ml
- Poly(A)Carrier-RNA (gefriergetrocknet)
- Inhibitor-Removal-Puffer, 33 ml
- Waschpuffer, 2x10 ml
- Elutionspuffer, 30 ml
- High Pure Filter Tubes (Silica-Säulchen), 100 Stück
- Sammelgefäße, 400 Stück

Ethanol absolut zur Analyse, Merck KGaA, Darmstadt

fetales Kälberserum (als Negativkontrolle)

aufgereinigte DNA einer positiven Probe (als Positivkontrolle)

für die PCR geeignete Reaktionsgefäße (1,5 ml), Eppendorf AG, Hamburg

Präzisionspipetten (bis 1000 µl), Eppendorf AG, Hamburg

Einmalpipettenspitzen mit Filter, Eppendorf AG, Hamburg

für die PCR geeignete Reaktionsgefäße (1,5 ml), Eppendorf AG, Hamburg

Mikrozentrifuge für Mikroliterreaktionsgefäße, Heraeus Holding GmbH, Hanau
Schüttler Vortex®
Kühlschrank (4°C)

b) RT-PCR (erste PCR):

Qiagen® OneStep RT-PCR Kit für 100 Reaktionen (Qiagen GmbH, Hilden), bestehend aus:

- Qiagen OneStep RT-PCR Enzymmix (Omniscript™ und Sensiscript™ Reverse Transcriptase sowie HotStarTaq™ DNA Polymerase enthaltend), 200 µl
- 5x Qiagen OneStep RT-PCR Puffer, 1 ml
- 5x Q-Lösung, 2 ml
- dNTP-Mix (jeweils 10 mM pro dNTP), 200 µl
- Rnase-freies Wasser, 2x1,9 ml
- Handbuch

Primer NDV 1 und NDV 2, Gibco®
TE-Puffer (Tris-EDTA-Puffer), 100fach konzentriert, Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim
Rnase Inhibitor RNasin®, Promega GmbH, Mannheim
für die PCR geeignete Reaktionsgefäße (0,2 ml; 0,5 ml; 1,5 ml), Eppendorf AG, Hamburg
Präzisionspipetten (bis 1000 µl), Eppendorf AG, Hamburg
Einmalpipettenspitzen mit Filter, Eppendorf AG, Hamburg
Schüttler Vortex®
Minizentrifuge
Thermocycler (iCycler, Bio Rad Laboratories GmbH, München)
Kühlschränke (4°C)
Gefrierschränke

c) seminested PCR (zweite PCR):

Primer NDnestF (Seminest V), Gibco®
2x Reddy Mix™ PCR Master Mix (1,5 mM $MgCl_2$), ABgene®
Rnase-freies Wasser (steriles Aqua bidest mit 0,1% Diethylpyrocarbonat; mindestens zwei Stunden bei 37°C gerührt, dann autoklaviert)
für die PCR geeignete Reaktionsgefäße (0,2 ml; 0,5 ml; 1,5 ml), Eppendorf AG, Hamburg

Präzisionspipetten (bis 1000 µl), Eppendorf AG, Hamburg
Einmalpipettenspitzen mit Filter, Eppendorf AG, Hamburg
Schüttler Vortex®
Minizentrifuge
Mastercycler, Eppendorf AG, Hamburg
Kühlschränke (4°C)
Gefrierschränke

d) Agarosegel-Elektrophorese:

Biozym LE Agarose, 500 g, Biozym Scientific GmbH, Hessisch Oldendorf

TBE-Puffer, 20fach konzentrierte Stammlösung (pH 8,0):

Tris (Tris(hydroxymethyl)aminomethan, AppliChem GmbH, Darmstadt	215,63 g
Borsäure, AppliChem GmbH, Darmstadt	110,05 g
EDTA, Merck KGaA, Darmstadt	7,44 g
Aqua dem.	ad 1000 ml

Ethidiumbromid-Lösung 0,07%, 5 ml, AppliChem GmbH, Darmstadt
100 bp DNA Ladder (1,0 µg/µl), 250 µg, Invitrogen GmbH, Karlsruhe
6x Loading Buffer, 1 ml, Peqlab Biotechnologie GmbH, Erlangen
Wasser (Aqua dem., Aqua dest., Aqua bidest)
Präzisionspipetten, Eppendorf AG, Hamburg
Einmalpipettenspitzen, Eppendorf AG, Hamburg
Bechergläser
Messkolben
Wägeschälchen
Präzisionswaage
Mikrowelle
Captair Biocap™-PCR-Werkbank
Gelelektrophoresekammer (Typ Sub-Cell GT Wide Mini) mit Zubehör und Spannungsgerät (Typ Power Pac 3000), Bio-Rad Laboratories GmbH, München
Videodokumentationssystem Bio-Print (Modell 008), Peqlab Biotechnologie GmbH, Erlangen

Aufnahme- und Analysensoftware Bio-Capt, Vilber Lourmat Deutschland GmbH, Eberhardzell
Mini-UV-Leuchttisch 312 nm für DNA/RNA Gele, Peqlab Biotechnologie GmbH, Erlangen
Kurzzeitwecker
Kühlschränke (4°C)

indirekter Erregernachweis (HAH-Test)
zu untersuchende Serumproben
physiologische NaCl-Lösung (0,85%ig)
Gebrauchsantigen (ND-Virus, Stamm Montana), c.c.pro Gesellschaft für Herstellung und Vertrieb von Produkten für Cellkulturen mbH, Oberdorla
positives ND-Serum, c.c.pro Gesellschaft für Herstellung und Vertrieb von Produkten für Cellkulturen mbH, Oberdorla
negatives ND-Serum, c.c.pro Gesellschaft für Herstellung und Vertrieb von Produkten für Cellkulturen mbH, Oberdorla
1%ige Hühnererythrocytensuspension, LAH, Cuxhaven
sterile Mikrotiterplatte mit Deckel, Greiner Bio-One GmbH, Frickenhausen
Präzisionspipetten
Einmalpipettenspitzen
Zentrifuge, Heraeus Holding GmbH, Erlangen
Wasserbad (56°C)
Kühlschrank (4°C)

Zwölf SPF-Hühner wurden im Stall F2 (Isolierhaus) der Klinik für Geflügel der Tierärztlichen Hochschule Hannover eingestallt. Nach einer Ruhephase von 1,5 Tagen wurden bei allen zwölf Tieren durch Punktion der Flügelvene (Vena ulnaris) Blutproben (Serumproben) zur Bestimmung des Antikörpertiters sowie zusätzlich Rachen- und Kloakentupferproben entnommen. Daran anschließend wurden die Hühner mit dem nach Anweisung des Herstellers gelösten ND-Lebendimpfstoff AviPro® ND La Sota in 20fach höherer Dosis als für den Impfstoff angegeben geimpft. Diese höhere Dosierung wurde gewählt, da die legereifen SPF-Hühner aufgrund ihres Alters ein höheres Lebendgewicht aufwiesen und man das Risiko einer Unterdosierung bezüglich des angestrebten Impfvirusnachweises reduzieren wollte. Die Verabreichung des Impfstoffes erfolgte über die

Konjunktiven (intraokulär), da diese Form der Applikation zur höchstmöglichen Virusausscheidung führt (Dr. Frank Fehler, vormals Lohmann Animal Health GmbH, jetzt vaxxinova GmbH, persönliche Mitteilung).
Da in den Organen (Respirationstrakt, Milz, Thymus, Bursa fabricii) die höchsten Virusgehalte zwei bis sechs Tage post vaccinationem bei Applikation des Impfstoffs per Aerosol, eine von den Ergebnissen her mit der konjunktivalen Verabreichung zu vergleichende Applikationsform, festzustellen sind (Dr. Frank Fehler, vormals Lohmann Animal Health GmbH, jetzt vaxxinova GmbH, persönliche Mitteilung), wurden am 2., 4., 6. und 9. Tag nach der Impfung bei allen Tieren im Stall jeweils Rachen- und Kloakentupferproben entnommen. An diesen Tagen wurden zudem jeweils drei Tiere zur Tötung und Sektion ins Lebensmittel- und Veterinärinstitut Oldenburg des LAVES gebracht. Während der Sektion wurden erneut Blutproben gezogen, zudem wurden die Leber, die Lunge, die Milz, die Nieren sowie Proben vom Gehirn und Darm entnommen. Die Rachen- und Kloakentupferproben wurden zusammen mit dem Organmaterial aus der Sektion auf Impfvirus hin untersucht. Bei den Serumproben wurden die Antikörpertiter festgestellt. Beide Untersuchungen, sowohl der direkte als auch der indirekte Erregernachweis, erfolgten durch das Lebensmittel- und Veterinärinstitut Oldenburg des LAVES.

Direkter Erregernachweis (Virusnachweis)

Das in der Sektion gewonnene Organmaterial sowie die Rachen- und Kloakentupferproben wurden mittels Eikultur und daran anschließendem Hämagglutinationstest (HA-Test) auf Impfvirus hin untersucht. Die Untersuchungen wurden jeweils nach der Amtlichen Methodensammlung für anzeigepflichtige Tierseuchen (Friedrich-Loeffler-Institut, Stand: Juni 2007) durchgeführt. Parallel dazu wurden die oben genannten Proben mittels Reverse-Transkriptase-Polymerase-Kettenreaktion (RT-PCR) auf das Vorhandensein von Impfvirus geprüft. Zusätzlich wurden die Organ- und Rachentupferproben einer seminested PCR unterzogen. Aufgrund des in den Kloakentupferproben zu erwartenden hohen und unterschiedlichen DNA-Gehalts und des damit verbundenen Risikos von Sekundärbanden war diese zweite PCR für die Untersuchung der Kloakentupfer ungeeignet. Sowohl die RT-PCR als auch die seminested PCR wurden nach den Empfehlungen des Nationalen Referenzlabors (Friedrich-Loeffler-Institut, Greifswald - Insel Riems) durchgeführt.

Eikultur und HA-Test

Eikultur

a) Vorbereitung der Proben

Aus dem in der Sektion entnommenen Organmaterial wurden, nach Organen getrennt, nach Zerkleinerung mittels Schere und Pinzette sowie Verreibung mit sterilem Seesand im Mörser unter Zugabe von physiologischer NaCl-Lösung 10 bis 20%ige Organsuspensionen hergestellt. Diese wurden in sterilen Röhrchen bei 1500 Umdrehungen pro Minute (UpM) für zehn Minuten zentrifugiert. Der Überstand einer jeden Probe wurde durch einen Filter (450 nm) steril filtriert.

Die Rachen- und Kloakentupferproben wurden in ihrem antibiotischen Transportmedium aufgeschüttelt und für zehn Minuten bei 1500 UpM zentrifugiert. Der Überstand wurde ebenfalls durch einen Filter (450 nm) steril filtriert.

b) Anlegung der Eikultur und erste Eipassage

Vier bis fünf Eier waren pro zu untersuchende Probe sowie jeweils für die positive (Allantoisflüssigkeit mit ND-Virus, Stamm Montana) und negative Kontrolle (steriles Zellerhaltungsmedium) zu beimpfen. Die Bruteier wurden oberhalb der Luftkammer und an der Injektionsstelle mit Spiritus desinfiziert und mit einer Nadel angestochen. Anschließend wurden jeweils 0,1 ml bis 0,2 ml des vom Zentrifugat filtrierten Überstands mit einer Spritze in die Allantoishöhle verimpft. Nach Verschließen der Impfstelle und der Luftkammeröffnung mit Paraffin wurden die Eier waagerecht im Brüter für fünf bis sechs Tage bei 37°C und 70% bis 80% Luftfeuchtigkeit bebrütet (erste Eipassage). Die beimpften Eier waren täglich zu durchleuchten. Im Falle von abgestorbenen Embryonen war die Allantoishöhlenflüssigkeit (AF) zu ernten und ein HA-Test durchzuführen. Nach fünf bis sechs Tagen waren alle noch lebenden Embryonen durch Kälteexposition (15 Minuten bei -80°C) abzutöten.

c) Ernte der AF und zweite Eipassage

Im Bereich der Luftkammer wurden die mit Probenmaterial beimpften sowie die der positiven wie negativen Kontrolle dienenden Eier desinfiziert (Spiritus oder Flamme) und die Eierschale mit einer Schere geöffnet und entfernt. Anschließend wurde nach Entnahme der Eierhaut die AF mit einer Pipette aufgezogen und in sterile Röhrchen, getrennt nach abgestorbenen und abgetöteten Embryonen, überführt. Mit der AF dieser ersten Eipassage wurden eine Sterilkontrolle (Ausstreichen auf Blutagar und Inkubation bei 37°C für

24 Stunden) und dann ein HA-Test durchgeführt, bevor sie nach der oben beschriebenen Art und Weise wieder verimpft wurde. Nach dieser zweiten Eipassage wurde die AF geerntet und mittels HA-Test erneut untersucht.

HA-Test

a) Durchführung

Der HA-Test schloss eine positive (ND-Virus, Stamm Montana) und eine negative Kontrolle (Erythrocytenkontrolle: Test auf Spontanagglutination) mit ein. Auf einer Mikrotiterplatte mit 96 Vertiefungen wurden in den pro Probe zu verwendenden 12 Vertiefungen 0,025 ml physiologische NaCl-Lösung vorgelegt. Nach Zugabe von 0,025 ml AF in die 1. Vertiefung wurde von diesem ausgehend eine geometrische Verdünnungsreihe (1:2 bis 1:4096) erstellt. Anschließend wurden jeweils 0,025 ml physiologische NaCl-Lösung sowie 1%ige Hühnererythrocyten-Suspension in jede Vertiefung pipettiert. Nach dem Mischen der Reagentien wurde die Mikrotiterplatte für 30 bis 40 Minuten bei 4°C im Kühlschrank gelagert.

b) Auswertung

Die Beurteilung erfolgte durch Neigen der Mikrotiterplatte. Als positives Ergebnis wurde eine Agglutination der Erythrocyten, als negatives Resultat ein Ausfließen der Erythrocyten bewertet. Als Titer, angegeben in hämagglutinierenden Einheiten (HAU), wurde die höchste Verdünnung herangezogen, bei der die Erythrocyten noch vollständig agglutinierten. Bei einem ermittelten Titer von 1:16 war zusätzlich ein HAH-Test zur Spezifitätsprüfung des Agglutinins durchzuführen.

Untersuchungen mittels PCR (RT-PCR, seminested PCR)

RNA-Isolierung

a) Probenvorbereitung

Die Vorbereitung der Proben (Organe, Tupfer) erfolgte wie bei der Untersuchung mittels Eikultur. Als Probenmaterial diente der jeweils steril filtrierte Überstand.

b) Durchführung

Für die Extraktion der RNA aus dem zu untersuchenden Probenmaterial wurde der kommerziell erhältliche RNA-Isolierungskit High Pure Viral RNA Kit der Firma Roche®

verwendet. Dieser Testkit wurde wie folgt nach Herstellerangaben eingesetzt: Zur Herstellung der Arbeitslösung wurde die lyophilisierte Poly(A)Carrier-RNA in 1 ml bis 2 ml Lyse-Bindepuffer gelöst. Der Inhibitor-Removal-Puffer wurde mit 20 ml, der Waschpuffer mit 40 ml Ethanol absolut versetzt. Im Folgenden wurden jeweils 200 µl Probenmaterial mit 400 µl Poly(A)Carrier-RNA-Arbeitslösung gut vermischt und zehn Minuten bei Raumtemperatur inkubiert. Diese Lösung wurde auf eine Silica-Säule in einem Sammelröhrchen aufgetragen und für eine Minute bei 10000 UpM zentrifugiert. Im Anschluss daran wurden in einem neuen Sammelgefäß 500 µl Inhibitor-Removal-Puffer auf die Säule aufgetragen und erneut für eine Minute bei 10000 UpM zentrifugiert. Dieser Zentrifugationsschritt wiederholte sich nach jedem der zwei darauffolgenden Waschschritte mit je 450 µl Waschpuffer, bei denen jeweils wieder der Durchfluss verworfen wurde. Zusätzlich wurde nach dem letzten Waschschritt für zehn Sekunden bei maximaler Umdrehungszahl zentrifgiert. Die Säule wurde dann in ein 1,5 ml-Reaktionsgefäß überführt, um dann mit 100 µl Elutionspuffer die RNA zu eluieren. Die aufgereinigte RNA wurde nach einer einminütigen Zentrifugation bei 10000 UpM sofort in die RT-PCR eingesetzt.
Zudem wurden als Verlaufskontrollen eine positive (aufgereinigte DNA aus einer positiven Probe) sowie eine negative (reines fetales Kälberserum) Kontrolle mit durchgeführt, die auch in den im Folgenden beschriebenen Arbeitsschritten ausgeführt wurden.

RT-PCR (1. PCR)

Die RT-PCR wurde mit Hilfe des kommerziell erhältlichen Qiagen® OneStep RT-PCR Kit nach Herstellerangaben durchgeführt. Dabei findet die Reverse Transkription, die Umschreibung der zu untersuchenden RNA in eine copyDNA (cDNA), sowie die PCR an sich, bei der diese cDNA als Template fungiert, in einem Schritt ohne Wechsel des Reaktionsgefäßes statt.
Die im Folgenden beschriebenen Arbeitsschritte bis zur eigentlichen PCR wurden unter Sterilwerkbänken sowie streng räumlich voneinander getrennt durchgeführt, um eine Kontamination der Reagenzien und eine Verschleppung der Zielsequenz zu unterbinden.
Zunächst wurden die benötigten Reagenzien in der für die Gesamtanzahl der Proben erforderlichen Menge (+10% Sicherheitsmenge) zu einem Gesamtmastermix vermischt. Dabei wurde pro Probe ein doppelter Reaktionsansatz berechnet, da jede Probe zweimal untersucht wurde, und zwar in der nativen Form (native Probe) sowie mit der Positivkontrolle

als Spike (gespikte Probe) zum Ausschluss von Inhibitionen. Für die Positiv- und Negativkontrolle wurde jeweils nur ein einfacher Reaktionsansatz berücksichtigt.
Der einfache Reaktionsansatz für ein Reaktionsgefäß setzte sich wie folgt zusammen:

RNAse freies Wasser	9,9 µl
5x Qiagen® OneStep RT-PCR Buffer	5,5 µl
dNTP-Mix (jeweils 10 mM pro dNTP)	1,1 µl
NDV-Primer-Mix (je 50 ng/µl NDV 1 +NDV 2)	4,4 µl
Qiagen® OneStep RT-PCR Enzyme Mix	1,1 µl
Rnase-Inhibitor	0,11 µl

Dabei wurden die folgenden Primer, gelöst in 1x TE-Puffer (Stocklösung mit 1000 ng/µl) und mit Rnase freiem Wasser auf eine Konzentration von 100 ng/µl verdünnt, als 1+1-Mix (je Primer 50 ng/µl) eingesetzt:

Bezeichnung	Sequenz (5`-3`)
NDV 1 (ND-F)	TTGATGGCAGGCCTCTTGC
NDV 2 (ND-R)	GGAGGATGTTGGCAGCATT

Vom Gesamtmastermix wurden im Ganzen pro zu spikende Probe 22 µl abgenommen, die mit jeweils 1,1 µl einer positiven Kontrolle (aufgereinigte DNA der Positivkontrolle) versetzt wurden. Dem restlichen Anteil des Gesamtmastermixes, der zur Untersuchung der nativen Proben sowie für die Positiv- und Negativkontrolle diente, wurden pro Reaktionsansatz zum Volumenausgleich entsprechend 1,1 µl RNase freies Wasser hinzugefügt.
Pro nativer und gespikter Probe wurden dann jeweils 20 µl aus dem entsprechenden Anteil des Mastermixes mit 5 µl Template-RNA in getrennten Reaktionsgefäßen versetzt. Für die Kontrollen wurden 20 µl aus dem ungespikten Mastermix entnommen.

Die Proben durchliefen dann in einem Thermocycler die folgenden Temperaturphasen:

Reverse Transkription	30 min	50°C

Inaktivierung der Reversen Transkriptase,		
initiale Aktivierung der Hot Star Taq™ DNA Polymerase	15 min	95°C

Reaktionszyklus (35 Zyklen):

Denaturierung (Melting)	1 min	94°C
Anlagerung der Primer (Annealing)	1 min	52°C
Extension	1 min	72°C
Finale Extension	10 min	72°C

Nach erfolgter PCR wurden die Proben im Thermocycler auf 4°C heruntergekühlt.
Während mit den PCR-Produkten der Kloakentupferproben direkt im Anschluss an diese PCR eine Agarosegel-Elektrophorese schon durchgeführt wurde, fand bei den Organ- und Rachentupferproben als Zwischenschritt vor der Elektrophorese eine zweite PCR, die seminested PCR, statt.

seminested PCR (2. PCR)

Zur Erhöhung der Sensitivität wurden die Organ- und Rachentupferproben in einer zweiten PCR untersucht. Bei dieser sogenannten nested PCR wird einer der beiden Primer aus der ersten PCR zusammen mit einem neuen Primer, der innerhalb der in der ersten PCR amplifizierten DNA bindet, eingesetzt.
Auch bei dieser PCR wurden die im Folgenden beschriebenen Arbeitsschritte bis zur Amplifikation räumlich streng voneinander getrennt sowie unter Sterilwerkbänken durchgeführt.
Zunächst wurden die benötigten Reagenzien in der für die Gesamtanzahl benötigten Menge (+10% Sicherheitsmenge) zu einem Gesamtmastermix vermischt. Dabei wurden neben der Positiv- und Negativkontrolle sowohl die nativen als auch die gespiketen Proben berücksichtigt.

Der Reaktionsansatz für ein Reaktionsgefäß setzte sich wie folgt zusammen:

RNAse freies Wasser	9,9 µl
2x Reddy Mix™ PCR Master Mix	11 µl
(1,5 mM $MgCl_2$), ABgene®	
NDV-Seminest-Primer Mix	
(10 pmol/µl Primer ND nest F, 50 ng/µl NDV 2)	4,4 µl

Dabei wurde der folgende Primer, 100 µM gelöst mit 1x TE-Puffer und verdünnt mit Dep.-Wasser, mit dem schon in der ersten PCR verwendeten Primer NDV 2 in einem Primermix eingesetzt:

Bezeichnung	Sequenz (5`-3`)
NDnestF (Seminest V)	CTTTGCTCACCCCCCTTGG

In jedes Reaktionsgefäß wurden 15 µl des Mastermixes pipettiert, die mit 5 µl des 1:100 mit Dep.-Wasser verdünnten Produktes aus der RT-PCR versetzt wurden.
Die Proben durchliefen dann in einem Thermocycler die folgenden Temperaturphasen:

Initiale Aktivierung der Polymerase	2 min	94°C

<u>Reaktionszyklus (34 Zyklen):</u>

Denaturierung	20 sec	95°C
Annealing	20 sec	52°C
Extension	20 sec	72°C
Finale Extension	7 min	72°C

Nach Abschluss der seminested PCR wurden die Proben im Thermocycler auf 4°C heruntergekühlt.

Die Produkte dieser zweiten PCR wurden schließlich wie die von den Kloakentupferproben gewonnenen Amplifikate aus der ersten PCR in der im Anschluss stattgefundenen Agarosegel-Elektrophorese weitergehend untersucht.

Agarosegel-Elektrophorese

Im Anschluss an die RT-PCR bzw. seminested PCR wurden die Amplifikate der Proben und Kontrollen elektrophoretisch aufgetrennt und mit Hilfe des Floureszenzfarbstoffes Ethidiumbromid unter UV-Licht sichtbar gemacht.

a) Durchführung

Zur Herstellung des 1,75%igen Agarosegels wurden 0,875 g Agarose in einen Erlenmeyerkolben eingewogen und in 50 ml 0,5x TBE-Puffer durch Erhitzung in der Mikrowelle (900 Watt für 2 Minuten) gelöst. Nach Abkühlung auf 55°C und Zugabe eines Tropfens Ethidiumbromid-Lösung (0,7 mg/ml) unter Schwenken wurde die Lösung in eine Gelkassette mit eingesetztem Probenkamm gegossen. Nach einer Stunde wurde der Probenkamm entfernt und das Gel in eine mit 0,5x TBE-Puffer gefüllte Gelkammer eingesetzt. Jedes PCR-Produkt (25 µl Ansatz) wurde mit jeweils 5 µl 6x Ladepuffer vermischt. Jeweils 10 µl wurden davon entnommen und in eine Geltasche überführt. Zur Größenbestimmung der Nukleinsäurefragmente wurden zudem in eine gesonderte Geltasche 5 µl eines mit Ladepuffer versetzten DNA-Längenstandards (100 bp DNA Ladder) pipettiert. Die Auftrennung erfolgte im Anschluss daran bei 65 V für 30 Minuten. Nach Ende der Elektrophorese und Entnahme des Agarosegels aus der Kammer wurden die Banden unter UV-Licht betrachtet und mit Hilfe des Videodokumentationssystems Bio-Print und der dazugehörigen Aufnahme- und Analysensoftware Bio-Capt fotografiert und gespeichert.

b) Auswertung

Die Länge der Nukleinsäurenfragmente wurde durch Vergleich mit dem DNA-Längenstandard bestimmt. Dabei war als positives Ergebnis bei der ersten PCR ein DNA-Fragment mit einer Länge von 469 Basenpaaren anzusehen (Nationales Referenzlabor für Geflügelpest, Friedrich-Loeffler-Institut, Greifswald - Insel Riems). Bei der seminested PCR hingegen galt ein PCR-Produkt von 196 Basenpaaren Länge als positives Resultat (STARICK und WERNER, 2004).

Indirekter Erregernachweis (Hämagglutinationshemmungstest)

Mit Hilfe des Hämagglutinationshemmungstests (HAH-Test) wurden die Antikörpertiter im Serum ermittelt. Er erfolgte nach der Amtlichen Methodensammlung für anzeigepflichtige Tierseuchen (Friedrich-Loeffler-Institut, Stand: Juni 2007).

a) Vorbereitung der Proben

Die zwölf Blutproben der Tiere vor der Impfung sowie die jeweils bei der Sektion der Tiere entnommenen Blutproben wurden bei 3000 UpM für zehn Minuten zentrifugiert, um Serum zu gewinnen. Anschließend wurden die Proben für 30 Minuten bei 56°C im Wasserbad inkubiert, um unspezifische Inhibitoren zu inaktivieren. Vor der Durchführung des HAH-Tests wurde das ND-Gebrauchsantigen mit Hilfe eines HA-Tests auf 4 HAU verdünnt.

b) Testdurchführung

Pro Serumprobe wurden auf der Mikrotiterplatte in 12 Vertiefungen 0,025 ml physiologische NaCl-Lösung vorgelegt. Dann wurden 0,025 ml Serum in die erste Vertiefung pipettiert und von dieser ausgehend eine geometrische Verdünnungsreihe (1:2 bis 1:4096) erstellt. Anschließend wurden in jede Vertiefung 0,025 ml Gebrauchsantigen (4 HAU ND-Virus) gefüllt. Die Reagenzien wurden gemischt. Nach einer 30 minütigen Inkubation bei Raumtemperatur wurden in jede Vertiefung 0,025 ml 1%ige Hühnererythrocyten-Suspension gegeben. Nach einer weiteren Mischung der Reagenzien wurde die Mikrotiterplatte für 30 bis 40 Minuten bei 4°C im Kühlschrank gelagert. Zusätzlich wurden positive (mit ND-Positivserum) und negative (mit ND-Negativserum) Kontrollen mitgeführt. In einer weiteren Reihe von zwölf Vertiefungen wurden zudem zur Antigenkontrolle 0,025 ml Gebrauchsantigen (4 HAU ND-Virus) und 0,025 ml physiologische NaCl-Lösung gegeben, die dann mit 0,025 ml 1%iger Hühnererythrocytensuspension versetzt wurden.

c) Auswertung

Die Beurteilung erfolgte durch Neigen der Mikrotiterplatte. Als positives Ergebnis galt ein Auslaufen der Erythrocyten, als negatives Resultat wurde eine Erythrocyten-Agglutination angesehen. Als HAH-Titer galt die höchste Verdünnung, bei der noch eine Hemmung der Hämagglutination feststellbar war. Titer ab 1:16 waren positiv zu bewerten.

9.1.2 Mikrobiologische Untersuchungen des Kompostmaterials (Lebendkeimzahl aerober Bakterien, Enterobacteriaceae, Enterokokken)

a) Material

Pepton-Wasser (gepuffert), Merck KGaA, Darmstadt

Maximal-Wiederbelebungslösung (Pepton-Kochsalz-Lösung), Merck KGaA, Darmstadt

Plate-Count-Agar (Caseinpepton-Glucose-Hefeextrakt-Agar), Merck KGaA, Darmstadt

VRBD-Agar (Kristallviolett-Neutralrot-Galle-Glucose-Agar nach MOSSEL), Merck KGaA, Darmstadt

Membranfilter-Enterokokken-Selektivagar nach Slanetz und Bartley, Merck KGaA, Darmstadt

Aqua bidest

Petrischalen

Reagenzgläser mit Alukappen

Schere und Pinzette

Stomacherbeutel bzw. Filterbeutel Bag Page® (400 ml), Interscience, Saint Nom (Frankreich)

Beutelöffner und –halter Bag Open®, Interscience, Saint Nom (Frankreich)

Bag Clip® Stäbchen (zum Verschließen der Stomacherbeutel), Interscience, Saint Nom (Frankreich)

Bag Rack® (Gestell zur Aufbewahrung der Stomacherbeutel), Interscience, Saint Nom (Frankreich)

Stomacher Bagmixer® 400, Interscience, Saint Nom (Frankreich)

Pipetten:

- pipetus®-akku, Hirschmann Laborgeräte GmbH & Co. KG, Eberstadt
- Eppendorf Reference® (10 µl bis 100 µl, 200 µl bis 1000 µl), Eppendorf AG, Hamburg
- Bag Pipet® (100 µl bis 1000 µl), Interscience, Saint Nom (Frankreich)

Messpipette aus Glas (10 ml)

Einmalpipettenspitzen

Bag Tips® Einweg-Entnahmehalme, Interscience, Saint Nom (Frankreich)

Drigalski-Spatel

Präzisionswaage Sartorius Competence CP 622, Sartorius AG, Göttingen

Schüttelgerät für Reagenzgläser (Schüttler) REAX 2000, Heidolph Elektro GmbH & Co. KG, Kelheim

Brutschränke

- Lebendkeimzahl aerober Bakterien: 30±1°C, aerob
- Enterokokken: 37±2°C, aerob
- Enterobacteriaceae: 37°C, anaerob unter Stickstoff

Kühlschränke (1°C bis 6°C, 5±2°C)

Koloniezählgerät count^{plus}, Schütt Labortechnik GmbH, Göttingen

Farbstift

b) Probenvorbereitung

Die Vorbereitung der Kompostproben wurde nach DIN ISO 6887-1: 1999 unter Beachtung der DIN ISO 7218:1996 (E) durchgeführt.

Jeweils 25 g Probenmaterial wurden mit Hilfe von Schere und Pinzette in einen Stomacherbeutel eingewogen und mit der neunfachen Menge (225 ml) an gepuffertem Peptonwasser versetzt. Dann wurde dieses Gemisch aus Probe und Verdünnungslösung für eine Minute im Beutel-Walkmischgerät (Stomacher) homogenisiert. Von dieser Erstverdünnung wurden in einer dezimalen Verdünnungsreihe weitere Verdünnungsstufen hergestellt, indem ein Teil der vorherigen Verdünnungsstufe (1 ml) mit neun Teilen Pepton-Salz-Lösung (9 ml) vermischt wurde.

Die einzelnen Verdünnungsstufen waren der Ausgangspunkt der Untersuchungen auf die Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie auf die Enterobakterien- und Enterokokken-Keimzahl.

Lebendkeimzahl aerober Bakterien

Die Lebendkeimzahl aerober, mesophiler Bakterien wurde in Anlehnung an die DIN EN ISO 4833:2003 im Oberflächenspatelverfahren bestimmt.

Dazu wurden aus jeder vorbereiteten Verdünnungsstufe im Doppelansatz jeweils 0,1 ml auf einen nicht selektiven Nährboden, den Plate-Count-Agar, aufgetragen und mit einem sterilen Drigalski-Spatel gleichmäßig verteilt. Nachdem die Nährböden bei Raumtemperatur angetrocknet waren, wurden sie unter aeroben Bedingungen mit dem Boden der Petrischalen nach oben für 72±3 Stunden bei 30±1°C bebrütet.

Zur Auswertung wurden Platten benachbarter Verdünnungsstufen mit 15 bis 300 Kolonien herangezogen. Die Kolonien wurden unter Zuhilfenahme eines Koloniezählgerätes sowie eines Farbstiftes zur Markierung gezählt.

Die Berechnung der koloniebildenden Einheiten (KBE)/g Probe erfolgte in Anlehnung an die DIN EN ISO 7218:1996 (E) nach der Formel:

$$N = \frac{\Sigma C}{(n_1 * 1 + n_2 * 0{,}1) * d}$$

N = gewogenes arithmetisches Mittel der Koloniezahlen

ΣC = Summe der Koloniezahlen der zur Berechnung herangezogenen Platten (niedrigste und nächsthöhere Verdünnungsstufe)

n_1 = Anzahl der Platten der niedrigsten auswertbaren Verdünnungsstufe

n_2 = Anzahl der Platten der nächsthöheren Verdünnungsstufe

d = Faktor der niedrigsten auswertbaren Verdünnungsstufe (bezogen auf n_1)

Da beim Oberflächenspatelverfahren die auf die Nährböden aufgetragene Impfmenge von 0,1 ml einer weiteren Verdünnung von 1:10 entsprach, musste infolgedessen der Wert für N jeweils mit 10 multipliziert werden. Die Koloniezahlen wurden mit einer Dezimalstelle hinter dem Komma angegeben, jeweils auf- bzw. abgerundet nach den mathematischen Rundungsregeln. Die Ergebnisse wurden als Zehnerpotenz aufgeführt.

Enterobacteriaceae

Die Bestimmung der Anzahl der Enterobacteriaceae erfolgte in Anlehnung an die ISO-Norm 21528-2:2004 (E) auf Violet-red Bile Dextrose Agar (VRBD- bzw. Kristallviolett-Neutralrot-Galle-Glucose-Agar) nach MOSSEL.

Im Doppelansatz wurden pro vorbereiteter Verdünnungsstufe 0,1 ml auf den Agar aufgetragen und mit Hilfe eines sterilen Drigalski-Spatels gleichmäßig verteilt. Nach Antrocknung der beimpften Nährböden bei Raumtemperatur wurden diese mit dem Boden der Petrischalen nach oben anaerob unter Stickstoff für 24±2 Stunden bei 37°C inkubiert. Im Anschluss daran wurden die rötlichen bis lilafarbenen Kolonien (evtl. mit Präzipitathof) auf den einzelnen Platten gezählt. Dabei wurden nur die Platten benachbarter Verdünnungsstufen mit maximal 150 Kolonien pro Platte weitergehend ausgewertet. Die Berechnung der Anzahl der Enterobacteriaceae in KBE/g Probenmaterial erfolgte nach derselben Formel wie die der Lebendkeimzahl. Auch bei der Berechnung der Enterobakterien-Keimzahl war der Wert für N aufgrund der Plattenimpfmenge von 0,1 ml mit dem Faktor 10 zu multiplizieren. War auf den

mit der niedrigsten Verdünnungsstufe beimpften Agarplatten kein Koloniewachstum feststellbar, so lautete das Ergebnis „weniger als 1x10² KBE/g“.

Enterokokken

Die Untersuchung der Enterokokken-Keimzahl wurde nach der DIN EN ISO 7899-2:2000 auf Membranfilter-Enterokokken-Selektivagar nach Slanetz und Bartley durchgeführt.

Pro vorbereiteter Verdünnungsstufe wurden zwei Agarplatten (Doppelansatz) mit jeweils 0,1 ml beimpft. Nach gleichmäßiger Verteilung mit Hilfe eines sterilen Drigalski-Spatels sowie Antrocknung der Nährböden bei Raumtemperatur wurden die Agarplatten mit dem Boden der Petrischalen nach oben unter aeroben Bedingungen bei 36±1°C für 48 Stunden bebrütet. Daran anschließend wurden die zentral rötlich bis rosafarbenen Kolonien gezählt. Dabei wurden zur Auswertung nur Platten benachbarter Verdünnungsstufen mit 1 bis 200 Kolonien pro Platte herangezogen. Die Berechnung der Enterokokken-Keimzahl in KBE/g Probenmaterial erfolgte nach der unter 9.1.2 angegebenen Formel. Aufgrund der Plattenimpfmenge von 0,1 ml war der Wert für N auch bei dieser Untersuchung mit 10 zu vervielfachen. Waren auf den mit der niedrigsten Verdünnungsstufe beimpften Nährböden keine Kolonien gewachsen, so lautete das Resultat „weniger als $1x10^1$ KBE/g“ bzw. „weniger als 10 KBE/g“.

9.1.3 Untersuchung des Feuchtigkeitsgehalts im Mietenmaterial

Der Wassergehalt der Kompostproben wurde durch zwei unabhängige Institute, durch das Institut für Boden und Umwelt der LUFA Nord-West (Standort Oldenburg) sowie durch das Futtermittelinstitut Stade des LAVES, bestimmt. Die Untersuchung des Wassergehaltes erfolgte nach der Methode der BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST E.V. (2006). Die Wiederholgrenze des dort beschriebenen Verfahrens liegt für Kompostproben bei 8,4%.

Bei der LUFA Nord-West wurde das eingesandte Probenmaterial mit Ausnahme des Kompostmaterials vom 13. und 20. Versuchstag jeweils vor der Trocknung geteilt. Aus diesen zwei Untersuchungen pro Messort wurde der Mittelwert berechnet. Im Futtermittelinstitut Stade wurde das Probenmaterial jeweils als Ganzes eingewogen und getrocknet.

Materialien

Präzisionswaage, Sartorius AG, Göttingen

Umlufttrockenschrank, Memmert GmbH & Co. KG, Schwabach, und Heraeus Holding GmbH, Hanau

Glasschalen

Keramiktigel, Morgan Technical Ceramics, W. Haldenwanger, Technische Keramik GmbH & Co. KG, Waldkraiburg

Exsiccator mit Silicagel, Glaswerk Wertheim

Durchführung und Auswertung der Ergebnisse

a) Durchführung

Zunächst wurde zur Bestimmung der Tara der leere Keramiktigel gewogen. Nach seiner Befüllung mit der zu untersuchenden Probe und einer wiederholten Wägung wurde das Probenmaterial im Umlufttrockenschrank bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die Probe ließ man direkt nach der Entnahme aus dem Trockenschrank in einem Exsiccator abkühlen, bevor sie zurückgewogen wurde.

b) Auswertung

Der Wassergehalt (WG) wurde auf die Masse des feuchten Materials bezogen und in % der Frischsubstanz angegeben. Die Ergebnisse wurden jeweils auf eine Stelle hinter dem Komma nach den mathematischen Rundungsregeln auf- bzw. abgerundet.

Die Berechnung erfolgte nach der Formel:

$$WG = [(M_{feu}-M_{tro})/(M_{feu}-M_{tara})]*100 \quad [\%]$$

WG =	Wassergehalt (in % Frischsubstanz)
M_{tara} =	Gewicht des leeren Keramiktigels (in g)
M_{feu} =	Gewicht der feuchten Probe + M_{tara} (in g)
M_{tro} =	Gewicht der getrockneten Probe + M_{tara} (in g)

9.1.4 Messungen zum Arbeitsschutz

Materialien:

Probenentnahme

a) Impingement

- Drehschiebervakuumpumpen, ASF Thomas, jetzt Gardner Denver Thomas GmbH, Puchheim
- Trockengranulat als Feuchtigkeitsfalle vor der Drehschiebervakuumpumpe
- druckstabile Gewebeschläuche, concraft® 10x15, Conmetall GmbH & Co. KG, Celle
- Stative und Flaschenhalterungen, Chemiebedarf
- All Glas Impinger (AGI-30), Labor- und Analysen-Technik GmbH (LAT), Garbsen
- Verlängerungskabel aus dem Baumarkt
- Sörensen-Phosphatpuffer, Eigenherstellung des Instituts für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie der Tierärztlichen Hochschule Hannover (ITTN)

⇨ Herstellung von zwei 1:15 molaren Lösungen: 1. 11,87 g Na_2HPO_4* 2 H_2O auf 1000 ml Aqua bidest, 2. 4,535 KH_2PO_4 auf 500 ml Aqua bidest

⇨ 630 ml von Lösung 1 zu 370 ml von Lösung 2 (Soll-pH-Wert 7,0)

- Aqua bidest, Eigenherstellung des ITTN

b) Filtrationsverfahren

- SKC-Pumpe, SKC Inc. (USA)
- I.O.M.-Sammelkopf (für einatembare Stäube; I.O.M.= Institute of Occupational Medicine, Edinburgh), SKC Inc. (USA)
- Silikonschläuche aus dem Baumarkt
- Polycarbonat(PC)-Filter (Ø 25 mm, 0,8 µm Porengröße), Whatman (USA)
- Glasfaser(GF)-Filter (Ø 25 mm), Whatman (USA)
- Gefriertüten, Haushaltsbedarf

c) zusätzliche Geräte und Materialien

- Durchflussgerät zur Messung des Luftvolumenstroms am Anfang und am Ende der Messungen, Cole-Parmer Instrument Company (USA) bzw. Novodirect GmbH, Kehl/Rhein
- Silikonschlauch aus dem Baumarkt zum Anschluss des Durchflussgerätes

- Kühlboxen und Kühlakkus

d) Begleitmessungen

- Hitzedrahtanemometer zur Messung der Windgeschwindigkeit an den Messorten außerhalb des Stalles, testo AG, Lenzkirch
- Einhand-Gasspürpumpe „accuro“, Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck
- Dräger-Röhrchen® Ammoniak 5/a, Kohlenstoffdioxid 100/a, Schwefelwasserstoff 0,5/a, Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck

Probenuntersuchung

a) Impinger- und PC-Filter-Proben

- Nährmedien:
  - ⇨ Blutagarbasis, Oxoid Deutschland GmbH, Wesel
  - ⇨ Mannit-Kochsalz-Agar, Oxoid Deutschland GmbH, Wesel
  - ⇨ DG18-Agar (Dichloran-Glycerol-Agar), Oxoid Deutschland GmbH, Wesel
  - ⇨ Aktinomyceten-Agar, Oxoid Deutschland GmbH, Wesel
  - ⇨ Salmonellen-Agar nach Önöz, Oxoid Deutschland GmbH, Wesel
  - ⇨ Columbia-Blutagar mit 5% Schafsblut, Oxoid Deutschland GmbH, Wesel
  - ⇨ Staphylokokken-Streptokokken-Selektivagar (SSSA), Eigenherstellung des Instituts für Mikrobiologie der Tierärztlichen Hochschule Hannover (IM)
  - ⇨ Schaedler-Agar, Eigenherstellung des IM
  - ⇨ Clostridium-Selektivagar (CSA), Eigenherstellung des IM
  - ⇨ Leberbouillon, Eigenherstellung des IM
- Tween 80-Lösung: 9 g NaCl + 0,1 g Tween 80 (Polyoxyethylensorbitan) auf 1000 ml Aqua bidest; Eigenherstellung des ITTN
- ⇨ Tween 80 (Netzmittel), Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim
- sterile physiologische Kochsalz-(NaCl)-Lösung (0,9%ig), Eigenherstellung des ITTN
- Reagenzien und Materialien für die Gramfärbung: Karbol-Gentianaviolett, Lugolsche Lösung, 96%iger Ethanol, Carbolfuchsin; Objektträger, Lichtmikroskop, Bunsenbrenner und Zange, Anaerobiertöpfe, Oxoid Deutschland GmbH, Wesel
- in Anaerobiertöpfe eingesetzte Gasentwickler „Anaerogen“, Oxoid Deutschland GmbH, Wesel
- Brutschränke, Memmert GmbH & Co. KG, Schwabach (im ITTN), bzw. entsprechend temperierter Raum (IM)

- Schüttelwasserbad Shake Temp SW 23, Julabo Labortechnik GmbH, Seelbach
- Schüttelgerät für Reagenzgläser (Schüttler), Heidolph Elektro GmbH & Co. KG, Kelheim, bzw. Vortexer GENIUS 3, IKA®-Werke GmbH & Co. KG, Staufen
- Messpipette aus Glas (10 ml)
- Drigalski-Spatel
- Impfösen, Laborbedarf
- Reagenzgläser mit Aluminiumkappen (zur Herstellung von Verdünnungsreihen)
- Schraubgläser, Laborbedarf
- Farbstift, Schreibmaterialien

b) GF-Filter-Proben

- pyrogenfreies Wasser, BioWhittaker (USA)
- chromogen-kinetischer Limulus-Test/ Limulus-Amoebozyten-Lysat-Test (LAL) „Kinetik-QCL-Test, BioWhittaker (USA)
- Waage, Sartorius AG, Göttingen
- Horizontalschüttler IKA® HS 260 control, IKA®-Werke GmbH & Co. KG, Staufen
- Mikrotiterplatten-Photometer HT III (mit integriertem Horizontalschüttler), Anthos Labtec Instruments GmbH, Wals-Siezenheim (Österreich)
- Mikrotiterplatten, Laborbedarf
- endotoxinfreie Fläschchen, Schott AG, Mainz

c) zusätzliche Materialien und Geräte

- Pipette: Eppendorf Reference® (10 µl bis 100 µl), Eppendorf AG, Hamburg, sowie passende Einmalpipettenspitzen
- sterile Pinzetten, Laborbedarf
- Kühlschränke (+ 4°C)

Probenentnahme

Die Messungen zum Arbeitsschutz wurden vom ITTN im ersten Versuch während des Abbaus (30. Tag) und im zweiten Versuch beim Auf- und Abbau der Miete (1. und 35. Tag) durchgeführt. Für die Untersuchung der luftgetragenen Bakterien in Anlehnung an die BGIA-Arbeitsmappe 9430 (2004, Stand: 32. Lfg. IV/2004) und der Schimmelpilze unter Beachtung

der BGIA-Arbeitsmappe 9420 (2003, Stand: 30. Lfg. IV/2003) wurden als Messverfahren sowohl das Impingement (Abscheidung von Mikroorganismen in eine Sammelflüssigkeit) als auch das Filtrationsverfahren (Abscheidung von Partikeln und Mikroorganismen auf Filtern) unter Verwendung von PC-Filtern angewandt. Zur Untersuchung der Endotoxinkonzentration in der Stallluft in Anlehnung an die BGIA-Arbeitsmappe 9450 (2002, Stand: 28.Lfg. IV/2002) und der davor durchzuführenden Bestimmung des Staubgehaltes wurden GF-Filter verwendet.

Während mit dem Impingement nur stationär gemessen werden konnte, waren die Messungen mit dem Filtrationsverfahren jeweils auch mobil, z.B. personengetragen (BGIA-Arbeitsmappe 9430, 2004, Stand 32. Lfg. IV/2004; ANGERSBACH-HEGER, 2002) und in der Landmaschine, möglich. Obwohl bei beiden Kompostierungsversuchen jeweils beim Mietenauf- und -abbau sowohl Teleskop- als auch Radlader eingesetzt wurden, wird in der folgenden Beschreibung der Methodik zwischen diesen Landmaschinen, die jeweils eine Führerkabine aufwiesen, nicht unterschieden. Es wird jeweils als Messort der mobilen Messungen der Radlader erwähnt.

a) Impingement

Einen Tag vor Abbau der Miete des ersten Versuchs (29. Tag) wurden eine Messung außerhalb des Stalles sowie eine im Stall an der Längsseite der Miete durchgeführt. Während des Mietenabbaus im ersten Versuch am 30. Tag wurden ebenfalls eine Messung außerhalb des Stalles sowie an zwei Messorten im Stall, an der Längs- und Breitseite des Komposthaufens, durchgeführt. Die beiden Messorte für die Untersuchungen außerhalb des Stalles am 29. und am 30. Tag des ersten Versuches lagen zwischen dem Versuchsstall und dem gegenüberliegenden Bullenstall. Sie wurden so gewählt, dass sie jeweils im anströmenden und auf den Versuchsstall gerichteten Wind lagen, um die Vorbelastung der in den Versuchsstall gelangenden Luft mit Mikroorganismen abschätzen zu können. Die Messungen im zweiten Versuch während des Mietenauf- und -abbaus sowie jeweils am Vortag beschränkten sich auf die zwei Messorte innerhalb des Stalles in Mietennähe. Abbildung Anhang 1 zeigt eine Übersicht der Messorte des Impingements.

Sowohl im ersten Versuch als auch während der Messdurchgänge beim Mietenauf- und -abbau im zweiten Versuch wurde jeweils an beiden Messtagen je ein Impinger als Negativkontrolle mitgeführt.

Pro Messeinsatz an jedem Messort wurden zwei Impinger verwendet und somit zwei Proben gleichzeitig gewonnen. Die Impinger wurden vor den Messungen im ITTN unter sterilen Bedingungen mit Phosphatpuffer befüllt und deren Ansaugstutzen und Einlassrohr jeweils mit Alufolie verschlossen. Für die Messungen im zweiten Versuch im Frühjahr 2007 wurden die Impinger mit 30 ml Phosphatpuffer befüllt. Für die Untersuchungen im ersten Versuch im Sommer 2006 hingegen wurden jeweils 50 ml Phosphatpuffer pro Impinger verwendet. Diese größere Menge an Sammelmedium war trotz einer verstärkten Reaerosolisierung, bedingt durch das größere Volumen, zur Gewinnung von ausreichend Probenmaterial erforderlich, da die Impinger ohne kühlende Temperierungseinheit eingesetzt wurden und eine hohe Verdunstungsrate aufgrund der hohen Umgebungstemperaturen zum Zeitpunkt dieser Messungen berücksichtigt werden musste. Die Impinger wurden gekühlt zum Versuchsstall transportiert.

Die Impinger wurden für die Messungen mittels Flaschenhalterungen senkrecht an einem Stativ ca. 1,5 m über dem Stallboden befestigt. Nach Entfernen der Aluminiumfolie wurde der Ansaugstutzen eines jeden Impingers über einen druckstabilen Gewebeschlauch mit einer Drehschiebervakuumpumpe, die auf einen Luftstrom von 12,5 l/min voreingestellt war, verbunden. Unmittelbar vor den Pumpen war jeweils Trockengranulat als Feuchtigkeitsfalle in jedem Verbindungsschlauch vorhanden. Zu Beginn einer Messung wurde nun auch die Aluminiumfolie von der Probennahmeöffnung der Impinger entfernt. An dieses Einlassrohr eines jeden Impingers wurde am Anfang und am Ende jeder Untersuchung ein Durchflussgerät angeschlossen, um den Luftfluss zu messen und einen eventuellen Saugkraftverlust während der Messung zu dokumentieren. Die Impingerproben wurden nach Ende der Messungen gekühlt transportiert und bis zu ihrer weiteren Untersuchung am folgenden Tag im Kühlschrank (+ 4°C) aufbewahrt.

b) Filtrationsverfahren

Bei den Messungen mittels Filtrationsverfahren wurde ein Membranfilter in einen IOM-Sammelkopf eingesetzt, der über einen Silikonschlauch an eine SKC-Pumpe angeschlossen

wurde. Diese Pumpe war auf einen Luftvolumenstrom von 2 l/min voreingestellt. Es wurden pro Messort jeweils ein GF- und ein PC-Filter verwendet. Im ersten Versuch entsprachen die Messorte am Tag des Mietenabbaus (30. Tag) sowie am Vortag (29. Tag) denen der Untersuchung mittels Impingement im ersten Versuch. Zusätzlich fand eine Probenentnahme am Radlader sowie personengetragen (von einem am Abbau beteiligten Facharbeiter) statt. Um die Menge der Partikel, die während der Messung passiv auf die Filter gelangten, abzuschätzen, wurde bei diesen beiden zusätzlichen Messungen jeweils ein PC-Filter in einem IOM-Sammelkopf mitgeführt, ohne dass dieser an eine SKC-Pumpe angeschlossen wurde (passive Probenentnahme/Expositionskontrolle). Zudem wurde jeweils an beiden Messtagen je eine Negativkontrolle pro Filtersorte, bei der der IOM-Sammelkopf nicht geöffnet wurde, durchgeführt. Beim Mietenauf- und -abbau im zweiten Versuch am 1. und 35. Tag sowie jeweils am Vortag fanden wie beim Impingement nur Messungen an den zwei Messorten innerhalb des Stalles statt. Zusätzlich wurde vergleichend zum ersten Kompostierungsversuch jeweils eine Messung am Radlader mit und ohne SKC-Pumpe durchgeführt. Personengetragene Untersuchungen fanden während des Mietenaufbaus im zweiten Versuch bei der Formung der unteren Strohschicht sowie bei der Aufschichtung des zu kompostierenden Materials statt. Nur mit einem GF-Filter erfolgte zudem eine personengetragene Messung während der Bewässerung des Mietenmaterials. Beim Abbau der Miete fanden zwei Messungen personengetragen statt. Zeitgleich wurde bei diesen beiden Messungen jeweils ein PC-Filter und nur bei einer dieser Messungen ein GF-Filter mitgeführt, ohne dass der jeweilige IOM-Sammelkopf an eine SKC-Pumpe angeschlossen wurde (passive Probenentnahme). Die Sammelköpfe bei den personengetragenen Messungen befanden sich jeweils etwa in Schulterhöhe. Bei den Filtrationsmessungen in den Fahrzeugen wurde der Sammelkopf jeweils in ungefährer Kopfhöhe des Fahrers an der Seitenwand angebracht. Die Tür des Radladers war im Gegensatz zum zweiten Versuch im Frühjahr während des Mietenabbaus im ersten Versuch im Sommer aufgrund der höheren Umgebungstemperaturen nicht geschlossen worden. Sowohl beim Auf- als auch beim Abbau wurde jeweils an beiden Messtagen je eine Negativkontrolle pro Filtersorte mitgeführt.

Die zur Untersuchung des Staubgehaltes und der Endotoxinkonzentration verwendeten GF-Filter wurden für mindestens 24 Stunden vor den Messungen durch Lagerung in einer Klimakammer mit einer gleichbleibenden relativen Luftfeuchtigkeit von 40% und bei konstanter Temperatur von 20°C konditioniert und dann gewogen. Sie wurden zum

Versuchsstall in den IOM-Sammelköpfen, deren Öffnungen verschlossen waren, und verpackt in Plastiktüten zum Versuchsstall transportiert. Nach den Messungen wurden die GF-Filter erneut für 24 Stunden in der Klimakammer konditioniert, bevor sie zur Bestimmung der Staubgesamtmenge erneut gewogen und weiteren Untersuchungen unterzogen wurden. Die PC-Filter, die zur Untersuchung der luftgetragenen Bakterien und Schimmelpilze dienten, wurden zusammen mit den GF-Filtern in der Klimakammer aufbewahrt und in der gleichen Art und Weise wie diese zum Versuchsstall transportiert.

Probentransport und -untersuchung

Die Impinger- sowie die PC- und GF-Filter-Proben wurden gekühlt zum Labor verbracht und am Folgetag des jeweiligen Messeinsatzes weitergehend untersucht. Zum Transport wurden die Öffnungen der Impinger wieder mit Alufolie abgedeckt. Die Filter wurden in den wieder verschlossenen IOM-Sammelköpfen, jeweils verpackt in Plastiktüten, transportiert.

Sowohl die Impinger- als auch die PC-Filter-Proben wurden im ITTN auf mesophile Bakterien, Staphylokokken, thermophile Aktinomyceten sowie auf mesophile und thermophile Schimmelpilze nach der indirekten Methode und im aeroben Kultivierungsverfahren untersucht. Nach der gleichen Methode erfolgte die zusätzliche Untersuchung auf Salmonellen des beim Mietenabbau im ersten Versuch gesammelten Probenmaterials. Im IM erfolgte bei den jeweils aufbereiteten Proben der Nachweis von aeroben und aneroben Sporenbildnern (*Bacillus* spec., *Clostridium* spec.). Die GF-Filter wurden im ITTN hinsichtlich des Staubgehaltes und der Konzentration an Endotoxinen untersucht.

Das jeweils untersuchte Probenvolumen der Luft wurde dabei aus der Dauer der einzelnen Messungen, multipliziert mit der Durchflussrate der verwendeten Pumpen berechnet.

a) Untersuchung der Impinger- und PC-Filter-Proben

Die im ITTN zur Untersuchung der Impinger- und PC-Filter-Proben verwendeten Nährböden sind in Tabelle Anhang 1 mit der jeweiligen Bebrütungstemperatur und –dauer aufgeführt.

Die Impingerproben wurden vor ihrer weiteren Aufarbeitung auf dem Vortexer geschüttelt. Ausgehend von der Sammelflüssigkeit der Impinger wurde jeweils unter Verwendung von

physiologischer Kochsalzlösung eine dezimale Verdünnungsreihe angelegt, wobei sich die Anzahl der Verdünnungsstufen nach der erwarteten Keimzahl richtete. Pro Verdünnungsstufe wurden je 0,1 ml auf je drei Platten des jeweils ausgewählten Nährbodens aufgetragen (3facher Ansatz) und mit einem Drigalski-Spatel unter kreisenden Bewegungen der Platte gleichmäßig verteilt. Die Nährböden wurden anschließend mit dem Boden nach oben unter den in Tabelle Anhang 1 aufgeführten Bedingungen bebrütet.

Um die Partikel von den PC-Filtern abzulösen, wurden diese in Tween 80-Lösung verbracht. Dabei wurden die Filter der Messungen außerhalb des Stalles in 7 ml, die der Messungen innerhalb des Stalles in Mietennähe in 10 ml Tween 80-Lösung mit einer sterilen Pinzette überführt, für 30 Minuten im Wasserbad bei 25°C geschüttelt und anschließend für vier Minuten gevortext. Ausgehend von diesen Keimlösungen wurde jeweils eine dezimale Verdünnungsreihe unter Verwendung der Tween 80-Lösung angelegt. Pro Verdünnungsstufe wurden 0,1 ml auf je drei Platten des jeweils ausgesuchten Nährbodens verbracht (dreifacher Ansatz). Die auf die Nährböden jeweils aufgetragene Keimlösung wurde mit Hilfe eines Drigalski-Spatels unter kreisenden Bewegungen der Platte gleichmäßig verteilt. Die Nährböden wurden dann, wie in Tabelle Anhang 1 beschrieben, bebrütet.

Zur Auswertung wurden bei der Bestimmung der Anzahl der verschiedenen Bakterien nur Platten mit mindestens 5 und maximal 300 Kolonien herangezogen. Zur Untersuchung der Zahl mesophiler und thermophiler Schimmelpilze dienten Nährböden mit mindestens 5 und höchstens 150 Kolonien. Die auf den auswertbaren Platten durch Zählung festgestellten Koloniezahlen wurden unter Berücksichtigung der Verdünnung und der auf die Nährböden aufgetragenen Teilmenge von Keimlösung in Keimkonzentrationen, bezogen auf das jeweilige Probenvolumen der Luft, berechnet. Diese Werte wurden mittels Dreisatz auf einen Kubikmeter Luft (1 m^3) bezogen, so dass die Endergebnisse in koloniebildenden Einheiten (KBE) pro Kubikmeter (KBE/m^3) angegeben wurden. Dabei wurde aus den Ergebnissen der zwei gleichzeitig an einem Messort entnommenen Proben bei den Messungen mittels des Impingementverfahrens das arithmetische Mittel berechnet.

Zur Untersuchung der Impinger- und PC-Filter-Proben auf aerobe und anaerobe Sporenbildner (*Bacillus* spec., *Clostridium* spec.) im IM wurden je 0,1 ml pro zu

untersuchende Probe auf die vier der in Tabelle Anhang 2 angegebenen Nährböden aufgetragen und mittels Drigalski-Spatel gleichmäßig verteilt.
Die Nährböden wurden unter den in Tabelle Anhang 2 angegebenen Bedingungen bebrütet. Dabei wurden für die anaerobe Bebrütung Anaerobiertöpfe verwendet, in denen mit Hilfe von Kohlendioxidentwicklern anaerobe Bedingungen geschaffen wurden.
Parallel wurden zur Sporenselektion pro zu untersuchende Probe je 0,1 ml in eine Leberbouillon verbracht und für zehn Minuten im Wasserbad bei 80°C erhitzt. Nach Schockkühlung unter kaltem, fließenden Wasser wurde pro angesetzte Leberbouillon je eine Oese Probenmaterial auf Schaedler-Agar sowie auf Clostridien-Selektivagar (CSA) aufgetragen. Diese Nährböden wurden zusammen mit den Leberbouillons bei 35°C bis 37°C für 48 Stunden unter anaeroben Bedingungen in Anaerobiertöpfen bebrütet. Nach 48 Stunden wurde aus den Leberbouillons je eine Oese auf je einen weiteren CSA aufgetragen. Diese wiederholte Auftragung von Probenmaterial aus den Leberbouillons nach deren Bebrütung auf CSA wurde durchgeführt, um die in den Leberbouillons während der Bebrütung aufgekeimten und vermehrten Sporen, die zuvor nicht erfasst wurden, nachweisen zu können.

Bacillus spec. als aerobe Sporenbildner und fakultative Anaerobier sind auf dem aerob bebrüteten SSSA, auf dem grampositive Bakterien bevorzugt wachsen, gut zu kultivieren. Sie zeigen jeweils auf dem Schaedler-Agar und CSA nur ein schlechtes Wachstum. *Clostridium* spec. als anaerobe Sporenbildner und obligate Anaerobier wachsen hingegen auf diesen anaerob bebrüteten Nährböden gut, sind jedoch auf dem aerob bebrüteten SSSA nicht kultivierbar. Für die aerobe Kontrolle wurde Columbia-Agar mit 5% Schafblut eingesetzt, auf dem *Bacillus* spec., nicht jedoch *Clostridium* spec. kultiviert werden können. Das Wachstumsverhalten von *Bacillus* spec. und *Clostridium* spec. auf den verwendeten Nährböden ist in Tabelle Anhang 3 zusammengefasst.

Verdächtige Kolonien wurden nach Gram gefärbt und mikroskopisch untersucht. Beim Nachweis von grampositiven bis gramlabilen Stäbchen sowie abhängig von der aeroben Kontrolle konnte eine aufgrund der Koloniemorphologie gestellte Verdachtsdiagnose bestätigt werden.

b) Untersuchungen der GF-Filter-Proben

Der Staubgehalt wurde durch Wiegen der GF-Filter vor und nach den Messungen bestimmt. Ausgehend vom jeweiligen Probenvolumen wurde die auf diese Weise ermittelte Staubmenge pro Filter mittels Dreisatz auf einen Kubikmeter (1 m³) umgerechnet, so dass die Ergebnisse in Milligramm pro Kubikmeter (mg/m³) angegeben wurden.

Zur Bestimmung der Endotoxin-Konzentration wurde der chromogen-kinetische Limulus-Amöbozyten-Lysat-Test in Form von kommerziell erhältlichen Testkits entsprechend der Gebrauchsanweisung angewandt. Die GF-Filter wurden jeweils in einem Fläschchen mit 10 ml pyrogenfreiem Wasser versetzt und für eine Stunde bei Zimmertemperatur auf einem Horizontalschüttler geschüttelt. Ausgehend von dem Überstand wurde unter Verwendung von pyrogenfreiem Wasser eine dezimale Verdünnungsreihe angelegt. Die Probenlösungen sowie deren Verdünnungsstufen wurden auf eine Mikrotiterplatte aufgetragen und mit LAL-Reagenz versetzt. Endotoxine führen dabei zur Aktivierung eines Enzyms, das p-Nitroanilin von dem farblosen Substrat spaltet, so dass ein gelber Farbstoff entsteht. Im Photometer fand eine regelmäßige Messung der Farbstoffintensität statt, während die Mikrotiterplatte für eine Minute auf dem im Gerät integrierten Horizontalschüttler geschüttelt wurde. Dabei verhält sich die Zeit bis zur Bildung einer definierten Farbstoffintensität umgekehrt proportional zur Endotoxinkonzentration in den jeweils untersuchten Probenlösungen. Die Endotoxinkonzentration je Probe (Filter) und Probenvolumen wurde anhand einer Standardkurve in Endotoxin Units (EU) ermittelt. Diese Werte wurden mit Hilfe des Dreisatzes auf einen Kubikmeter (1 m³) umgerechnet, so dass die Endergebnisse in Endotoxin Units (EU) pro Kubikmeter (EU/m³) angegeben wurden.

Begleitmessungen und -untersuchungen

Da neben den Mietentemperaturen auch die Umgebungstemperatur sowie die relative Luftfeuchtigkeit im Stall und außerhalb während des ersten und zweiten Versuchs täglich morgens und abends ermittelt wurden, fand keine gesonderte Messung dieser Werte während der Untersuchungen zum Arbeitsschutz statt. Die Arbeitsschutzmessungen am Vortag wurden jeweils abends, die am Tag des Mietenauf- bzw. -abbaus morgens durchgeführt. Die Werte für die Umgebungstemperatur und die Luftfeuchtigeit waren dementsprechend zuzuordnen. An den beiden Messorten außerhalb des Stalles (im ersten Versuch) wurde zudem mit einem Anemometer die Windstärke bestimmt, die Richtung des Windes wurde jeweils beschrieben.

Die Konzentration von Ammoniak (NH_3) und Kohlendioxid (CO_2) in der Luft wurde im ersten Versuch während des Mietenabbaus (30. Tag) sowie einen Tag davor (29. Tag) vom ITTN im Rahmen der Messungen zum Arbeitsschutz bestimmt. Am 29. Tag wurden die Konzentrationen beider Gase außerhalb wie innerhalb des Stalles an der Längsseite der Miete ermittelt. Die Messorte entsprachen jeweils denen der Messungen mittels Impingement und Filtrationsverfahren. Während des Mietenabbaus am 30. Tag erfolgten zusätzlich Messungen direkt an der Miete. Im zweiten Versuch wurde die Konzentration von Ammoniak und Kohlendioxid in der Stallluft an den zwei Messorten im Stall, an der Längs- und Breitseite der Miete, jeweils nach den Temperaturmessungen morgens um 10 Uhr und abends um 18 Uhr regelmäßig gemessen. Zudem wurde die Konzentration von Ammoniak auf dem nur mit Stroh abgedeckten Mietenteil ab dem 8. Tag, die Kohlendioxid-Konzentration ab dem 13. Tag nach dem Aufbau der Miete einmal täglich bestimmt. Zusätzlich wurde die Konzentration von Schwefelwasserstoff (H_2S) auf dem mit Stroh abgedeckten Teil der Miete sowie an den beiden Messorten zu den Seiten des Komposthaufens einmal wöchentlich festgestellt. Die Messungen erfolgten jeweils mit einer Einhand-Gasspürpumpe sowie den entsprechenden Gasprüfröhrchen. Die Gasprüfröhrchen sind mit einem Sorptionsmittel und einem Indikator befüllt. Die Reaktion des zu messenden Gases mit dem Sorptionsmittel führt zu einer pH-Wert-Änderung, die durch den Indikator farblich angezeigt wird (GRIMM, 2001). Mit Hilfe einer auf den Röhrchen abgebildeten Skala kann die Momentankonzentration des jeweiligen Gases direkt abgelesen werden.

9.2 Berechnungsformeln

9.2.1 Volumenberechnung der Miete

Da der Komposthaufen einen Pyramidenstumpf darstellte, wurde folgende Formel zur Volumenberechnung herangezogen:

$$V = \frac{h}{3}\left(G1 + \sqrt{G1 * G2} + G2\right)$$

V = Volumen
h = Höhe
G1 = Grundfläche (G1 = a*b)
G2 = Deckfläche (G2 = c*d)

$$V = \frac{1{,}2}{3}\left(68 + \sqrt{68 * 57{,}75} + 57{,}75\right) = 75{,}4\,m^3$$

Bei einer Grundfläche (G1) von 17 m Länge und 4 m Breite (68 m²), einer in ihrer Größe geschätzten Deckfläche (G2) von 16,5 m Länge und 3,5 m Breite (57,75 m²) und einer Höhe von 1,2 m betrug das Volumen der aufzubauenden Miete insgesamt ca. 75,4 m³.

9.2.2 Materialberechnungen für den zweiten Kompostierungsversuch (Strohballen, Folien)

Im zweiten Kompostierungsversuch wurden zusätzlich Strohballen und verschiedene Folien insbesondere zur Abdeckung der einen Mietenhälfte verwendet. Im Folgenden wird die Berechnung dieser zusätzlichen Materialien beschrieben.

Berechnung der Anzahl der Strohballen

Zur Reduktion der Wärmeabgabe an den Betonboden wurde die Miete vollständig auf Strohballen aufgebaut.

Ein HD-Strohballen von 0,35 m Höhe war 1 m lang und 0,5 m breit. Er nahm folglich eine Fläche von 0,5 m² ein. Die Zahl der Strohballen war daher wie folgt zu berechnen:

$$\frac{MF}{0{,}5m^2} = \text{Zahl der Strohballen}$$

mit MF = Fläche der geplanten Miete (in m²).

Zusätzlich wurden zur Unterstützung und Befestigung an den Seiten ca. 10 weitere Strohballen eingeplant.

Berechnung der Foliengrößen (Siloplanen, Dampfbremsfolie)

Es wurden insgesamt drei Folien, zwei Siloplanen und eine Dampfbremsfolie, beim Mietenaufbau verwendet. Das Strohballenpolster wurde über die gesamte Länge der Miete mit Siloplane abgedeckt. Die zwei anderen Folien wurden nur in der zuerst aufgebauten Mietenhälfte verwendet. Bei diesem ersten Mietenteil, der mit der zweiten Siloplane in 1,85 m Höhe abschließend abgedeckt wurde, erfolgte der Einbau der Dampfbremsfolie in 1,55 m Mietenhöhe.

Die Foliengrößen wurden jeweils unter Berücksichtigung des abzudeckenden Mietenteils und ihrer Einbauhöhe in der insgesamt 1,85 m hohen Miete mit einer Grundfläche von 17 m Länge und 4 m Breite und einer geschätzten Deckfläche von 16,5 m Länge und 3,5 m Breite berechnet. Die Ergebnisse wurden bei den folgenden Berechnungen auf eine Stelle hinter dem Komma nach den mathematischen Rundungsregeln auf- bzw. abgerundet.

<u>Siloplane zur Abdeckung des Strohballenpolsters:</u>

Das Strohballenpolster mit einer Höhe von 0,35 m stellte entsprechend der Mietenfläche einen Quader von 17 m Länge und 4 m Breite dar. Die zur Abdeckung notwendige Folienlänge und –breite wurde nach den folgenden Formeln berechnet:

$$FL = L_{SBP} + 2 * h_{SBP} + 2x$$

FL = Folienlänge (m)

L_{SBP} = Länge des Strohballenpolsters (m) = 17 m

h_{SBP} = Höhe des Strohballenpolsters (m) = 0,35 m

x = Überstand der Folie zur Breitseite der Miete (m) = 0,5 m

$$FL = 17m + 2 * 0{,}35m + 2 * 0{,}5m = 18{,}7m$$

$$FB = B_{SBP} + 2 * h_{SBP} + 2x$$

FB = Folienbreite (m)

B_{SBP} = Breite des Strohballenpolsters (m) = 4 m

h_{SBP} = Höhe des Strohballenpolsters (m) = 0,35 m

x = Überstand der Folie zur Längsseite der Miete (m) = 1 m

$$FB = 4m + 2 * 0{,}35m + 2 * 1m = 6{,}7m$$

Weil diese Siloplane sowohl auf der Breit- als auch auf der Längsseite der Miete zur Befestigung überstehen sollte, wurde zur Länge und Breite der zweifache Überstand x hinzugerechnet. Dabei stellte x den Überstand der Folie zu einer Mietenseite dar. Da im Stall jeweils zur Längsseite der Miete mehr Platz als zu deren Breitseite (→ Stallwand) vorhanden war, wurde für die Folie zu ihrer ausreichenden Befestigung mittels Autoreifen bei der Breite ein doppelt so großer Folienüberstand von x = 1 m im Vergleich zur Länge (x = 0,5 m) berechnet.
Für die Silofolie zur Abdeckung des Strohballenpolsters wurde insgesamt eine Größe von 18,7 m Länge und 6,7 m Breite (125,3 m²) berechnet.

<u>zusätzliche Folien beim Mietenaufbau:</u>

Die Dampfbremsfolie sowie eine weitere Siloplane wurden nur bei der zuerst aufgebauten Mietenhälfte verwendet. Dieser Mietenteil hatte ausgehend von den Maßen für die geplante Gesamtmiete eine Grundfläche von 8,5 m Länge und 4 m Breite und eine geschätzte Deckfläche von 8,25 m Länge und 3,5 m Breite.

Die Einbauhöhe der Folien im Kompostmaterial über dem Strohballenpolster wurde bestimmt. Von der geplanten Einbauhöhe der jeweiligen Folie in der Miete insgesamt wurde die Höhe des Strohballenpolsters subtrahiert:

$$E_{KM} = EF_{Miete} - h_{SBP}$$

E_{KM} = Einbauhöhe der Folie im Kompostmaterial (Pyramidenstumpf)

EF_{Miete} = Einbauhöhe der Folie in der Miete insgesamt (mit Strohballenpolster) in m

h_{SBP} = Höhe des Strohballenpolsters (m) = 0,35 m

Die Dampfbremsfolie wurde in 1,2 m Höhe des Kompostmaterials eingebaut, während die Silofolie das Mietenmaterial in 1,5 m Höhe abdeckte.

Dampfbremsfolie: E_{KM} = 1,55 m - 0,35 m = 1,2 m

Silofolie: E_{KM} = 1,85 m - 0,35 m = 1,5 m

Weil das Mietenmaterial auf das Strohballenpolster in Form eines Pyramidenstumpfes aufgetragen wurde, war bei der Dampfbremsfolie in 1,55 m Mietenhöhe eine größere Deckfläche als bei der Silofolie in 1,85 m Mietenhöhe bei der Berechnung zu berücksichtigen.
Da die Silofolie das Mietenmaterial abschließend abdeckte, entsprach die bei der Berechnung der Foliengröße einzukalkulierende Deckfläche der o. a. Deckfläche der Mietenhälfte von 8,25 m Länge und 3,5 m Breite. Die bei der Berechnung der Größe der Dampfbremsfolie zu beachtende Mietendeckfläche in 1,2 m Höhe des Kompostmaterials (E_{KM}) bzw. in 1,55 m Mietenhöhe wurde hingegen mit Hilfe des zweiten Strahlensatzes bestimmt. Unter Berücksichtigung der einzelnen Schichthöhen in der Miete und basierend auf der Grund- (8,5 m Länge, 4 m Breite) und Deckfläche der Mietenhälfte (8,25 m Länge, 3,5 m Breite) war diese Fläche 8,3 m lang und 3,6 m breit.
Die Folienlänge und -breite wurde anschließend nach den folgenden Formeln bestimmt:

<u>Folienlänge:</u>

$$FL = LD + 2 * \sqrt{E_{KM}^2 + [(LG - LD) \div 2]^2} + h_{SBP} + 2x$$

FL = Folienlänge (in m)

LD = Länge der Deckfläche der Miete (m)

LG = Länge der Grundfläche der Miete (m)

E_{KM} = Einbauhöhe der Folie in das Kompostmaterial (Pyramidenstumpf) in m

h_{SBP} = Höhe des Strohballenpolsters (m) = 0,35 m

x = Überstand der Folie zu jeder Breitseite der Miete (m) = 0,5 m

Folienbreite:

$$FB = BD + 2 * \sqrt{E_{KM}^2 + [(BG - BD) \div 2]^2} + 2 * h_{SBP} + 2x$$

FB = Folienbreite (m)

BD = Breite der Deckfläche der Miete (m)

BG = Breite der Grundfläche (m)

E_{KM} = Einbauhöhe der Folie in das Kompostmaterial (Pyramidenstumpf) in m

h_{SBP} = Höhe des Strohballenpolsters (m) = 0,35 m

x = Überstand der Folie zu jeder Längsseite der Miete (m) = 1 m

Zu der Größe der Folie, die in der jeweiligen Einbauhöhe der Folie zur Abdeckung des Mietenmaterials über dem Strohballenpolster erforderlich war, wurde der zweifache Folienüberstand x addiert. Wie bei der Silofolie zur Abdeckung des Strohballenpolsters wurde auch bei diesen nur in der einen Mietenhälfte verwendeten Folien aufgrund der beschriebenen Platzverhältnisse im Stall bei der Breite ein doppelt so großer Überstand von x = 1 m im Vergleich zur Länge (x = 0,5 m) berücksichtigt. Dabei wurde der zur zweiten Komposthaufenhälfte ausgebreitete Folienüberstand durch das Material dieses anderen Mietenteils befestigt. Unbeachtet des Folienüberstands x zu jeder Seite der Miete sollte jede Folie bis zum Stallboden reichen. Daher wurde bei der Berechnung der Folienbreite die zweifache Höhe des Strohballenpolsters addiert. Bei der Berechnung der Folienlänge war zu beachten, dass an der zur anderen, mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte weisenden Seite die Folie aufgrund des darunterliegenden Strohballenpolsters nicht bis zum Stallboden reichen konnte. Infolgedessen wurde zur Länge nur die einfache Höhe des Strohballenpolsters hinzugerechnet.

Für die Dampfbremsfolie wurden eine Länge von 12,1 m und eine Breite von 8,7 m bestimmt (105,3 m²).

$$FL = 8{,}3 + 2 * \sqrt{1{,}2^2 + [(8{,}5 - 8{,}3) \div 2]^2} + 0{,}35 + 2 * 0{,}5 = 12{,}1\text{m}$$

$$FB = 3{,}6 + 2 * \sqrt{1{,}2^2 + [(4 - 3{,}6) \div 2]^2} + 2 * 0{,}35 + 2 * 1 = 8{,}7\text{m}$$

Da die Dampfbremsfolie nur in 4 m Breite lieferbar war, wurden entsprechend der ermittelten Breite mehrere Folienstücke mittels eines Hochleistungsbands miteinander verklebt.

Zur Abdeckung der Mietenhälfte in 1,5 m Höhe des Kompostmaterials war eine Silofolie von 12,6 m Länge und 9,2 m Breite (115,9 m²) erforderlich.

$$FL = 8{,}25 + 2 * \sqrt{1{,}5^2 + [(8{,}5 - 8{,}25) \div 2]^2} + 0{,}35 + 2 * 0{,}5 = 12{,}6\text{m}$$

$$FB = 3{,}5 + 2 * \sqrt{1{,}5^2 + [(4 - 3{,}5) \div 2]^2} + 2 * 0{,}35 + 2 * 1 = 9{,}2\text{m}$$

9.2.3 Berechnung der Wassermenge zur Bewässerung der Miete

Die nur mit Stroh abgedeckte Mietenhälfte wurde während des zweiten Kompostierungsversuchs bewässert. Dabei sollte das Mietenmaterial auf einen Zielfeuchtigkeitsgehalt von 65% nach vorangegangener Untersuchung des Wassergehalts an den vier Messorten eingestellt werden.
Bei der Herleitung der Formel zur Berechnung der dazu notwendigen Wassermenge wurde zunächst der Wassergehalt, der sich aus dem Feuchtigkeitsgehalt der Probe (Variable x) und dem Wasserzusatz (Variable y) zusammensetzt, zur Gesamtmasse (Gesamtwasser + Trockenmasse) ins Verhältnis gesetzt (Dr. Brit Zierenberg, LAVES, persönliche Mitteilung). Daraus ergibt sich:

$$y = [(0{,}65 - x)/0{,}35] * 1000$$

x = Wassergehalt
y = Wasserzusatz (in g)
0,65 = Zielfeuchtigkeitsgehalt des Mietenmaterials

Ausgang der Berechnung sind 1000 g Kompost, die auf einen Feuchtigkeitsgehalt von 65% hin befeuchtet werden sollen.

Als Beispiel wird im Folgenden die Wassermenge bei einem durchschnittlichen Feuchtigkeitsgehalt von 43% im Mietenmaterial berechnet:

y = [(0,65-0,43)/0,35]*1000 = 629 g Wasser

629 ml Wasser müssen pro Kilogramm Kompost zugefügt werden.

1059 g Wasser (430 g + 629 g Wasserzusatz) machen einen Anteil von 65% an der Gesamtmasse von 1629 g (1000 g Kompost + 629 g Wasserzusatz) aus (Rechenprobe).

Die Wassermenge von 0,63 l ist zur Berechnung der Wassergesamtmenge mit der Masse des zum Aufbau dieser Mietenhälfte verwendeten Einstreumaterials zu multiplizieren (im Falle der mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte mit 17,18 t bzw. 17180 kg).

9.3 Tabellen

Tabelle Anhang 1: Erster und zweiter Kompostierungsversuch - Zur Untersuchung der Impinger- und PC-Filter-Proben im Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie (Tierärztliche Hochschule Hannover) verwendete Nährböden und deren Bebrütungstemperatur und -dauer in Abhängigkeit von den untersuchten Mikroorganismen.

untersuchter Parameter	Nährboden	Bebrütungstemperatur, -dauer
Lebendkeimzahl	Blutagarbasis	36°C, 24 Stunden
Staphylokokken	Mannit-Kochsalz-Agar	36°C, 24 Stunden
Thermophile Aktinomyceten	AC-Agar	50°C, 72 Stunden
mesophile Schimmelpilze	DG18-Agar	25°C, 48 bis 72 Stunden
Thermophile Schimmelpilze	DG18-Agar	36°C, 48 bis 72 Stunden
Salmonellen (nur im ersten Versuch)	Salmonellen-Agar nach Önöz	36°C, 24 Stunden

Tabelle Anhang 2: Erster und zweiter Kompostierungsversuch - Im Institut für Mikrobiologie (Tierärztliche Hochschule Hannover) zum Nachweis von aeroben und anaeroben Sporenbildnern verwendete Nährböden und deren Bebrütungsanforderungen.

Nährboden	Bebrütung
Blutagar (Columbia-Agar mit 5% Schafblut)	aerobe Bebrütung bei 37°C für 48 Stunden
Staphylokokken-Streptokokken-Selektivagar (SSSA)	
Schaedler-Agar	anaerobe Bebrütung (in Anaerobiertöpfen) bei 37°C für 48 Stunden
Clostridien-Selektivagar (CSA)	

Tabelle Anhang 3: Wachstumsverhalten von *Bacillus* spec. und *Clostridium* spec. auf den im Institut für Mikrobiologie (Tierärztliche Hochschule Hannover) zur Untersuchung der Impinger- und PC-Filter-Proben (erster und zweiter Kompostierungsversuch) verwendeten Nährböden.

Nährboden	*Bacillus* spec.	*Clostridium* spec.
Columbia-Agar mit 5% Schafblut (aerobe Kontrolle)	+ [1]	- [2]
Staphylokokken-Streptokokken-Selektivagar (SSSA)	+	-
Schaedler-Agar	+/- [3]	+
Clostridien-Selektivagar (CSA)	+/-	+

[1] „+“ = gutes Wachstum
[2] „-“ = kein Wachstum
[3] „+/-“= schlechtes Wachstum

Tabelle Anhang 4: Formeln zur Berechnung der Mietenlänge und des Einstreubedarfs nach TABLANTE et al. (2002) zur Planung der Miete im ersten Kompostierungsversuch (dargestellt in US-amerikanischen und umgerechnet in metrische Einheiten).

Formelgröße	nach TABLANTE et al. (2002) in US-amerikanischen Einheiten	umgerechnet in metrische Einheiten
Mietenlänge	$WRL2 = \left(Y/225\right) * BW$	$ML = \left(Y/335\right) * KG$
Einstreuvolumen	$CV2 = 22{,}5 * WRL2$	$V_{gesamt} = 2{,}1 * ML$

WRL2 = Länge der Miete bei einer Breite von 12 Fuß und einer Höhe von 4 Fuß
Y = Anzahl der zu kompostierenden Geflügelkadaver
225 = Gewicht von Tieren (in Pfund), die pro Fuß Mietenlänge kompostiert werden können (konstant)
BW = Gewicht eines Tieres (in Pfund)
ML = Länge der Miete bei einer vorgegebenen Breite von 3,66 m und einer Höhe von 1,2 m
335 = Gewicht von Tieren (in Kilogramm), die pro Meter Mietenlänge kompostiert werden können (konstant)
KG = Gewicht eines Tieres (in Kilogramm)
CV2 = Volumen des benötigten Einstreu-Sägemehl-Gemisches (in Kubikfuß)
22,5 = Einstreu-Sägemehl-Gemisch (in Kubikfuß) pro Fuß Mietenlänge (konstant)
V_{gesamt} = Volumen des Einstreu-Sägemehl-Gemisches (in Kubikmetern)
2,1 = Einstreu-Sägemehl-Gemisch (in Kubikmetern) pro Meter Mietenlänge [m³/m] (konstant)

Tabelle Anhang 5: Dichteberechnung von vier verschiedengewichtigen Puten und die daraus jeweils berechneten Volumina des Gesamtgewichtes der im ersten Kompostierungsversuch kompostierten Tierkadaver.

	Pute 1	**Pute 2**	**Pute 3**	**Pute 4**
Gewicht (in kg)	10	12	18	22
Wasserstandshöhe vor dem Eintauchen (in m)	0,255	0,26	0,25	0,265
Wasservolumen vor dem Eintauchen (in m³)	0,0714	0,0728	0,07	0,0742
Wasserstandshöhe nach dem Eintauchen (in m)	0,295	0,305	0,33	0,355
Wasservolumen nach dem Eintauchen (in m³)	0,0826	0,0854	0,0924	0,0994
Differenz der Wasservolumina vor und nach dem Eintauchen (in m³)	0,0112	0,0126	0,0224	0,0252
Dichte ρ (in kg/m³)	$\rho = \frac{10kg}{0{,}0112m^3}$ = 892,86 kg/m^3	$\rho = \frac{12kg}{0{,}0126m^3}$ = 952,38 kg/m^3	$\rho = \frac{18kg}{0{,}0224m^2}$ = 803,57 kg/m^3	$\rho = \frac{22kg}{0{,}0252m^2}$ = 873,02 kg/m^3
berechnetes Volumen der 5,688t Putenkadaver im ersten Versuch (in m³)	6,37	5,97	7,08	6,52

Tabelle Anhang 6: Einzeltemperaturen in °C bei den zwei täglichen Messungen an den vier Messorten der zuerst aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch zu den zwei täglichen Messzeiten um 10 Uhr und 18 Uhr.

Von den durch Messsonden kontinuierlich gemessenen und über Datenlogger gespeicherten Temperaturen wurden die Werte jeweils um 10 Uhr sowie um 18 Uhr zum besseren Vergleich mit der anderen Mietenhälfte (manuelle Messung) zur Auswertung herangezogen. Am 1. Tag wurde aufgrund des Aufbaus, am 30. Tag aufgrund des Abbaus der Miete nur eine Messung berücksichtigt.

Versuchstag	oben zentral		oben peripher		unten zentral		unten peripher	
	10 Uhr	18 Uhr	10 Uhr	18 Uhr	10 Uhr	18 Uhr	10 Uhr	18 Uhr
1.	-	38,6	-	32,2	-	31,5	-	32,7
2.	38,1	39	35,8	37,7	32,4	33,2	32,7	32,9
3.	42,1	43,5	41,3	42,7	33,8	34	33,6	34
4.	45,9	47	45	46,1	34,6	34,7	34,9	35,4
5.	49	49,8	48	48,9	34,9	35	36	36,3
6.	51,3	52,1	50,5	51,3	35,2	35,2	36,7	36,9
7.	52,9	53,3	51,3	52	35,3	35,4	37,3	37,4
8.	53,9	54	53	53,2	35,5	35,5	37,7	37,8
9.	54,4	54,5	53,8	54,1	35,6	35,7	38,1	38,3
10.	54,6	54,6	54,3	54,4	35,8	35,8	38,6	38,7
11.	54,6	54,6	54,5	54,5	35,9	36	39	39,1
12.	54,4	54,3	54,4	54,4	36	36,1	39,3	39,4
13.	54	38,4	54,1	35,5	36,1	40,5	39,6	45,2
14.	39,9	40,4	36,7	37,5	37,5	36,6	39,3	37,8
15.	41,3	41,6	39,1	39,8	35,2	34,7	35,7	35,1
16.	42,1	42,3	40,9	41,3	34,1	33,8	34,2	34
17.	42,7	42,9	42,1	42,4	33,4	33,3	33,6	33,5
18.	43,1	43,2	43,1	43,3	33	32,9	33,4	33,5
19.	43,3	43,5	43,9	44,1	32,8	32,8	33,5	33,5
20.	43,6	43,6	44,6	44,8	32,8	32,8	33,7	33,7
21.	43,6	43,6	44,8	45	32,8	32,9	33,8	33,9
22.	43,6	43,6	45,3	45,5	33	33	34,1	34,2
23.	43,7	43,7	45,9	46	33,1	33,2	34,5	34,6
24.	43,9	44	46,2	46,3	33,3	33,3	34,8	34,9
25.	44,3	44,4	46,6	46,7	33,4	33,4	35	35,1
26.	44,6	44,7	47	47,1	33,5	33,6	35,3	35,4
27.	45	45,1	47,2	47,3	33,7	33,7	35,6	35,6
28.	45,2	45,3	47,4	47,5	33,8	33,9	35,8	35,8
29.	45,4	45,6	47,6	47,6	33,9	34	36	36
30.	45,6	-	47,6	-	34,1	-	36,1	-

Tabelle Anhang 7: Tagesdurchschnittstemperaturen in °C (arithmetischer Mittelwert aus den zweimal pro Tag an jedem Messort erhobenen Einzeltemperaturen) an den vier Messorten der zuerst aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch.
Infolge des Auf- und Abbaus der Miete am 1. Tag bzw. 30. Tag wurde jeweils nur ein Wert berücksichtigt. Daher entspricht an diesem Tag die angegebene Temperatur dem Wert dieser einzelnen Messung.

Versuchstag	oben zentral	oben peripher	unten zentral	unten peripher
1.	38,6	32,2	31,5	32,7
2.	38,6	36,8	32,8	32,8
3.	42,8	42	33,9	33,8
4.	46,5	45,6	34,7	35,2
5.	49,4	48,5	35	36,2
6.	51,7	50,9	35,2	36,8
7.	53,1	51,7	35,4	37,4
8.	54	53,1	35,5	37,8
9.	54,5	54	35,7	38,2
10.	54,6	54,4	35,8	38,7
11.	54,6	54,5	36	39,1
12.	54,4	54,4	36,1	39,4
13.	46,2	44,8	38,3	42,4
14.	40,2	37,1	37,1	38,6
15.	41,5	39,5	35	35,4
16.	42,2	41,1	34	34,1
17.	42,8	42,3	33,4	33,6
18.	43,2	43,2	33	33,5
19.	43,4	44	32,8	33,5
20.	43,6	44,7	32,8	33,7
21.	43,6	44,9	32,9	33,9
22.	43,6	45,4	33	34,2
23.	43,7	46	33,2	34,6
24.	44	46,3	33,3	34,9
25.	44,4	46,7	33,4	35,1
26.	44,7	47,1	33,6	35,4
27.	45,1	47,3	33,7	35,6
28.	45,3	47,5	33,9	35,8
29.	45,5	47,6	34	36
30.	45,6	47,6	34,1	36,1

Tabelle Anhang 8: Maximaltemperaturen an den vier Messorten vor und nach der Umschichtung in der zuerst aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch.

	oberer Mietenbereich		unterer Mietenbereich	
	zentral	**peripher**	**zentral**	**peripher**
vor der Umschichtung	54,6°C (10. Tag)	54,5°C (11. Tag)	36,1°C (12. Tag)	39,6°C (13. Tag)
nach der Umschichtung	45,6°C (29. Tag)	47,6°C (29. Tag)	40,5°C (13. Tag)	45,2°C (13. Tag)

Tabelle Anhang 9: Minimaltemperaturen an den vier Messorten vor und nach der Umschichtung in der zuerst aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch.

	oberer Mietenbereich		unterer Mietenbereich	
	zentral	**peripher**	**zentral**	**peripher**
vor der Umschichtung	38,1°C (2. Tag)	32,2°C (1. Tag)	31,5°C (1. Tag)	32,7°C (1. Tag)
nach der Umschichtung	38,4°C (13. Tag)	35,5°C (13. Tag)	32,8°C (19. Tag)	33,4°C (18. Tag)

Tabelle Anhang 10: Einzeltemperaturen in °C an den vier Messorten der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch zu den zwei täglichen Messungen jeweils um 10 Uhr und 18 Uhr.

Die Temperaturen wurden manuell mittels Einstechsonde gemessen. Am 1., 13. und 30. Tag fand aufgrund des Aufbaus, der Umschichtung und des Abbaus der Miete jeweils nur eine Messung statt.

Versuchstag	oben zentral		oben peripher		unten zentral		unten peripher	
	10 Uhr	18 Uhr	10 Uhr	18 Uhr	10 Uhr	18 Uhr	10 Uhr	18 Uhr
1.	-	35,9	-	31,5	-	27,7	-	29,7
2.	33,3	33,1	31,5	32,4	28,2	27,1	28,1	28,7
3.	40,5	42,3	35,9	40,2	29,7	30	27,9	28,7
4.	43,7	44,6	42,3	43	29,9	31,1	33,3	28,6
5.	46,6	47,2	45	46,8	29,2	31	27,7	27,1
6.	47,5	47,8	46,8	46,3	31,1	32,9	30,1	32
7.	49,3	48,7	47,5	46,7	32	31,5	31	30,1
8.	49,9	48,8	49	47,2	31,5	31,5	26,6	28,6
9.	48,8	48,3	47,2	46,9	32	32,3	30,6	31,5
10.	49	47,9	46,6	46,9	31,1	30,6	29,1	27,6
11.	48,4	48,1	46,6	47,2	32	31,1	28,7	30,6
12.	47,8	48,5	46,9	47,2	30,1	31,1	29,2	30,6
13.	-	37,1	-	35,6	-	39,4	-	35,1
14.	38,3	39,9	35,1	36,3	32,4	33,8	31,6	31,1
15.	42,3	44	39,1	39,5	34,2	37,1	32,4	33,3
16.	45,9	47,5	40,9	41,9	35,5	33,3	32,1	32,4
17.	48,5	47,6	42,1	43,4	33,3	32,5	32,4	32
18.	49,6	49,7	43,4	43,6	32,9	32,8	31,9	31,8
19.	49,9	50,2	43,8	45,6	32,7	32,5	31,9	32
20.	52,2	51,3	46,2	45,9	32,9	32,9	32,4	32,4
21.	51,6	51,9	46	46,5	32	33,1	31,6	32,9
22.	53,3	53,8	47,5	47,5	31,5	31,1	31,5	31,5
23.	54,1	54,6	48,1	48,1	30,1	30,5	31	31
24.	54,9	54,6	49,4	49,3	32	30,1	32,4	33,7
25.	54,6	54,1	48,7	47,9	31,9	32	32,4	34,2
26.	54,6	54,3	49,1	49,6	31,1	30,6	32,9	32,9
27.	53,5	54,1	49,1	49,9	29,7	30,6	32,4	32,9
28.	54,3	54,1	49,8	49,9	30,5	30,2	32,5	32,9
29.	54,4	54,1	49,9	45,4	30,2	32,5	32,5	32,4
30.	53,8	-	49,1	-	31,5	-	33,3	-

Tabelle Anhang 11: Tagesdurchschnittstemperaturen in °C (arithmetischer Mittelwert aus den zweimal pro Tag an jedem Messort erhobenen Einzeltemperaturen) an den vier Messorten der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch.
Beim Auf- und Abbau der Miete (1. und 30. Tag) sowie bei der Umschichtung der Miete (13. Tag) fand jeweils nur eine Messung statt. Daher entspricht an diesem Tag die angegebene Temperatur dem Wert dieser einzelnen Messung.

Versuchstag	oben zentral	oben peripher	unten zentral	unten peripher
1.	35,9	31,5	27,7	29,7
2.	33,2	32	27,7	28,4
3.	41,4	38,1	29,9	28,3
4.	44,2	42,7	30,5	31
5.	46,9	45,9	30,1	27,4
6.	47,7	46,6	32	31,1
7.	49	47,1	31,8	30,6
8.	49,4	48,1	31,5	27,6
9.	48,6	47,1	32,2	31,1
10.	48,5	46,8	30,9	28,4
11.	48,3	46,9	31,6	29,7
12.	48,2	47,1	30,6	29,9
13.	37,1	35,6	39,4	35,1
14.	39,1	35,7	33,1	31,4
15.	43,2	39,3	35,7	32,9
16.	46,7	41,4	34,4	32,3
17.	48,1	42,8	32,9	32,2
18.	49,7	43,5	32,9	31,9
19.	50,1	44,7	32,6	32
20.	51,8	46,1	32,9	32,4
21.	51,8	46,3	32,6	32,3
22.	53,6	47,5	31,3	31,5
23.	54,4	48,1	30,3	31
24.	54,8	49,4	31,1	33,1
25.	54,4	48,3	32	33,3
26.	54,5	49,4	30,9	32,9
27.	53,8	49,5	30,2	32,7
28.	54,2	49,9	30,4	32,7
29.	54,3	47,7	31,4	32,5
30.	53,8	49,1	31,5	33,3

Tabelle Anhang 12: Maximaltemperaturen an den vier Messorten vor und nach der Umschichtung in der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch.

	oberer Mietenbereich		unterer Mietenbereich	
	zentral	**peripher**	**zentral**	**peripher**
vor der Umschichtung	49,9°C (8. Tag)	49,0°C (8. Tag)	32,9°C (6. Tag)	33,3°C (4. Tag)
nach der Umschichtung	54,9°C (24. Tag)	49,9°C (27. Tag)	39,4°C (13. Tag)	35,1°C (13. Tag)

Tabelle Anhang 13: Minimaltemperaturen an den vier Messorten vor und nach der Umschichtung in der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch.

	oberer Mietenbereich		unterer Mietenbereich	
	zentral	**peripher**	**zentral**	**peripher**
vor der Umschichtung	33,1°C (2. Tag)	31,5°C (1. Tag)	27,1°C (2. Tag)	26,6°C (8. Tag)
nach der Umschichtung	37,1°C (13. Tag)	35,1°C (14. Tag)	29,7°C (27. Tag)	31,0°C (23. Tag)

Tabelle Anhang 14: Feuchtigkeitsgehalt an den vier Messorten jeder Mietenhälfte am Tag der Umschichtung (13. Tag) sowie beim Mietenabbau (30. Tag) im ersten Kompostierungsversuch (Angaben in %).

Die Proben wurden bei diesem Versuch nur durch eine Untersuchungseinrichtung untersucht.

Feuchtigkeitsgehalt (in %)				
Messorte	**zuerst aufgebaute Mietenhälfte**		**zuletzt aufgebaute Mietenhälfte**	
	13. Tag (Umschichtung)	**30. Tag (Mietenabbau)**	**13. Tag (Umschichtung)**	**30. Tag (Mietenabbau)**
oben zentral	49,5	43,3	52,7	37,6
oben peripher	38,5	55	31	49,2
unten zentral	44,5	48,7	36,2	52,4
unten peripher	51,5	45,8	49,4	46

Tabelle Anhang 15: Lebendkeimzahl aerober Bakterien und Enterobakterien-Keimzahl (jeweils in KBE/g) an den vier Messorten der zuerst aufgebauten Mietenhälfte im Vergleich zur angelieferten und zum Mietenaufbau verwendeten Hähncheneinstreu auf Strohbasis bei der Umschichtung (13. Tag) sowie beim Mietenabbau (30. Tag) im ersten Kompostierungsversuch.

Tag der Probenentnahme	**Probe (bzw. Messort)**	**Lebendkeimzahl aerober Bakterien** (in KBE/g)	**Enterobakterien-Keimzahl** (in KBE/g)
1. Tag (Mietenaufbau)	Hähncheneinstreu (auf Strohbasis)	$9x10^9$	$6,9x10^6$
13. Tag (Umschichtung)	oben zentral	$2,7x10^7$	$<1x10^2$
	oben peripher	$5,1x10^7$	$<1x10^2$
	unten zentral	$1,5x10^7$	$<1x10^2$
	unten peripher	$5,7x10^6$	$4x10^3$
30. Tag (Mietenabbau)	oben zentral	$6,1x10^4$	$<1x10^2$
	oben peripher	$3,1x10^4$	$<1x10^2$
	unten zentral	$6,6x10^6$	$<1x10^2$
	unten peripher	$1,3x10^7$	$<1x10^2$

Tabelle Anhang 16: Lebendkeimzahl aerober Bakterien und Enterobakterien-Keimzahl (jeweils in KBE/g) an den vier Messorten der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte im Vergleich zur angelieferten und zum Mietenaufbau verwendeten Hähncheneinstreu auf Strohbasis bei der Umschichtung (13. Tag) sowie beim Mietenabbau (30. Tag) im ersten Kompostierungsversuch.

Tag der Probenentnahme	**Probe (bzw. Messort)**	**Lebendkeimzahl aerober Bakterien** (in KBE/g)	**Enterobakterien-Keimzahl** (in KBE/g)
1. Tag (Mietenaufbau)	Hähncheneinstreu (auf Strohbasis)	$9x10^9$	$6,9x10^6$
13. Tag (Umschichtung)	oben zentral	$1,3x10^6$	$<1x10^2$
	oben peripher	$1,3x10^6$	$<1x10^2$
	unten zentral	$4,4x10^5$	$<1x10^2$
	unten peripher	$3,6x10^6$	$<1x10^2$
30. Tag (Mietenabbau)	oben zentral	$2,3x10^5$	$<1x10^2$
	oben peripher	$2,0x10^6$	$<1x10^2$
	unten zentral	$2,1x10^5$	$<1x10^2$
	unten peripher	$7,8x10^4$	$<1x10^2$

Tabelle Anhang 17: Temperatur (in °C) und Luftfeuchtigkeit (in %) im Stall bei den zwei täglichen Messungen um 10 Uhr und um 18 Uhr während des ersten Kompostierungsversuchs. Beim Mietenauf- und -abbau (1. und 30. Tag) sowie bei der Umschichtung (13. Tag) erfolgte jeweils nur eine Messung an diesem Tag.

Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Stall				
Versuchstag	10 Uhr		18 Uhr	
	Temperatur (in °C)	Luftfeuchtigkeit (in %)	Temperatur (in °C)	Luftfeuchtigkeit (in %)
1.	-	-	16,8	71
2.	16,5	75,1	15,5	77,5
3.	17,4	76,9	19,8	76,1
4.	21,9	63,7	24,4	58,2
5.	26,3	48,2	28,6	37,7
6.	25,8	46,5	30,2	34,2
7.	26,1	52,2	28,8	47,2
8.	26,2	63,1	27,8	68,5
9.	24,7	73	23,4	75,2
10.	21,2	78,3	22,7	72,7
11.	20,5	81,7	22,7	72,1
12.	19,5	80,2	23,4	60,6
13.	-	-	23,5	62,6
14.	20,5	85,3	21,7	66,2
15.	22	65,1	23,2	56,3
16.	24,9	55,5	22,3	58,7
17.	20,1	59,7	22	50,9
18.	20,3	76,5	21,8	66,1
19.	22,3	73,1	19,9	72,4
20.	26,2	36,7	28,1	35,4
21.	23,4	60	26,5	44,1
22.	25,4	63,8	24,9	64,4
23.	23,8	65,2	28,1	51,5
24.	25,2	63,5	28,2	51,3
25.	31	38,1	23,3	70,2
26.	24,5	74,5	28,6	53
27.	23,9	69,7	25,3	59,1
28.	24,2	72,3	24,5	54,8
29.	21,8	79,7	25,9	51,2
30.	26,2	71,4	-	-

Tabelle Anhang 18: Temperatur (in °C) und Luftfeuchtigkeit (in %) außerhalb des Stalles bei den zwei täglichen Messungen um 10 Uhr und um 18 Uhr während des ersten Kompostierungsversuchs.
Beim Mietenauf- und -abbau (1. und 30. Tag) sowie bei der Umschichtung (13. Tag) erfolgte jeweils nur eine Messung an diesem Tag.

Temperatur und Luftfeuchtigkeit außerhalb des Stalles				
Versuchstag	**10 Uhr**		**18 Uhr**	
	Temperatur (in °C)	**Luftfeuchtigkeit** (in %)	**Temperatur** (in °C)	**Luftfeuchtigkeit** (in %)
1.	-	-	14,3	62,4
2.	15,5	67,9	13,4	82,4
3.	16,6	73,1	18,3	76,5
4.	22,1	59	24,5	54,6
5.	28,5	43,5	29	31,2
6.	26,5	34,8	31,6	26,8
7.	26,2	41,2	30,7	41,4
8.	26,5	56,1	28,1	63,6
9.	24,7	70,6	22,7	72,8
10.	21	71	19,7	74,9
11.	19,9	80	21,3	68,6
12.	19,4	80,9	24,1	56,3
13.	-	-	22,7	50,2
14.	20,2	87,5	21,4	60,6
15.	21,1	57	22,1	50,7
16.	22,7	56,2	20,7	63
17.	18,7	56,4	19,9	51
18.	19,6	72,2	19,6	60,4
19.	20,9	72,3	19,1	73,7
20.	26,5	33,6	27,6	33,3
21.	22,7	58,3	26,6	44
22.	25,2	62,3	25,6	63,2
23.	23,5	64,7	26,5	54,4
24.	23,8	67,2	27,5	52,6
25.	29,8	38,9	21,6	74,4
26.	24,5	70,4	28,4	50,7
27.	22,6	69,3	25,6	58,9
28.	23,8	70,2	24,3	52,4
29.	21,4	79,9	26,5	48,8
30.	26,2	60,3	-	-

Tabelle Anhang 19: Auflistung der während des ersten Kompostierungsversuchs angenommenen Rattenköderstationen in absteigender Reihenfolge der Gesamtmenge des gefressenen Ködergifts (in g Köder).

	Station Nr.	Gesamtmenge des verbrauchten Köders (30 Tage) in g
1.	2	96
2.	5	78
3.	7	62
4.	9	42
5.	17	37
6.	13	26
7.	8	20
8.	11	6

Tabelle Anhang 20: Auflistung der nach dem ersten Kompostierungsversuch angenommenen Rattenköderstationen in absteigender Reihenfolge der Gesamtmenge des gefressenen Ködergifts (in g Köder).

	Station Nr.	Gesamtmenge des verbrauchten Köders (238 Tage) in g
1.	9	696
2.	11	483
3.	14	440
4.	5	436
5.	2	419
6.	13	413
7.	6	412
8.	10	382
9.	12	376
10.	17	374
11.	3	373
12.	8	358
13.	1	124
14.	4	74

Tabelle Anhang 21: Detailliertes Arthropoden-Aufkommen im ersten Kompostierungsversuch.

Arthropoden (Gliederfüßer)	1. Woche				2. Woche				3. Woche				4. Woche				Anzahl
Fenster	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
Klasse: INSEKTEN (*INSECTA*)																	
Ordnung: Zweiflügler *(Diptera)*																	
a) Mücken (*Nematocera*)						1			5	1			1				8
Dungmücken (*Scatopsidae*)		11	80	36		1	20	5	6	3	52	18			5	3	240
Trauermücken (*Sciaridae*)	11	35	57	4	6	3	10	5	20	11	53	34	7	3	5	2	266
Gallmücken (*Cecidomyiidae*)	6	7	33	2	1	1	4	6	3	4	6	9	1		1		84
Stechmücken (*Culicidae*), u.a. Malariamücke (*Anopheles*)	2	2		1				1									6
Zuckmücken (*Chironomidae*)	1	2					1	1									5
Schmetterlingsmücken (*Psychodidae*)	9	2	24	13	2	7	27	19	9	13	26	34	7	5	6	5	208
Pfriemenmücken (*Anisopodidae*) => *Anisopus* spec.											2						2
Gnitzen/Bartmücken (*Ceratopogonidae*)		3			3		1		9	4	7		1		1		29
Pilzmücken (*Mycetophilidae*)											2						2
Gesamtanzahl MÜCKEN		**341**				**125**				**331**				**53**			**850**
b) Fliegen (*Brachycera*)	5																5
Echte Fliegen (*Muscidae*)				3			3										6
=> *Muscina* spec.										1							1
=> *Phaonia* spec.					1			2							2	1	6
=> große Stubenfliege (*Musca domestica*)	12	35	98	78	7	8	16	3	30	39	86	63	15	72	371	138	1071
=> Stallfliege (*Musca autumnalis*)											1						1
=> Güllefliege (*Ophyra aenescens*)	95	216	494	223	26	61	226	30	39	81	310	105	36	179	976	294	3391
=> Wadenstecher (*Stomoxys calcitrans*)	1		1	2													4
=> *Mydaeinae* (Unterfamilie)												1					1
Schwingfliegen (*Sepsidae*)	144	100	173	28	5	5	5	5	9	8	36	16			8	2	544
Buckelfliegen (*Phoridae*)	10	35	50	3	3	4	6	2	25	18	41	7	8	6	7	3	228
Schmeißfliegen (*Calliphoridae*)							1				4						5
=> *Lucilia* spec., z.B. Goldfliege (*Lucilia serrata*)	6	7	48	16	3	1	49	11	2		186	95	2	2	182	70	680
=> blaue Schmeißfliegen (*Calliphora* spec.)		1	1	1	1					2		1					7
Lanzenfliegen (*Lonchopteridae*)			1				1								1		3
Fanniidae																	
kleine Stubenfliege (*Fannia canicularis*)		7	72	3		1	6				8	1		1			99
Latrinenfliege (*Fannia scalaris*)		3	72	13	1	2	19	3	2		9	3	1		5		133
Bremsen (*Tabanidae*)	2	1	3	3					1	2	9	3					24
Feinfliegen (*Asteiidae*)			1														1
Raubfliegen (*Asiliidae*)			6								1						7
Tau- oder Essigfliegen (*Drosophilidae*)																	
=> *Drosophila* spec:	3	3	26	11	2		2				7	1		2	19		76
Drosophila busckii									4		29	9	6			2	50
Blumenfliegen (*Anthomyiidae*)	11	12	77	23			9				13	1			1		147
Tanzfliegen (*Empididae*)				3		2		2		7	3	5		1		1	24
Schwebfliegen (*Syrphidae*)	1			1	1				1		1	1	1				7
Langbeinfliegen (*Dolichopodidae*)	9	8		6	5	6	4	6	15	49	19	11	4	6	3	2	153
=> grüne Langbeinfliege (*Poecilobothrus nobilitatus*)					3												3
=> andere *Poecilobothrus* spec.											4						4
Scheufliegen (*Heleomyzidae*)				1													1
kleine Dungfliegen (*Sphaeroceridae*)																	
=> *Leptocera* spec.	207	454	651		50	68	256	22	844	411	1005	133	392	365	608	108	5574
Halmfliegen (*Cloropidae*)		1			1												2
Schnepfenfliegen (*Rhagonidae*)									1		3	2					6
Minierfliegen (*Agromyzidae*)										1		3					4
Gesamtanzahl FLIEGEN		**3581**				**956**				**3828**				**3903**			**12268**
Ordnung: Schmetterlinge *(Lepidoptera)*																	
Zünsler (*Pyralidae*)			1	1							1						3
=> Graszünsler (*Crambinae*; = Unterfamilie)							1										1
Faulholzmotten (*Oecophoridae*)																	
=> Samenmotte (*Hofmannophila pseudospretella*)		6	2		1												9
=> Kleistermotte (*Endrosis sarcitrella*)	3									1							4
Echte Motten (*Tineidae*)	5																5
=> Kornmotten (*Nemapogon* spec.)		1	3		1	1								2			8
=>Echte Kleidermotte (*Tineola bisselliella*)				1													1
=> Pelzmotte (*Tinea pellionella*)		4	3		1	1	1	1	11	8	2	3		1	1		37
Palpenmotten (*Gelechiidae*)											1						1
Gesamtanzahl SCHMETTERLINGE		**30**				**8**				**27**				**4**			**69**
Ordnung: Hautflügler *(Hymenoptera)*																	
Unterordnung: Taillenwespen (*Apocrita*)																	
a) *Terebrantes/Terebrantia* (Legebohrerwespen, parasitische Wespen)		10	125	17	4		16	8	17	8	29	23	4		9	8	278
=> Brackwespen (*Braconidae*)	1																1
=> Erzwespen (*Chalcididae*)	18	34	78	31	14	2	10	4	105	64	85	37	8	4	5	5	504
b) Stechimmen/Stachelwespen (*Aculeata*) => Grabwespen (*Sphecidae*)												1					1
Gesamtanzahl HAUTFLÜGLER		**314**				**58**				**369**				**43**			**784**

Arthropoden (Gliederfüßer)	1. Woche				2. Woche				3. Woche				4. Woche				Anzahl
Fenster	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
Ordnung: Käfer *(Coleoptera)*																	
Schimmelkäfer (*Cryptophagidae*)																	
=> *Atomaria* spec.		1	2		2	1	1	2					1		1		11
Zwergkäfer/Federflügler (*Ptiliidae*)			1								1	3				1	6
Schwammkugelkäfer (*Leiodidae*)			1		3				4		6						14
Sumpfkäfer (*Helodidae*)			2											1			3
Speckkäfer (*Dermestidae*)																	
=> Kabinett- oder Museumskäfer (*Anthrenus museorum*)			1														1
Buntkäfer (*Cleridae*)																	
=> rotbeiniger Schinkenkäfer (*Necrobia rufipes*)			1			1			5	2	1	1	4	1		1	17
Glanzkäfer (*Nitidulidae*)			1	1													2
Kurzdecken-, Kurzflügelkäfer (*Staphylinidae*)	114	163	139	25	38	47	32	13	210	70	58	19	11	9	7	3	958
Plattkäfer (*Cucujidae*)																	
=> tropischer Schimmelplattkäfer (*Ahasverus advena*)		1		2					1	1	2						7
=> rotbrauner Leistenkopfplattkäfer (*Cryptolestes ferrugineus*)									1	3	1	1					6
=> andere Leistenkopfplattkäfer (*Cryptolestes* spec.)	7	4	9	11													31
Punktkäfer (*Clambidae*)					1			2	3	6	2	3				1	18
Detrituskäfer (*Monotomidae*)																	
=> *Monotoma longicollis*	3																3
=> andere *Monotoma* spec.		4			1		1		5	7	1				1		20
Stutzkäfer (*Histeridae*)										2	1					1	4
Unterfamilie *Dendrophilinae*		1															1
Baumschwammkäfer (*Mycetophagidae*)																	
=> gelbbrauner behaarter Baumschwammkäfer (*Typhaea stercorea*)		7	12	1	4	3	7	4	6	2	6	5					57
Schnellkäfer (*Elateridae*)									1								1
Blütenmulmkäfer/Blütenkäfer (*Anthicidae*)	1		1						5								7
=> *Anthrenus* spec.								1									1
Nagekäfer (*Anobiidae*)																	
=> Brotkäfer (*Stegobium paniceum*)		1					1			1							3
=> gemeiner oder gewöhnlicher Nagekäfer (Holzwurm, *Anobium punctatum*)						1		2	1	1	1	1					7
Faulholzkäfer (*Orthoperidae* = *Corylophidae*)	4		11	1			1	1	2		5			1			26
Moderkäfer (*Latriidae*)									1								1
=> *Corticaria* spec.	13	4	10	7		1	2		7	1							45
=> *Latridius* spec.		3	2								1						6
=> *Aridius* (= *Coniomus*) *nodifer*			2			1											3
=> andere *Aridius* spec.					1				3						1		5
=> *Holoparamecus caularum*												1					1
Gesamtanzahl KÄFER	**574**				**175**				**471**				**45**				**1265**
Ordnung: Schnabelkerfe *(Hemiptera)* mit den folgenden Unterordnungen:																	
Spitzkopfzikaden (*Archaeorrhyncha* = *Fulgoromorpha*)		1	4	4					1						3		13
Pflanzenläuse (*Sternorrhyncha*)																	
=> Blattläuse (*Aphidina*)			2	5				5				11					23
Wanzen (*Heteroptera*)	4	1	2	1		1				3				1			13
=> Weichwanzen (*Miridae*)																	
Gesamtanzahl SCHNABELKERFE	**24**				**6**				**15**				**4**				**49**
Ordnung: Fransenflügler *(Thysanoptera)*	1	1	76	114	12	13	9	20	84	39	75	183	10	7	11	23	**678**
Gesamtanzahl FRANSENFLÜGLER	**192**				**54**				**381**				**51**				
Ordnung: Staubläuse *(Psocoptera)*	121	48	1203	314	4	2	18	13	5	2	22	8	5		1	3	**1769**
Gesamtanzahl STAUBLÄUSE	**1686**				**37**				**37**				**9**				
Ordnung: Ohrwürmer *(Dermaptera)*	1	5	5	4								1					**16**
Gesamtanzahl OHRWÜRMER	**15**				0				**1**				**0**				
Gesamtanzahl INSEKTEN	**6757**				**1419**				**5460**				**4112**				**17748**
Klasse: SPRINGSCHWÄNZE (*COLLEMBOLA*)				1				1	1					3			**6**
Gesamtanzahl SPRINGSCHWÄNZE	**1**				**1**				**1**				**3**				
Klasse: SPINNENTIERE (*ARACHNIDA*)																	
Ordnung: Weberknechte *(Opiliones)*												1					**1**
Gesamtanzahl WEBERKNECHTE	**0**				**0**				**1**				**0**				
Ordnung: echte Spinnen *(Araneae)* = Webspinnen	6	5	4	1		1	3	1	14	3	14	7	1	2	1		**63**
Gesamtanzahl ECHTE SPINNEN	**16**				**5**				**38**				**4**				
Ordnung: Milben *(Acari)*													1				1
Hornmilben (*Oribatidae*)	1								1								2
Überfamilie Raubmilben (*Gamasina*; inkl. Nymphen)		6	5		1		5		305	293	633	13	1	467	1255	1535	4519
Gesamtanzahl MILBEN	**12**				**6**				**1245**				**3259**				**4522**
Gesamtanzahl SPINNENTIERE	**28**				**11**				**1284**				**3263**				**4586**
nicht bestimmbar			1	4	2			1									
Gesamtanzahl nicht bestimmbarer Arthropoden	**5**				**3**												**8**
GESAMTANZAHL ARTHROPODEN	**6791**				**1434**				**6745**				**7378**				**22348**

Tabelle Anhang 22: Anzahl der Fliegen und Mücken pro Woche und insgesamt im ersten Kompostierungsversuch.

Arthropoden (Gliederfüßer)	Summe 1. Wo.	Summe 2. Wo	Summe 3. Wo	Summe 4. Wo	Anzahl
Klasse: INSEKTEN (*INSECTA*)					
Ordnung: Zweiflügler *(Diptera)*					
a) Mücken (*Nematocera*)		1	6	1	15
Dungmücken (*Scatopsidae*)	127	26	79	8	472
Trauermücken (*Sciaridae*)	107	24	118	17	515
Gallmücken (*Cecidomyiidae*)	48	12	22	2	166
Stechmücken (*Culicidae*), u.a. Malariamücke (*Anopheles*)	5	1			12
Zuckmücken (*Chironomidae*)	3	2			10
Schmetterlingsmücken (*Psychodidae*)	48	55	82	23	393
Pfriemenmücken (*Anisopodidae*) => *Anisopus* spec.			2		4
Gnitzen/Bartmücken (*Ceratopogonidae*)	3	4	20	2	56
Pilzmücken (*Mycetophilidae*)			2		4
Gesamtanzahl MÜCKEN	341	125	331	53	**850**
b) Fliegen (*Brachycera*)	5				5
Echte Fliegen (*Muscidae*)	3	3			6
=> *Muscina* spec.			1		1
=> *Phaonia* spec.		3		3	6
=> große Stubenfliege (*Musca domestica*)	223	34	218	596	1071
=> Stallfliege (*Musca autumnalis*)			1		1
=> Güllefliege (*Ophyra aenescens*)	1028	343	535	1485	3391
=> Wadenstecher (*Stomoxys calcitrans*)	4				4
=> *Mydaeinae* (Unterfamilie)			1		1
Schwingfliegen (*Sepsidae*)	445	20	69	10	544
Buckelfliegen (*Phoridae*)	98	15	91	24	228
Schmeißfliegen (*Calliphoridae*)		1	4		5
=> *Lucilia* spec., z.B. Goldfliege (*Lucilia serrata*)	77	64	283	256	680
=> blaue Schmeißfliegen (*Calliphora* spec.)	3	1	3		7
Lanzenfliegen (*Lonchopteridae*)	1	1		1	3
Fanniidae					
kleine Stubenfliege (*Fannia canicularis*)	82	7	9	1	99
Latrinenfliege (*Fannia scalaris*)	88	25	14	6	133
Bremsen (*Tabanidae*)	9		15		24
Feinfliegen (*Asteiidae*)	1				1
Raubfliegen (*Asiliidae*)	6		1		7
Tau- oder Essigfliegen (*Drosophilidae*)					
=> *Drosophila* spec:	43	4	8	21	76
Drosophila busckii			42	8	50
Blumenfliegen (*Anthomyiidae*)	123	9	14	1	147
Tanzfliegen (*Empididae*)	3	4	15	2	24
Schwebfliegen (*Syrphidae*)	2	1	3	1	7
Langbeinfliegen (*Dolichopodidae*)	23	21	94	15	153
=> grüne Langbeinfliege (*Poecilobothrus nobilitatus*)		3			3
=> andere *Poecilobothrus* spec.			4		4
Scheufliegen (*Heleomyzidae*)	1				1
kleine Dungfliegen (*Sphaeroceridae*)					
=> *Leptocera* spec.	1312	396	2393	1473	5574
Halmfliegen (*Cloropidae*)	1	1			2
Schnepfenfliegen (*Rhagonidae*)			6		6
Minierfliegen (*Agromyzidae*)			4		4
Gesamtanzahl FLIEGEN	3581	956	3828	3903	**12268**

Tabelle Anhang 23: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Konzentrationen von Staphylokokken, mesophilen und thermophilen Schimmelpilzen, Aktinomyceten und Salmonellen sowie Nachweis von *Clostridium* spec. und *Bacillus* spec. in der Stallluft während des Mietenabbaus sowie am Vortag im ersten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels Impinger).

Die Angaben erfolgen in „x 10^3 KBE/g“ bzw. „+“ = nachgewiesen und „-“ = nicht nachgewiesen. LKZ = Lebendkeimzahl aerober Bakterien, Staph. = Staphylokokken, mSchiP = mesophile Schimmelpilze, thSchiP = thermophile Schimmelpilze, AC = Aktinomyceten, Salm. = Salmonellen.

Ergebnisse Impinger									
Tag	**Standort**	**LKZ**	**Staph.**	**mSchiP**	**thSchiP**	**AC**	**Salm.**	***Clostridium* spec.**	***Bacillus* spec.**
29.	Stativ außen 1	18	n.n.	1,9	n.n.	n.n.	n.n.	-	-
29.	Stativ Seite	1,3	1,1	1,2	0,1	0,1	n.n.	+/-	-
30.	Stativ Front	78,9	33,1	17,4	3,9	138,3	n.n.	+	+
30.	Stativ Seite	143,7	30,7	20,7	3,8	151,8	n.n.	+/-	+
30.	Stativ außen 2	0,2	n.n.	3,1	0,1	n.n.	n.n.	-	-
30.	Negativkontrollen (Impingement)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	-	-

Tabelle Anhang 24: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Konzentrationen von Staphylokokken, mesophilen und thermophilen Schimmelpilzen, Aktinomyceten und Salmonellen sowie Nachweis von *Clostridium* spec. und *Bacillus* spec. in der Stallluft während des Mietenabbaus sowie am Vortag im ersten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels PC-Filtern).
Die Angaben erfolgen in „x 10^3 KBE/g“ bzw. „+“ = nachgewiesen und „-“ = nicht nachgewiesen.
LKZ = Lebendkeimzahl aerober Bakterien, Staph. = Staphylokokken, mSchiP = mesophile Schimmelpilze, thSchiP = thermophile Schimmelpilze, AC = Aktinomyceten, Salm. = Salmonellen.

Ergebnisse PC-Filter									
Tag	**Standort**	**LKZ**	**Staph.**	**mSchiP**	**thSchiP**	**AC**	**Salm.**	***Clostridium* spec.**	***Bacillus* spec.**
29.	Stativ außen 1	0,6	n.n.	9,3	1,2	n.n.	n.n.	-	-
29.	Stativ Seite	n.n.	n.n.	111,2	n.n.	0,5	n.n.	-	-
30.	Stativ Front	36,4	6,1	128,8	12,9	712,1	n.n.	Cl. perfringens	+
30.	Stativ Seite	261,9	11,9	125	7,1	77,4	n.n.	-	+
30.	Stativ außen 2	1,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	-	-
30.	personengetragen	250	41,3	100	6,9	75	n.n.	+	+
30.	personengetragene Kontrolle (64 Min. Exposition)	175/ Filter	n.n.	280/Filter	n.n.	455/ Filter	n.n.	-	-
30.	Radlader	32,1	12,3	86,4	2,5	11,1	n.n.	-	+
30.	Radlader-Kontrolle (81 Min. Exposition)	n.n.	n.n.	70/Filter	70/Filter	n.n.	n.n.	-	+
30.	Negativkontrollen (PC-Filter)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	-	-

Tabelle Anhang 25: Konzentrationen von Staub (in mg/m³) und Endotoxinen (in EU/m³) in der Stallluft während des Mietenabbaus sowie am Vortag im ersten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels GF-Filtern).

Ergebnisse GF-Filter			
Tag	**Standort**	**Staub (mg/m³)**	**Endotoxine (EU/m³)**
29.	Stativ außen 1	2	9,67
29.	Stativ Seite	2,67	6,67
30.	Stativ Front	3,94	247,6
30.	Stativ Seite	3,1	93,7
30.	Stativ außen 2	2,27	51,07
30.	personengetragen	3,13	412,6
30.	Radlader	3,95	97,16
30.	Negativkontrollen (GF-Filter)	n.n.	n.n.

Tabelle Anhang 26: Konzentrationen von Kohlendioxid (CO_2) und Ammoniak (NH_3) in der Stallluft (in ppm) an verschiedenen Messlokalisationen während des Mietenabbaus sowie am Vortag im ersten Kompostierungsversuch.

Tag/Uhrzeit/Messlokalisation	CO_2 (ppm)	NH_3 (ppm)
29. Tag 18:50 Uhr Stativ außen 1	350	0,5
29. Tag 18:50 Uhr Stativ Seite	500	2
30. Tag 10:00 Uhr Stativ Seite	900	14
30. Tag 10:00 Uhr direkt an Miete	-	18
30. Tag 11:30 Uhr Stativ Seite	500	7
30. Tag 12:20 Uhr direkt an Miete	-	25
30. Tag 14:40 Uhr Stativ außen 2	400	2

Tabelle Anhang 27: Umgebungstemperatur (in °C) und Luftfeuchtigkeit (in %) zum Anfang und Ende der Messungen zum Arbeitsschutz während des Mietenabbaus sowie am Vortag im ersten Kompostierungsversuch.

Tag	Anfang der Messungen		Ende der Messungen	
	Temperatur (in °C)	Luftfeuchtigkeit (in %)	Temperatur (in °C)	Luftfeuchtigkeit (in %)
29. Tag	23,8	61,1	21,4	71
30. Tag	25	60,6	23,1	67,6

Tabelle Anhang 28: Virusnachweis in Organproben, in der Eikultur bzw. in den Rachen- und Kloakentupfern der insgesamt 12 SPF-Hühner im Tierversuch (Az.: 06/1188) zur Erzeugung von Indikatortieren.

Die Angabe erfolgt in positiver Nachweis/Gesamtanzahl Proben bzw. als „-“ = negativ.

Datum	Organproben						Eikultur	Tupfer	
	Leber	Lunge	Milz	Niere	Darm	Gehirn		Kloake	Rachen
17.10.2006	(0/3)	**(1/3)**	(0/3)	(0/3)	(0/3)	(0/3)	-	fraglich (2/12)	fraglich (2/12)
19.10.2006	(0/3)	(0/3)	**(1/3)**	(0/3)	(0/3)	(0/3)	-	(0/9)	(9/9)
21.10.2006	(0/3)	(0/3)	(0/3)	(0/3)	(0/3)	(0/3)	-	(1/6)	(6/6)
24.10.2006	(0/3)	**(1/3)**	(0/3)	(0/3)	(0/3)	(0/3)	-	(0/3)	(0/3)

Tabelle Anhang 29: Antikörper-Titer der 12 SPF-Hühner im Tierversuch (Az.: 06/1188) zur Erzeugung von Indikatortieren.

Datum	Tiere	Antikörper-Titer
17.10.2006	Tier 1	4
	Tier 2	2
	Tier 3	2
19.10.2006	Tier 4	4
	Tier 5	8
	Tier 6	4
21.10.2006	Tier 7	32
	Tier 8	32
	Tier 9	32
24.10.2006	Tier 10	512
	Tier 11	1024
	Tier 12	128

Tabelle Anhang 30: Einzeltemperaturen in °C bei den zwei täglichen Messungen an den vier Messorten der mit Folien abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch zu den zwei täglichen Messzeiten um 10 Uhr und 18 Uhr.

Von den durch Messsonden kontinuierlich gemessenen und über Datenlogger gespeicherten Temperaturen wurden die Werte jeweils um 10 Uhr sowie um 18 Uhr zum besseren Vergleich mit der anderen Mietenhälfte (manuelle Messung) zur Auswertung herangezogen. Am 1. Tag sowie am 35. Tag wurde aufgrund des Auf- bzw. Abbaus der Miete nur jeweils die spätere bzw. frühere Messung berücksichtigt.

Versuchs-tag	oben zentral		oben peripher		unten zentral		unten peripher	
	10 Uhr	18 Uhr	10 Uhr	18 Uhr	10 Uhr	18 Uhr	10 Uhr	18 Uhr
1.	-	23,6	-	26,8	-	27,8	-	31,6
2.	26,5	27,2	31,8	32,1	28,4	28,2	42,1	43,4
3.	28,9	29,9	32,4	32,5	28,6	28,7	42,5	43,4
4.	31,5	32,2	33,1	33,4	29,5	29,8	42,6	43,3
5.	33,7	34,3	34,1	34,4	30,6	31,1	39,2	38,6
6.	35,7	36,3	35	35,3	31,9	32,3	37,8	37,1
7.	37,5	38	35,8	36,1	33,1	33,4	36,4	35,5
8.	38,9	39,4	36,7	37	34,1	34,4	35,5	37,6
9.	40	40,3	37,4	37,6	34,9	35,1	39,8	41,7
10.	40,7	40,9	38,2	38,5	35,5	35,7	40,1	42,5
11.	41,3	41,4	39	39,3	36,1	36,3	40,3	41,2
12.	41,6	41,7	39,7	39,9	36,7	36,9	39,8	42,4
13.	41,8	41,9	40,3	40,6	37,5	37,6	41	40,1
14.	42	42	40,9	41	37,9	38,1	39,2	39
15.	42	42,1	41,2	41,2	38,4	38,6	38,6	38,5
16.	42,1	42,1	41,4	41,5	38,9	39	38,3	38,2
17.	42,2	42,2	41,6	41,7	39,2	39,4	38,1	37,8
18.	42,3	42,3	41,9	42	39,6	39,7	37,7	37,7
19.	42,5	42,5	42,1	42,2	39,8	39,9	37,6	37,6
20.	42,5	42,5	42,4	42,5	40	40,1	37,6	37,6
21.	42,6	42,6	42,7	42,8	40,2	40,3	37,7	38,8
22.	42,6	42,6	43	43,1	40,4	40,4	39,4	41,7
23.	42,6	42,6	43,2	43,3	40,6	40,6	40,4	39,9
24.	42,5	42,5	43,4	43,5	40,6	40,6	39,2	38,9
25.	42,5	42,5	43,5	43,6	40,6	40,6	38,6	38,5
26.	42,5	42,5	43,6	43,7	40,6	40,6	38,4	38,4
27.	42,5	42,4	43,7	43,7	40,7	40,7	38,3	38,3
28.	42,3	42,3	43,8	43,8	40,7	40,7	38	37,8
29.	42,2	42,2	43,7	43,7	40,7	40,7	38	38
30.	42,1	42	43,7	43,7	40,7	40,6	37,9	38
31.	41,9	41,9	43,6	43,6	40,6	40,6	38	37,8
32.	41,8	41,8	43,6	43,6	40,5	40,5	37,7	37,6
33.	41,7	41,7	43,5	43,5	40,4	40,3	37,5	37,5
34.	41,7	41,6	43,4	43,4	40,3	40,3	37,4	37,2
35.	41,6	-	43,4	-	40,2	-	37,3	-

Tabelle Anhang 31: Tagesdurchschnittstemperaturen in °C (arithmetischer Mittelwert aus den zweimal pro Tag an jedem Messort erhobenen Einzeltemperaturen) an den vier Messorten der mit Folien abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch.
Infolge des Auf- und Abbaus der Miete am 1. bzw. 35. Tag wurde nur jeweils eine Messung berücksichtigt. Daher entspricht an diesem Tag die angegebene Temperatur dem Wert dieser einzelnen Messung.

Versuchstag	oben zentral	oben peripher	unten zentral	unten peripher
1.	23,6	26,8	27,8	31,6
2.	26,9	32	28,3	42,8
3.	29,4	32,5	28,7	43
4.	31,9	33,3	29,7	43
5.	34	34,3	30,9	38,9
6.	36	35,2	32,1	37,5
7.	37,8	36	33,3	36
8.	39,2	36,9	34,3	36,6
9.	40,2	37,5	35	40,8
10.	40,8	38,4	35,6	41,3
11.	41,4	39,2	36,2	40,8
12.	41,7	39,8	36,8	41,1
13.	41,9	40,5	37,6	40,6
14.	42	41	38	39,1
15.	42,1	41,2	38,5	38,6
16.	42,1	41,5	39	38,3
17.	42,2	41,7	39,3	38
18.	42,3	42	39,7	37,7
19.	42,5	42,2	39,9	37,6
20.	42,5	42,5	40,1	37,6
21.	42,6	42,8	40,3	38,3
22.	42,6	43,1	40,4	40,6
23.	42,6	43,3	40,6	40,2
24.	42,5	43,5	40,6	39,1
25.	42,5	43,6	40,6	38,6
26.	42,5	43,7	40,6	38,4
27.	42,5	43,7	40,7	38,3
28.	42,3	43,8	40,7	37,9
29.	42,2	43,7	40,7	38
30.	42,1	43,7	40,7	38
31.	41,9	43,6	40,6	37,9
32.	41,8	43,6	40,5	37,7
33.	41,7	43,5	40,4	37,5
34.	41,7	43,4	40,3	37,3
35.	41,6	43,4	40,2	37,3

Tabelle Anhang 32: Minimal- und Maximaltemperaturen an den vier Messorten der mit Folien abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch.

	oberer Mietenbereich		unterer Mietenbereich	
	zentral	**peripher**	**zentral**	**peripher**
Minimaltemperatur	23,6°C (1. Tag)	26,8°C (1. Tag)	27,8°C (1. Tag)	31,6°C (1. Tag)
Maximaltemperatur	42,6°C (21. Tag)	43,8°C (28. Tag)	40,7°C (27. Tag)	43,4°C (2. Tag)

Tabelle Anhang 33: Einzeltemperaturen in °C an den vier Messorten der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch zu den zwei täglichen Messungen jeweils um 10 Uhr und 18 Uhr.
Die Temperaturen wurden manuell mittels Einstechsonde gemessen. Am 1. und 35. Tag fand aufgrund des Auf- und Abbaus der Miete jeweils nur eine Messung statt.

Versuchstag	oben zentral		oben peripher		unten zentral		unten peripher	
	10 Uhr	18 Uhr	10 Uhr	18 Uhr	10 Uhr	18 Uhr	10 Uhr	18 Uhr
1.	-	36,7	-	24,9	-	21,4	-	32,5
2.	30,2	30,1	24,4	27,3	22,7	22,6	18,8	22,1
3.	32	36,4	28,7	35,9	23,8	24,4	22,1	23,8
4.	41,3	40,6	38,7	39,8	26,1	28,3	25,5	26,6
5.	42,7	43,4	42	42,7	28,2	28,7	27,2	26,1
6.	45,3	45,6	44,4	44,3	29,2	29,2	26,7	27,7
7.	45,2	45,5	44,7	45,3	31,1	31,1	28,6	29,2
8.	46,3	45,9	45,9	45,6	33,8	33,5	30,7	30,9
9.	46	46,2	45,5	45	34,2	35,5	30,8	30,7
10.	39,1	39,1	37,5	36,3	35,2	35,9	33,3	33,4
11.	38,7	39,1	36,7	37,9	36,3	36,8	34,2	34,2
12.	41,2	38,7	40,6	37,5	37,5	34,2	34,5	33,4
13.	37,1	38	33,8	35,1	34,7	36	33,9	34,2
14.	38,3	37,9	36,7	35,9	35,5	35,9	35,1	35,5
15.	38,7	38,7	37,1	37,5	36,7	36,7	35,5	35,9
16.	38,7	38,7	37,5	37,6	36,3	36,3	35,5	36
17.	39,1	38,7	37,7	37,9	36,3	36,7	35,9	37,6
18.	39,1	39,1	38,6	38,7	36,7	36,7	38,7	38,7
19.	39,5	40,2	38,7	38,7	36,7	36,7	39,8	39,8
20.	40,4	40,6	38,8	39,2	37,1	37,1	40,1	40,2
21.	40,5	40,6	39,1	39,8	37,1	37,1	44,4	44,2
22.	40,9	40,8	39,8	40,2	37,5	37,2	44,4	44
23.	41,2	41,3	40,2	40,3	37,9	37,9	45,9	46,2
24.	41,8	41,9	40,4	40,6	37,9	37,5	45	44,6
25.	42	42,3	41	42,1	37,9	37,9	45,9	45,3
26.	42,1	42,1	41,9	42,2	37,9	37,9	45,9	46,6
27.	42,1	42,1	42,1	41,9	37,9	37,9	45,8	43,3
28.	41,7	41,8	41,7	41,6	38,3	38,3	44,3	45,1
29.	41,2	40,9	41,4	40,9	37,9	38,3	44,5	45,6
30.	41	40,9	40,8	40,7	38,3	38,7	46,2	46,9
31.	40,8	40,9	41,5	41,5	38,7	38,7	47,3	46,6
32.	41,3	41,7	41,4	41,6	38,7	38,3	47,6	46,9
33.	41,9	42	41,8	41,9	38,3	39,1	46,7	47,2
34.	42,2	42,4	41,7	41,8	39,9	39,8	48,4	47,8
35.	42,7	-	41,7	-	39,8	-	47,5	-

Tabelle Anhang 34: Tagesdurchschnittstemperaturen in °C (arithmetischer Mittelwert aus den zweimal pro Tag an jedem Messort erhobenen Einzeltemperaturen) an den vier Messorten der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch.
Infolge des Auf- und Abbaus der Miete am 1. bzw. 35. Tag fand nur jeweils eine Messung statt. Daher entspricht an diesen Tagen die jeweils angegebene Temperatur dem Wert dieser einzelnen Messung.

Versuchstag	oben zentral	oben peripher	unten zentral	unten peripher
1.	36,7	24,9	21,4	32,5
2.	30,2	25,9	22,7	20,5
3.	34,2	32,3	24,1	23
4.	41	39,3	27,2	26,1
5.	43,1	42,4	28,5	26,7
6.	45,5	44,4	29,2	27,2
7.	45,4	45	31,1	28,9
8.	46,1	45,8	33,7	30,8
9.	46,1	45,3	34,9	30,8
10.	39,1	36,9	35,6	33,4
11.	38,9	37,3	36,7	34,2
12.	40	39,1	35,9	34
13.	37,6	34,5	35,4	34,1
14.	38,1	36,3	35,7	35,3
15.	38,7	37,3	36,7	35,7
16.	38,7	37,6	36,3	35,8
17.	38,9	37,8	36,5	36,8
18.	39,1	38,7	36,7	38,7
19.	39,9	38,7	36,7	39,8
20.	40,5	39	37,1	40,2
21.	40,6	39,5	37,1	44,3
22.	40,9	40	37,4	44,2
23.	41,3	40,3	37,9	46,1
24.	41,9	40,5	37,7	44,8
25.	42,2	41,6	37,9	45,6
26.	42,1	42,1	37,9	46,3
27.	42,1	42	37,9	44,6
28.	41,8	41,7	38,3	44,7
29.	41,1	41,2	38,1	45,1
30.	41	40,8	38,5	46,6
31.	40,9	41,5	38,7	47
32.	41,5	41,5	38,5	47,3
33.	42	41,9	38,7	47
34.	42,3	41,8	39,9	48,1
35.	42,7	41,7	39,8	47,5

Tabelle Anhang 35: Maximaltemperaturen an den vier Messorten vor und nach den Bewässerungen in der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch.

	oberer Mietenbereich		unterer Mietenbereich	
	zentral	**peripher**	**zentral**	**peripher**
vor den Bewässerungen	46,3°C (8. Tag)	45,9°C (8. Tag)	35,5°C (9. Tag)	30,9°C (8. Tag)
nach den Bewässerungen	42,7°C (35. Tag)	42,2°C (26. Tag)	39,9°C (34. Tag)	48,4°C (34. Tag)

Tabelle Anhang 36: Minimaltemperaturen an den vier Messorten vor und nach den Bewässerungen in der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch.

	oberer Mietenbereich		unterer Mietenbereich	
	zentral	**peripher**	**zentral**	**peripher**
vor den Bewässerungen	30,1°C (2. Tag)	24,4°C (2. Tag)	21,4°C (1. Tag)	18,8°C (2. Tag)
nach den Bewässerungen	37,1°C (13. Tag)	33,8°C (13. Tag)	34,2°C (12. Tag)	33,3°C (10. Tag)

Tabelle Anhang 37: Von zwei Untersuchungseinrichtungen (I und II) jeweils untersuchter Feuchtigkeitsgehalt (in %) an den vier Messorten der mit Folien sowie mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch.

Feuchtigkeitsgehalt (in %)									
Mietenhälfte	**Versuchstag**	**Messorte**							
		oben zentral		**oben peripher**		**unten zentral**		**unten peripher**	
		I	**II**	**I**	**II**	**I**	**II**	**I**	**II**
Folien	**1. Tag**	40,8	41,5	43,6	47,2	51,6	38,1	48,3	43,4
	35. Tag	75,5	46,2	71,9	51,4	78,1	55,3	75,6	58,7
Stroh	**1. Tag**	46,2	41,5	33,9	35,9	42,8	35,7	46,8	43,2
	13. Tag	68,5	72,7	73,3	72,8	71,1	70,7	62,7	57,8
	20. Tag	72,3	69,2	75,5	74,4	69,5	66,8	66,7	63,2
	27. Tag	72,5	68,1	71,3	65,8	70,4	65,4	62,9	58,8
	35. Tag	77,4	60	80,4	69,2	75,3	57,9	74,5	55,9

Tabelle Anhang 38: Von zwei Untersuchungseinrichtungen (I und II) jeweils untersuchter Feuchtigkeitsgehalt (in %) der zum Mietenaufbau angelieferten Einstreumaterialien auf Stroh- bzw. Sägemehlbasis im zweiten Kompostierungsversuch.

Feuchtigkeitsgehalt (in %)		
Probenmaterial	**I**	**II**
Einstreumaterial 1, Basis: Stroh	56	45,3
Einstreumaterial 2, Basis: Sägemehl	31,2	29,4

Tabelle Anhang 39: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Keimzahl der Enterobakterien und Enterokokken (jeweils in KBE/g) an den vier Messorten der mit Folien abgedeckten Mietenhälfte beim Auf- und Abbau der Miete (1., 35. Tag) im zweiten Kompostierungsversuch.
Im zweiten Versuch wurden die ersten Proben zur mikrobiologischen Untersuchung an den jeweiligen Messorten direkt nach Aufbau dieser Mietenhälfte vor ihrer Abdeckung mit Folien entnommen. Daher wurde hier im Vergleich zum ersten Kompostierungsversuch auf eine gesonderte Untersuchung der angelieferten Einstreumaterialien verzichtet. Die mit Folien abgedeckte Mietenhälfte wurde nur am 1. und 35. Tag beprobt, da durch die Folien eine Probenentnahme während des Versuchs nicht möglich war.

Tag der Probenentnahme	Messort	Lebendkeimzahl aerober Bakterien (in KBE/g)	Enterobakterien (in KBE/g)	Enterokokken (in KBE/g)
1. Tag (Mietenabbau)	oben zentral	$5{,}0 \times 10^{11}$	$8{,}8 \times 10^{3}$	$2{,}9 \times 10^{8}$
	oben peripher	$4{,}5 \times 10^{14}$	$1{,}1 \times 10^{6}$	$3{,}2 \times 10^{8}$
	unten zentral	$2{,}0 \times 10^{9}$	$6{,}0 \times 10^{2}$	$5{,}2 \times 10^{5}$
	unten peripher	$4{,}7 \times 10^{11}$	$1{,}1 \times 10^{5}$	$1{,}6 \times 10^{8}$
35. Tag (Mietenabbau)	oben zentral	$1{,}2 \times 10^{6}$	<10	<10
	oben peripher	$3{,}8 \times 10^{6}$	<10	<10
	unten zentral	$1{,}1 \times 10^{6}$	<10	<10
	unten peripher	$1{,}0 \times 10^{6}$	<10	<10

Tabelle Anhang 40: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Keimzahl der Enterobakterien und Enterokokken (jeweils in KBE/g) an den vier Messorten der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte beim Auf- und Abbau der Miete (1., 35. Tag) sowie am 27. Tag im zweiten Kompostierungsversuch.

Im zweiten Versuch wurden die ersten Proben zur mikrobiologischen Untersuchung an den jeweiligen Messorten direkt nach Aufbau dieser Mietenhälfte vor ihrer Abdeckung mit Stroh entnommen. Daher wurde hier im Vergleich zum ersten Kompostierungsversuch auf eine gesonderte Untersuchung der angelieferten Einstreumaterialien verzichtet.

Tag der Probenentnahme	Messort	Lebendkeimzahl aerober Bakterien (in KBE/g)	Enterobakterien (in KBE/g)	Enterokokken (in KBE/g)
1. Tag (Mietenabbau)	oben zentral	$9{,}1 \times 10^{8}$	$9{,}0 \times 10^{2}$	$2{,}5 \times 10^{6}$
	oben peripher	$1{,}6 \times 10^{10}$	$1{,}0 \times 10^{3}$	$1{,}1 \times 10^{8}$
	unten zentral	$1{,}5 \times 10^{10}$	$4{,}3 \times 10^{3}$	$8{,}5 \times 10^{7}$
	unten peripher	$1{,}3 \times 10^{11}$	$7{,}0 \times 10^{3}$	$3{,}9 \times 10^{7}$
27. Tag	oben zentral	$2{,}3 \times 10^{6}$	<10	<10
	oben peripher	$4{,}0 \times 10^{5}$	<10	<10
	unten zentral	$5{,}4 \times 10^{5}$	<10	<10
	unten peripher	$5{,}1 \times 10^{5}$	<10	<10
35. Tag (Mietenabbau)	oben zentral	$5{,}6 \times 10^{5}$	<10	<10
	oben peripher	$5{,}9 \times 10^{5}$	<10	<10
	unten zentral	$1{,}4 \times 10^{8}$	<10	<10
	unten peripher	$3{,}5 \times 10^{7}$	<10	<10

Tabelle Anhang 41: Temperatur (in °C) und Luftfeuchtigkeit (in %) im Stall bei den zwei täglichen Messungen um 10 Uhr und um 18 Uhr während des zweiten Kompostierungsversuchs. Beim Auf- und Abbau der Miete (1. und 35. Tag) erfolgte jeweils nur eine Messung an diesem Tag.

Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Stall				
Versuchstag	**10 Uhr**		**18 Uhr**	
	Temperatur (in °C)	**Luftfeuchtigkeit** (in %)	**Temperatur** (in °C)	**Luftfeuchtigkeit** (in %)
1.	-	-	7,8	71,5
2.	8,9	86,1	8,7	82
3.	9,9	74,5	11,3	70,4
4.	8,3	78,2	14,2	63,6
5.	14,8	51,5	15,7	51,1
6.	10,9	60,2	15,9	46,5
7.	7,5	69,5	12,8	67,9
8.	9,9	71,6	13,1	74,1
9.	10,4	61,8	14,2	63,4
10.	10,9	71,3	13,2	67,8
11.	8,6	76,2	14,4	62,1
12.	9,4	67,2	9,5	71,7
13.	10,1	65,5	10,1	71,7
14.	9,8	84	13,1	73,9
15.	12,9	71,7	13	71,9
16.	13,7	66	14,1	72,1
17.	13,2	69,3	13,8	65,7
18.	12,4	76,3	13,6	70,7
19.	12,5	81,7	12,6	86,5
20.	12,7	81,4	12,8	80,4
21.	15,4	71,1	13,3	86,2
22.	16,3	74	18	66
23.	17,8	73,9	19,2	66,8
24.	18,9	62,1	20,9	54,3
25.	18	74,7	18,5	69,3
26.	13,8	69,7	16,6	54
27.	10,3	61,6	12,7	62,5
28.	14,5	65,6	12,3	76
29.	10,4	57,4	12,2	49,5
30.	12,7	55,3	14,9	50,5
31.	14,6	58,6	16,7	64,9
32.	15,8	67,4	18,5	71
33.	14,4	80,6	18,1	82,9
34.	23,7	59,8	21,1	75,3
35.	17,6	83,7	-	-

Tabelle Anhang 42: Temperatur (in °C) und Luftfeuchtigkeit (in %) außerhalb des Stalles bei den zwei täglichen Messungen um 10 Uhr und um 18 Uhr während des zweiten Kompostierungsversuchs.
Beim Auf- und Abbau der Miete (1. und 35. Tag) erfolgte jeweils nur eine Messung an diesem Tag.

Temperatur und Luftfeuchtigkeit außerhalb des Stalles				
Versuchstag	**10 Uhr**		**18 Uhr**	
	Temperatur (in °C)	**Luftfeuchtigkeit** (in %)	**Temperatur** (in °C)	**Luftfeuchtigkeit** (in %)
1.	-	-	6,8	68,3
2.	8,6	83,5	8	81,1
3.	10,1	64,6	10,6	67,2
4.	7,3	77,2	14,5	60,1
5.	14,7	45,7	14,9	50,8
6.	9,4	62,6	15,7	46,1
7.	4,7	79,7	11,8	67,4
8.	8,6	78	13,4	67,9
9.	11,4	65,9	**12,1**	**67,9**
10.	9,4	69,9	13	61,7
11.	6,9	78,5	13,5	48,1
12.	7,3	72	7,6	69
13.	8,1	56,3	7,5	68,1
14.	8,5	84,6	10,6	74,8
15.	10,7	73,8	8,9	79,9
16.	9,5	65,1	10	78,2
17.	11,8	66,9	12,3	67,5
18.	10,6	78,7	10,9	79
19.	10,9	83,7	11,5	83,6
20.	12,4	79	10,8	81,8
21.	14,1	72,8	13,1	80,9
22.	16,4	68,6	17,6	66,5
23.	20	54,5	19,6	57,1
24.	22,6	42,2	21,9	49,7
25.	20,7	54,5	17,2	62,6
26.	11,9	65,2	10,6	67,9
27.	9,3	60,5	9,7	61,1
28.	12,7	67,8	11,4	75,1
29.	8,3	56,4	7,3	58,6
30.	11,1	50,1	12,7	48,9
31.	15,2	44,8	15,1	56,4
32.	17,1	59,8	18,1	63,1
33.	13,4	84,2	17,1	82
34.	27,1	43,9	22,7	61,1
35.	17,2	80,8	-	-

Tabelle Anhang 43: Auflistung der während des zweiten Kompostierungsversuchs angenommenen Rattenköderstationen in absteigender Reihenfolge der Gesamtmenge des gefressenen Ködergifts (in g Köder).

	Station Nr.	Gesamtmenge des verbrauchten Köders (35 Tage) in g
1.	5	17
2.	2	13
3.	17	12
4.	25	11
5.	8	10
6.	11	8
7.	9	7
8.	4	6
9.	13	5

Tabelle Anhang 44: Auflistung der nach dem zweiten Kompostierungsversuch angenommenen Rattenköderstationen in absteigender Reihenfolge der Gesamtmenge des gefressenen Ködergifts (in g Köder).

	Station Nr.	Gesamtmenge des verbrauchten Köders (143 Tage) in g
1.	2	514
2.	25	500
3.	5	437
4.	11	391
5.	10	367
6.	9	349
7.	17	348
8.	13	316
9.	14	293
10.	3	272
11.	6	243
12.	1	108
13.	12	78
14.	23	50
15.	15	15
16.	4	4

Tabelle Anhang 45: Detailliertes Arthropoden-Aufkommen im zweiten Kompostierungsversuch.

Arthropden (Gliederfüßer)	1. Woche				2. Woche				3. Woche				4. Woche				5. Woche				Summe
Fenster	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
Klasse: INSEKTEN (*INSECTA*)																					
Ordung: Zweiflügler *(Diptera)*																					
a) Mücken (*Nematocera*)																			1		1
Dungmücken (*Scatopsidae*)			1				3	2	48	95	503	101	7	10	35	21	16	11	115	22	990
Trauermücken (*Sciaridae*)	15	12	60	23	8	10	34	17	22	30	107	23	7	16	43	6	22	23	70	15	563
Gallmücken (*Cecidomyiidae*)														1	1				6	2	10
Stechmücken (*Culicidae*)																					
=> *Culex* spec.	4	1	8	1	4	8		1	1	6	6	1		1		1		1			44
=> Malariamücke (*Anopheles*)					1			1						1	1				1		5
=> *Culiseta* spec.		1																			1
Zuckmücken (*Chironomidae*)											1										1
Schmetterlingsmücken (*Psychodidae*)	108	49	149	57	118	158	393	180	211	176	349	84	80	61	112	79	103	16	123	61	2667
Pfriemenmücken (*Anisopodidae*) => *Anisopus* spec.						1		1			1										3
Gnitzen/Bartmücken (*Ceratopogonidae*)			1				1	1	1						2		2		1	4	13
Wintermücken (*Trichoceridae*)							2			1											3
Schnaken (*Tipulidae*)						1										1				1	3
Gesamtanzahl MÜCKEN	**490**				**945**				**1767**				**486**				**616**				**4304**
b) Fliegen (*Brachycera*)											1										1
Echte Fliegen (*Muscidae*)																					
=> *Muscina* spec.					1	1		1	9	6	71	22	5	3	37	14	1	1	16		188
=> *Polietes* spec.								1	1	1	12		1				3	8	35	5	67
. => *Hydrotaea* spec.											1							10			11
=> große Stubenfliege (*Musca domestica*)			3		1		12	4	1	12	121	41	1	3	17	4	3	2	5		230
=> Stallfliege (*Musca autumnalis*)											1										1
=> Güllefliege (*Ophyra aenescens*)																					
=> andere *Ophyra* spec.		1	2				2	2	11	11	83	24	10	10	89	40	22	30	125	85	547
=> gefleckte Hausfliege (*Graphomya maculata*)																		1			1
=> andere *Graphomya* spec.)																			1		1
=> Wadenstecher (*Stomoxys calcitrans*			1				1			1	15	1		5	29	2			7		62
Schwingfliegen (*Sepsidae*)			1					1	4	176	29	5	1	3	18	3	7	2	67	2	319
Buckelfliegen (*Phoridae*)			3		1	1	1		6	11	7		1	3	1	2	12	15	18	1	83
Schmeißfliegen (*Calliphoridae*)																					
=> *Lucilia* spec., z.B. Goldfliege (*Lucilia serrata*)									8	1	4	6	7	1	2	3	21	131	16	2	202
=> blaue Schmeißfliegen (*Calliphora* spec.)				2		1	8		15	18	75	51	22	13	52	22	6	9	74	31	399
Lanzenfliegen (*Lonchopteridae*)			1																		1
Fanniidae																					
=> *Fannia* spec.:			1																		1
kleine Stubenfliege (*Fannia canicularis*)											1			1	3						5
Latrinenfliege (*Fannia scalaris*)							2				6	5		2	8		2	2		1	28
Tau- oder Essigfliegen (*Drosophilidae*)																					
=> *Drosophila* spec.:											2			5	21		1	1	7		37
große Essigfliege (*Drosophila funebris*)					1		1														2
Drosophila busckii						2	1		1	1	4		1	1	71	11	2	4	60	4	163
Blumenfliegen (*Anthomyiidae*)										4		1		6	8						19
Schwebfliegen (*Syrphidae*)																				1	1
Langbeinfliegen (*Dolichopodidae*)																			1		1
Scheufliegen (*Heleomyzidae*)	16	51	87	17		8	10	2	8	24	39	9	3	21	12	1	10		27	10	355
kleine Dungfliegen (Sphaeroceridae) => *Leptocera* spec.	45	53	59	7	32	45	16	6	175	225	160	47	250	1564	5738	3969	839	750	5504	558	20042
Dung- oder Mistfliegen (*Scatophagidae*)																			1	1	2
Halmfliegen (*Cloropidae*)																					
=> Fritfliege (*Oscinella frit*)									92	25	38	5	11	3	5	2	39	9	13	5	247
Gesamtanzahl FLIEGEN	**350**				**165**				**1734**				**12141**				**8626**				**23016**
Ordnung: Schmetterlinge *(Lepidoptera)*																					
Zünsler (*Pyralidae*)																					
=> Samenzünsler (*Aphomia/Paralispa gularis*)		1																1			2
Faulholzmotten (*Oecophoridae*)									1												1
=> Kleistermotte (*Endrosis sarcitrella*)					1	2	1		1		1	2	4			1	4	2	2	2	23
Echte Motten (*Tineidae*)								1									1	3			5
=> Kornmotten (*Nemapogon* spec.)				1			1														2
=> Fellmotte (*Monopis* spec.)																			1		1
Ziermotten (*Scythrididae*)			1	1	1				2	1	1										7
Edelfalter (*Nymphalidae*)																					
=> kleiner Fuchs (*Aglais urticae*)							1				1										2
Federmotten, Geistchen (*Alucitidae*)									2					1							3
Grasminiermotten (*Elachistidae*)											3	1		1							5
Miniersackmotten (*Incurvariidae*)																		1			1
Gesamtanzahl SCHMETTERLINGE	**4**				**8**				**16**				**7**				**17**				**52**
Ordnung: Hautflügler *(Hymenoptera)*																					
Unterordnung: Taillenwespen (*Apocrita*)																					
Terebrantes/Terebrantia (Legebohrerwespen, parasitische Wespen)							1					1					1		3	1	7
=> Erzwespen (*Chalcididae*)			3	3			4	2			7	2	1				8	5	2	1	38
Gesamtanzahl HAUTFLÜGLER	**6**				**7**				**10**				**1**				**21**				**45**

Arthropden (Gliederfüßer)	1. Woche				2. Woche				3. Woche				4. Woche				5. Woche				Summe
Fenster	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
Ordnung: Käfer *(Coleoptera)*																					
Schimmelkäfer (*Cryptophagidae*)																					
=> *Cryptophagus* spec.						1	1	1				1		1	1					1	7
=> *Atomaria* spec.			1								2						7		1		11
Zwergkäfer/Federflügler (*Ptiliidae*)							1	1	1	3	8	1	8		1		4	2	11		41
Schwammkugelkäfer (*Leiodidae*)									3	2				2						1	8
Speckkäfer (*Dermestidae*)																					
=> gemeiner Speckkäfer (*Dermestes lardarius*)																		1			1
Kurzdecken-, Kurzflügelkäfer (*Staphylinidae*)	5	10	8	5	1	2	4		27	37	60	16	4	3	1	4	36	18	51	20	312
Plattkäfer (*Cucujidae*)																					
=> tropischer Schimmelplattkäfer (*Ahasverus advena*)											1	1					1		2		5
Laufkäfer (*Carabidae*)									1		1										2
Punktkäfer (*Clambidae*)										1	7	1					5	2	4	1	21
Detrituskäfer (*Monotomidae*)																					
=> andere *Monotoma* spec.										2	4	1					3		9	5	24
Blattkäfer (*Crysomelidae*)																					
=> *Chaetocnema* spec. (Flohkäfer = *Alticinae*)																		1			1
Wasserkäfer (*Hydrophilidae*)																			1		1
=> *Sphaeridium* spec.																	1				1
=> *Cercyon* spec.																	1				1
=> behaarter Dungkäfer (*Cryptopleurum* spec.)											3										3
Baumschwammkäfer (*Mycetophagidae*)																					
=> gelbbrauner behaarter Baumschwammkäfer (*Typhaea stercorea*)											1	1				1			1		4
Blütenmulmkäfer/Blütenkäfer (*Anthicidae*)																					
=> *Anthrenus* spec.						1															1
Faulholzkäfer (*Orthoperidae* = *Corylophidae*)												1					1				2
Moderkäfer (*Latriidae*)									1		1										2
=> *Corticaria* spec.									3	2	12	15	2		4	2	22	3	10	16	91
=> *Latridius* spec.												1								1	2
=> *Aridius* (= *Coniomus*) *nodifer*						1															1
=> *Cartodere* spec.																	2				2
Gesamtanzahl KÄFER	**29**				**14**				**222**				**34**				**245**				**544**
Ordnung: Schnabelkerfe *(Hemiptera)*																					
mit den folgenden Unterordnungen:																					
Spitzkopfzikaden (*Archaeorrhyncha* = *Fulgoromorpha*)			1																		1
Pflanzenläuse (*Sternorrhyncha*)																					
=> Blattläuse (*Aphidina*)																				1	1
Wanzen (*Heteroptera*)									1									1			2
=> Weichwanzen (*Myridae*)										1											1
Gesamtanzahl SCHNABELKERFE	**1**				**0**				**2**				**0**				**2**				**5**
Ordnung: Fransenflügler *(Thysanoptera)*	6	4	22	46	4	6	17	48	566	100	3238	2392	89	1	10	23	43	6	128	63	**6812**
Gesamtanzahl FRANSENFLÜGLER	**78**				**75**				**6296**				**123**				**240**				
Ordnung: Staubläuse *(Psocoptera)*	6		3	5		2	14			2	7	2			4	2	2	1	70	32	**152**
Gesamtanzahl STAUBLÄUSE	**14**				**16**				**11**				**6**				**105**				
Ordnung: Ohrwürmer *(Dermaptera)*										3	1						1	1			**6**
Gesamtanzahl OHRWÜRMER	**0**				**0**				**4**				**0**				**2**				
Gesamtanzahl INSEKTEN	**972**				**1230**				**10062**				**12798**				**9874**				**34936**
Klasse: SPRINGSCHWÄNZE (*COLLEMBOLA*)						2				1							1				**4**
Gesamtanzahl SPRINGSCHWÄNZE	**0**				**2**				**1**				**0**				**1**				
Klasse: SPINNENTIERE (*ARACHNIDA*)																					
Ordnung: echte Spinnen *(Araneae)* = Webspinnen	28	1	4	2	49	27	3	2	8	1	1	1	8	3			6	2	1	2	**149**
Gesamtanzahl ECHTE SPINNEN	**35**				**81**				**11**				**11**				**11**				
Ordnung: Milben *(Acari)*																					
Laufmilben (*Trombiculidae*)			2				1									2					5
Spinnmilben (*Tetranychidae*)					1	1				1											3
Hornmilben (*Oribatidae*)	2																	1			3
Überfamilie Raubmilben (*Gamasina*; inkl. Nymphen)	1	1				10	7	2	189	107		681	477	242	2815	2228	743	1036	5011	2545	16095
Gesamtanzahl MILBEN	**6**				**22**				**978**				**5764**				**9336**				**16106**
Gesamtanzahl SPINNENTIERE	**41**				**103**				**989**				**5775**				**9347**				**16255**
Klasse: HÖHERE KREBSE (*MALACOSTRACA*)																					
Ordnung: Asseln *(Isopoda)*		1																			**1**
Gesamtanzahl HÖHERE KREBSE	**1**				**0**				**0**				**0**				**0**				**1**
Gesamtanzahl nicht bestimmbarer Arthropoden																					**0**
Gesamtanzahl Arthropoden	**1014**				**1335**				**11052**				**18573**				**19222**				**51196**

Tabelle Anhang 46: Anzahl der Fliegen und Mücken pro Woche und insgesamt im zweiten Kompostierungsversuch.

Arthropden (Gliederfüßer)	Summe 1. Wo.	Summe 2. Wo.	Summe 3. Wo.	Summe 4. Wo.	Summe 5. Wo.	Summe
Klasse: INSEKTEN (*INSECTA*)						
Ordung: Zweiflügler *(Diptera)*						
a) Mücken (*Nematocera*)					1	1
Dungmücken (*Scatopsidae*)	1	5	747	73	164	917
Trauermücken (*Sciaridae*)	110	69	182	72	130	491
Gallmücken (*Cecidomyiidae*)				2	8	8
Stechmücken (*Culicidae*)						
=> *Culex* spec.	14	13	14	2	1	44
=> Malariamücke (*Anopheles*)		2		2	1	5
=> *Culiseta* spec.	1					1
Zuckmücken (*Chironomidae*)			1			1
Schmetterlingsmücken (*Psychodidae*)	363	849	820	332	303	2667
Pfriemenmücken (*Anisopodidae*) => *Anisopus* spec.		2	1			3
Gnitzen/Bartmücken (*Ceratopogonidae*)	1	2	1	2	7	13
Wintermücken (*Trichoceridae*)		2	1			3
Schnaken (*Tipulidae*)		1		1	1	3
Gesamtanzahl MÜCKEN	490	945	1767	486	616	**4304**
b) Fliegen (*Brachycera*)			1			1
Echte Fliegen (*Muscidae*)						
=> *Muscina* spec.		3	108	59	18	188
=> *Polietes* spec.		1	14	1	51	67
=> *Hydrotaea* spec.			1		10	11
=> große Stubenfliege (*Musca domestica*)	3	17	175	25	10	230
=> Stallfliege (*Musca autumnalis*)			1			1
=> Güllefliege (*Ophyra aenescens*)						
=> andere *Ophyra* spec.	3	4	129	149	262	547
=> gefleckte Hausfliege (*Graphomya maculata*)					1	1
=> andere *Graphomya* spec.					1	1
=> Wadenstecher (*Stomoxys calcitrans*)	1	1	17	36	7	62
Schwingfliegen (*Sepsidae*)	1	1	214	25	78	319
Buckelfliegen (*Phoridae*)	3	3	24	7	46	83
Schmeißfliegen (*Calliphoridae*)						
=> *Lucilia* spec., z.B. Goldfliege (*Lucilia serrata*)			19	13	170	202
=> blaue Schmeißfliegen (*Calliphora* spec.)	2	9	159	109	120	399
Lanzenfliegen (*Lonchopteridae*)	1					1
Fanniidae						
=> *Fannia* spec.:	1					1
kleine Stubenfliege (*Fannia canicularis*)			1	4		5
Latrinenfliege (*Fannia scalaris*)		2	11	10	5	28
Tau- oder Essigfliegen (*Drosophilidae*)						
=> *Drosophila* spec.:			2	26	9	37
große Essigfliege (*Drosophila funebris*)		2				2
Drosophila busckii		3	6	84	70	163
Blumenfliegen (*Anthomyiidae*)			5	14		19
Schwebfliegen (*Syrphidae*)					1	1
Langbeinfliegen (*Dolichopodidae*)					1	1
Scheufliegen (*Heleomyzidae*)	171	20	80	37	47	355
kleine Dungfliegen (Sphaeroceridae)						
=> *Leptocera* spec.	164	99	607	11521	7651	20042
Dung- oder Mistfliegen (*Scatophagidae*)					2	2
Halmfliegen (*Cloropidae*)						
=> Fritfliege (*Oscinella frit*)			160	21	66	247
Gesamtanzahl FLIEGEN	350	165	1734	12141	8626	**23016**

Tabelle Anhang 47: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Konzentrationen von Staphylokokken, mesophilen und thermophilen Schimmelpilzen, Aktinomyceten und Salmonellen sowie Nachweis von *Clostridium* spec. und *Bacillus* spec. in der Stallluft während des Mietenaufbaus sowie am Vortag im zweiten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels Impinger).
Die Angaben erfolgen in „x 10^3 KBE/g“ bzw. „+“ = nachgewiesen und „-“ = nicht nachgewiesen.
LKZ = Lebendkeimzahl aerober Bakterien, Staph. = Staphylokokken, mSchiP = mesophile Schimmelpilze, thSchiP = thermophile Schimmelpilze, AC = Aktinomyceten, Salm. = Salmonellen.

Ergebnisse Impinger								
Tag	**Standort**	**LKZ**	**Staph.**	**mSchiP**	**thSchiP**	**AC**	***Clostridium* spec.**	***Bacillus* spec.**
0. Tag	Stativ Seite	4	0,5	12	1	n.n.	-/-	+/-
0. Tag	Stativ Front	5	3	6	n.n.	n.n.	-/-	+/+
1. Tag	Stativ Seite	307	189	137	24	22	-/+	+/-
1. Tag	Stativ Front	431	346	140	33	3	-/-	+/+
0./1. Tag	Negativkontrollen (Impingement)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	-/-	-/-

Tabelle Anhang 48: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Konzentrationen von Staphylokokken, mesophilen und thermophilen Schimmelpilzen, Aktinomyceten und Salmonellen sowie Nachweis von *Clostridium* spec. und *Bacillus* spec. in der Stallluft während des Mietenaufbaus sowie am Vortag im zweiten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels PC-Filtern).
Die Angaben erfolgen in „x 10^3 KBE/g“ bzw. „+“ = nachgewiesen und „-“ = nicht nachgewiesen.
LKZ = Lebendkeimzahl aerober Bakterien, Staph. = Staphylokokken, mSchiP = mesophile Schimmelpilze, thSchiP = thermophile Schimmelpilze, AC = Aktinomyceten, Salm. = Salmonellen.

Ergebnisse PC-Filter								
Tag	**Standort**	**LKZ**	**Staph.**	**mSchiP**	**thSchiP**	**AC**	***Clostridium* spec.**	***Bacillus* spec.**
0. Tag	Stativ Seite	2	2	0,03	n.n.	n.n.	-	-
0. Tag	Stativ Front	0,4	0,4	0,6	n.n.	n.n.	-	+
1. Tag	Stativ Seite	27	30	0,6	0,3	n.n.	-	-
1. Tag	Stativ Front	32	15	92	4	1	-	+
1. Tag	personengetragen 1 (untere Strohschicht)	1590	1220	2700	2700	410	-	+
1. Tag	personengetragen 2 (Aufschichtung des zu kompostierenden Materials)	170	73	553	18	57	-	+
1. Tag	Radlader	5	4	16	n.n.	4	-	+
1. Tag	Radlader-Kontrolle (43 Min. Exposition)	n.n.	n.n.	70 KBE/ Filter	70 KBE/ Filter	n.n.	-	-
0./1. Tag	Negativkontrollen (PC-Filter)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	-	-

Tabelle Anhang 49: Konzentrationen von Staub (in mg/m³) und Endotoxinen (in EU/m³) in der Stallluft während des Mietenaufbaus sowie am Vortag im zweiten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels GF-Filtern).

Ergebnisse GF-Filter			
Tag	**Standort**	**Staub (mg/m³)**	**Endotoxine (EU/m³)**
0. Tag	Stativ Seite	0,77	3
0. Tag	Stativ Front	0,75	2
1. Tag	Stativ Seite	1,06	164
1. Tag	Stativ Front	2,34	3
1. Tag	Radlader	4,54	37
1. Tag	Radlader-Kontrolle (65 Min. Exposition)	n.n.	n.n.
1. Tag	personengetragen 1 (untere Strohschicht)	3,6	530
1. Tag	personengetragen 2 (Aufschichtung des Mietenmaterials)	6,6	2139
1. Tag	personengetragen 3 (Bewässerung)	4,43	636
0./1. Tag	Negativkontrollen (GF-Filter)	n.n.	n.n.

Tabelle Anhang 50: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Konzentrationen von Staphylokokken, mesophilen und thermophilen Schimmelpilzen, Aktinomyceten und Salmonellen sowie Nachweis von *Clostridium* spec. und *Bacillus* spec. in der Stallluft während des Mietenabbaus sowie am Vortag im zweiten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels Impinger).

Die Angaben erfolgen in „x 10³ KBE/g“ bzw. „+“ = nachgewiesen und „-“ = nicht nachgewiesen.
LKZ = Lebendkeimzahl aerober Bakterien, Staph. = Staphylokokken, mSchiP = mesophile Schimmelpilze, thSchiP = thermophile Schimmelpilze, AC = Aktinomyceten, Salm. = Salmonellen.

Ergebnisse Impinger								
Tag	**Standort**	**LKZ**	**Staph.**	**mmSchiP**	**thSchiP**	**AC**	***Clostridium* spec.**	***Bacillus* spec.**
34. Tag	Stativ Seite	4,2	3,9	44,3	0,7	n.n.	+	-
34. Tag	Stativ Front	7,8	8,8	9,5	0,3	n.n.	-	-
35. Tag	Stativ Seite	171,9	161,5	96,4	12,3	44,5	+/-	+
35. Tag	Stativ Front	260,4	94	71,1	8,9	24,5	-/+	+/-
34./35 Tag	Negativkontrollen (Impingement)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	-	-

Tabelle Anhang 51: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Konzentrationen von Staphylokokken, mesophilen und thermophilen Schimmelpilzen, Aktinomyceten und Salmonellen sowie Nachweis von *Clostridium* spec. und *Bacillus* spec. in der Stallluft während des Mietenabbaus sowie am Vortag im zweiten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels PC-Filtern).
Die Angaben erfolgen in „x 10^3 KBE/g“ bzw. „+“ = nachgewiesen und „-“ = nicht nachgewiesen.
LKZ = Lebendkeimzahl aerober Bakterien, Staph. = Staphylokokken, mSchiP = mesophile Schimmelpilze, thSchiP = thermophile Schimmelpilze, AC = Aktinomyceten, Salm. = Salmonellen.

Ergebnisse PC-Filter								
Tag	**Standort**	**LKZ**	**Staph.**	**mSchiP**	**thSchiP**	**AC**	***Clostridium* spec.**	***Bacillus* spec.**
34. Tag	Stativ Seite	2,4	0,1	2,2	0,4	0,1	+	+
34. Tag	Stativ Front	1,1	0,1	1	0,4	0,3	-	-
35. Tag	Stativ Seite	420,7	17,9	110,4	4,1	7,2	+	+
35. Tag	Stativ Front	306,9	20,4	93,1	6,2	15,2	-	+
35. Tag	personengetragen 1	189,5	20,5	73,7	9	5,8	+	+
35. Tag	personengetragene Kontrolle 1 (92 Min. Exposition)	2,1	0,5	1,1	n.n.	n.n.	-	-
35. Tag	personengetragen 2	292,9	14,7	80,8	4	4,6	+	+
35. Tag	personengetragene Kontrolle 2 (99 Min. Exposition)	8,1	0,5	1	0,5	n.n.	+	-
35. Tag	Radlader	99	15,8	26,7	5,5	0,5	-	+
35. Tag	Radlader-Kontrolle (101 Min. Exposition)	1,5	n.n.	n.n.	0,5	n.n.	-	-
34./35. Tag	Negativkontrollen (PC-Filter)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	-	-

Tabelle Anhang 52: Konzentrationen von Staub (in mg/m³) und Endotoxinen (in EU/m³) in der Stallluft während des Mietenabbaus sowie am Vortag im zweiten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels GF-Filtern).

Ergebnisse GF-Filter			
Tag	**Standort**	**Staub (mg/m³)**	**Endotoxine (EU/m³)**
34. Tag	Stativ Seite	0,06	4
34. Tag	Stativ Front	0,04	3
35. Tag	Stativ Seite	0,66	78
35. Tag	Stativ Front	1,17	211
35. Tag	personengetragen 1	2,21	488
35. Tag	personengetragene Kontrolle 1 (95 Min. Exposition)	0,68	4
35. Tag	personengetragen 2	1,92	489
35. Tag	Radlader	0,99	176
35. Tag	Radlader-Kontrolle (96 Min. Exposition)	0,05	1
35. Tag	Negativkontrollen (GF-Filter)	n.n.	n.n.

Tabelle Anhang 53: Konzentrationen von Ammoniak und Kohlendioxid (in ppm) auf der mit Folien abgedeckten und nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte sowie an den zwei Messorten in Mietennähe im zweiten Kompostierungsversuch.

Tag	**AMMONIAK** (in ppm)						**KOHLENDIOXID** (in ppm)					
	Messungen in Mietennähe				**Messungen auf der Miete**		**Messungen in Mietennähe**				**Messungen auf der Miete**	
	Messungen um 10 Uhr		Messungen um 18 Uhr		1x/ Woche	1x/ Tag	Messungen um 10 Uhr		Messungen um 18 Uhr		1x/ Woche	1x/ Tag
	Mess-ort 1	Mess-ort 2	Mess-ort 1	Mess-ort 2	Stroh+ Folie	Stroh	Mess-ort 1	Mess-ort 2	Mess-ort 1	Mess-ort 2	Stroh+ Folie	Stroh
1.	-	-	<1	<1	-	-	-	-	600	600	-	-
2.	1	0,5-1	2	1	-	-	600	600	500	550	-	-
3.	2,5	2,5	2,5	2	-	-	700	600	650	550	-	-
4.	3,5	3	4	2,5	-	-	750	600	800	600	-	-
5.	5	4,5-5	5	4,5	-	-	800	650	800	600	-	-
6.	2,5-3	3-3,5	4,5-5	4,5	-	-	600	600	700	600	-	-
7.	3	3	3,5-4	2,5-3	-	-	550	450	700	600	-	-
8.	4-4,5	2,5-3	4,5	3	-	12	600	550	600	550	-	-
9.	5	3,5	6	4,5-5	-	12	600	550-600	600	550-600	-	-
10.	2,5	2,5-3	4,5-5	3,5-4	-	7,5	700	600	600	600	-	-
11.	4-4,5	3	13	13	-	24	550	550-600	800	800	-	-
12.	5	6	3	3,5	-	16	550	450-500	550	450-500	-	-
13.	5	6	7	4,5	-	11	800	750-800	600	450	-	600
14.	7,5	4,5	14	17-18	-	20	600	450	650-700	800	-	900
15.	13	16	10	6	12	21	700	600	650	600	650	900
16.	14	`12-13	14	`11-12	-	29	650	550	650	800	-	600
17.	4-4,5	3,5-4	`6-7	3-3,5	-	12	550-600	400	500-550	400	-	600
18.	6	6	4,5	5	-	15	550-600	400	550-600	800	-	600
19.	8	7	5	5	-	15	550	450-500	550-600	450	-	600
20.	8	4,5-5	16	7	-	35	600	400	650-700	550	-	1000
21.	15	14	11	8	-	20	650-700	600	600-650	550-600	-	700
22.	13-14	17	11	13	16	26	700-750	750-800	600	600	600	800
23.	24	18	13	9	-	47	900	800	650	500-550	-	1100
24.	22	20	22	8	-	47	1000	800	1000	600	-	1600

Tag	**AMMONIAK** (in ppm)						**KOHLENDIOXID** (in ppm)					
	Messungen in Mietennähe				**Messungen auf der Miete**		**Messungen in Mietennähe**				**Messungen auf der Miete**	
	Messungen um 10 Uhr		Messungen um 18 Uhr		1x/ Woche	1x/ Tag	Messungen um 10 Uhr		Messungen um 18 Uhr		1x/ Woche	1x/ Tag
	Mess-ort 1	Mess-ort 2	Mess-ort 1	Mess-ort 2	Stroh+ Folie	Stroh	Mess-ort 1	Mess-ort 2	Mess-ort 1	Mess-ort 2	Stroh+ Folie	Stroh
25.	22	30	21	10	-	63	900-950	800	800	550-600	-	1250
26.	11	4	7	7	-	21	700	400	450	400	-	600-650
27.	7	7	8	6-7	-	19	500	450-500	500	450-500	-	600
28.	10	7	7	5	-	26	550	450-500	500	400	-	600-650
29.	9	5	4,5-5	4	9	15	600	400	450	400	450	600
30.	15	19	9	7	-	33	650	600-650	550-600	500	-	650
31.	21	17	26-27	10	-	50	700	500	1000	800	-	1000
32.	18	10	26-27	27	-	62	650	600	1000	1000	-	1250
33.	8	8	20	16	-	40	600	550	700-750	600	-	800
34.	37	18	32	15	-	>70	1450	800	1000	800	-	1600
35.	18	19	-	-	16	24	600	600	-	-	600	800

9.4 Abbildungen

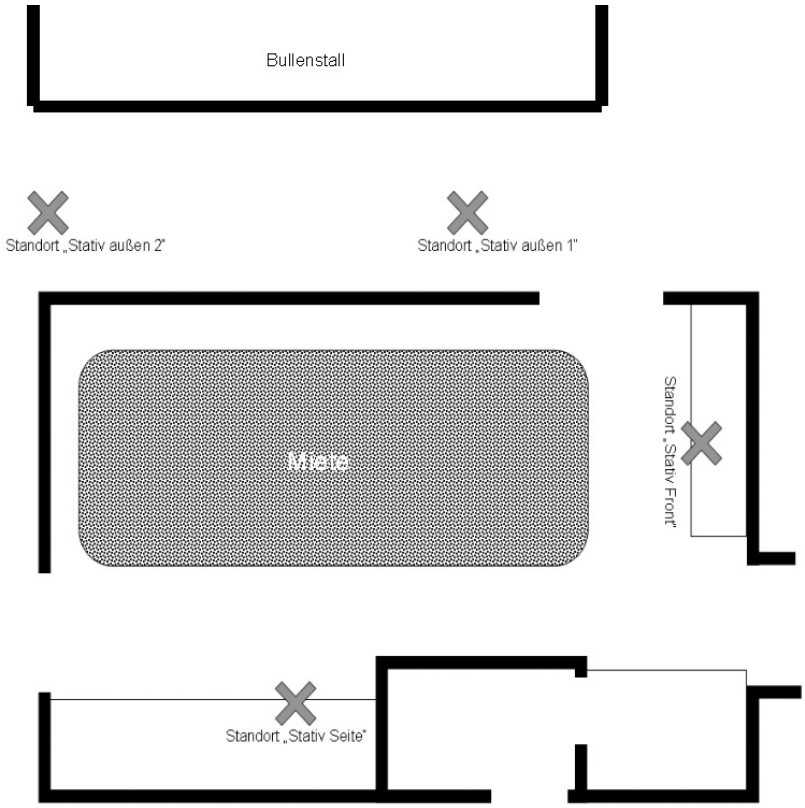

Abbildung Anhang 1: Messorte der Untersuchungen mittels Impingement - innerhalb des Versuchsstalles im ersten und zweiten Versuch sowie außerhalb des Versuchsstalles im ersten Versuch.

9.5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Biofilterbereiche aus kohlenstoffreichem Material einer nach der „layering“-Methode aufgebauten Kompostmiete (Querschnitt; modifiziert nach KEENER und ELWELL, 2000). 23
Abbildung 2: Natürliche (passive) Belüftung einer Kompostmiete (modifiziert nach RYNK et al., 1992). 26
Abbildung 3: Schematische Darstellung des Mietenquerschnitts im ersten Versuch. 38
Abbildung 4: Erster Versuch - Aufbau der Miete. 39
Abbildung 5: Schematische Darstellung des Querschnitts der beiden Mietenhälften im zweiten Versuch. 45
Abbildung 6: Zweiter Versuch - Aufbau der Miete. 46
Abbildung 7: Erster und zweiter Versuch - Festlegung der Mietenmessorte anhand der Mietenlage im Versuchsstall. 50
Abbildung 8: Lageplan der Rattenköderstationen im Versuchsstall sowie auf dem Hofgelände während des ersten Versuchs und in der Zeit zwischen den beiden Kompostierungsversuchen. 54
Abbildung 9: Lageplan der Rattenköderstationen im Versuchsstall sowie auf dem Hofgelände während des zweiten Versuchs und in der Zeit danach. 55
Abbildung 10: Lageplan der Schaben- (S, nummeriert) sowie der vier Fliegenklebefallen (F) während des ersten und zweiten Kompostierungsversuchs. 56
Abbildung 11: Tagesdurchschnittstemperaturen an den vier Messorten der zuerst aufgebauten Mietenhälfte (linker Teil) im ersten Versuch. 61
Abbildung 12: Tagesdurchschnittstemperaturen in der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte (rechter Teil) im ersten Versuch. 63
Abbildung 13: Erster Versuch - Umgebungsbilder und dazugehörige Wärmebildkameraaufnahmen (23. Versuchstag). 64
Abbildung 14: Erster Versuch - Zersetzung der Putenkadaver. 66
Abbildung 15: Anzahl mesophiler Bakterien (Lebendkeimzahl, LKZ), Staphylokokken und Aktinomyceten sowie mesophiler und thermophiler Schimmelpilzsporen zum Zeitpunkt des Mietenabbaus im ersten Versuch. 72
Abbildung 16: Tagesdurchschnittstemperaturen an den vier Messorten der mit Folien und Stroh abgedeckten Mietenhälfte (linker Teil) im zweiten Versuch. 76

Abbildung 17: Tagesdurchschnittstemperaturen in der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte (rechter Teil) im zweiten Versuch. 78
Abbildung 18: Zweiter Versuch - Umgebungsbilder und dazugehörige Wärmebildkamera-aufnahmen der Miete (29. Versuchstag). 80
Abbildung 19: Zweiter Versuch - Zersetzung am 35. Versuchstag. 82
Abbildung 20: Anzahl mesophiler Bakterien (Lebendkeimzahl, LKZ), Staphylokokken und Aktinomyceten sowie mesophiler und thermophiler Schimmelpilzsporen zum Zeitpunkt des Mietenaufbaus im zweiten Kompostierungsversuch. 91
Abbildung 21: Anzahl mesophiler Bakterien (Lebendkeimzahl, LKZ), Staphylokokken und Aktinomyceten sowie mesophiler und thermophiler Schimmelpilzsporen zum Zeitpunkt des Mietenabbaus im zweiten Kompostierungsversuch. 92

Abbildung Anhang 1: Messorte der Untersuchungen mittels Impingement - innerhalb des Versuchsstalles im ersten und zweiten Versuch sowie außerhalb des Versuchsstalles im ersten Versuch. 216

9.6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ungefährer Zeitaufwand für die einzelnen Arbeitsschritte beim Mietenaufbau im ersten Versuch. 59
Tabelle 2: Ungefährer Zeitaufwand für die einzelnen Arbeitsschritte bei der im ersten Versuch am 13. Tag durchgeführten Umschichtung sowie für den Abbau der Miete am 30. Tag insgesamt. 60
Tabelle 3: Arthropodenaufkommen im ersten Kompostierungsversuch. 69
Tabelle 4: Ungefährer Zeitaufwand für die einzelnen Arbeitsschritte beim Mietenaufbau und für den Mietenabbau im zweiten Versuch. 75
Tabelle 5: Arthropodenaufkommen im zweiten Kompostierungsversuch. 86

Tabelle Anhang 1: Erster und zweiter Kompostierungsversuch - Zur Untersuchung der Impinger- und PC-Filter-Proben im Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie (Tierärztliche Hochschule Hannover) verwendete Nährböden und deren Bebrütungstemperatur und -dauer in Abhängigkeit von den untersuchten Mikroorganismen. 177
Tabelle Anhang 2: Erster und zweiter Kompostierungsversuch - Im Institut für Mikrobiologie (Tierärztliche Hochschule Hannover) zum Nachweis von aeroben und anaeroben Sporenbildnern verwendete Nährböden und deren Bebrütungsanforderungen. 177
Tabelle Anhang 3: Wachstumsverhalten von *Bacillus* spec. und *Clostridium* spec. auf den im Institut für Mikrobiologie (Tierärztliche Hochschule Hannover) zur Untersuchung der Impinger- und PC-Filter-Proben (erster und zweiter Kompostierungsversuch) verwendeten Nährböden. 178
Tabelle Anhang 4: Formeln zur Berechnung der Mietenlänge und des Einstreubedarfs nach TABLANTE et al. (2002) zur Planung der Miete im ersten Kompostierungsversuch (dargestellt in US-amerikanischen und umgerechnet in metrische Einheiten). 178
Tabelle Anhang 5: Dichteberechnung von vier verschiedengewichtigen Puten und die daraus jeweils berechneten Volumina des Gesamtgewichtes der im ersten Kompostierungsversuch kompostierten Tierkadaver. 179

Tabelle Anhang 6: Einzeltemperaturen in °C bei den zwei täglichen Messungen an den vier Messorten der zuerst aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch zu den zwei täglichen Messzeiten um 10 Uhr und 18 Uhr. 180
Tabelle Anhang 7: Tagesdurchschnittstemperaturen in °C (arithmetischer Mittelwert aus den zweimal pro Tag an jedem Messort erhobenen Einzeltemperaturen) an den vier Messorten der zuerst aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch. 181
Tabelle Anhang 8: Maximaltemperaturen an den vier Messorten vor und nach der Umschichtung in der zuerst aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch. 182
Tabelle Anhang 9: Minimaltemperaturen an den vier Messorten vor und nach der Umschichtung in der zuerst aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch. 182
Tabelle Anhang 10: Einzeltemperaturen in °C an den vier Messorten der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch zu den zwei täglichen Messungen jeweils um 10 Uhr und 18 Uhr. 183
Tabelle Anhang 11: Tagesdurchschnittstemperaturen in °C (arithmetischer Mittelwert aus den zweimal pro Tag an jedem Messort erhobenen Einzeltemperaturen) an den vier Messorten der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch. 184
Tabelle Anhang 12: Maximaltemperaturen an den vier Messorten vor und nach der Umschichtung in der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch. 185
Tabelle Anhang 13: Minimaltemperaturen an den vier Messorten vor und nach der Umschichtung in der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte im ersten Kompostierungsversuch. 185
Tabelle Anhang 14: Feuchtigkeitsgehalt an den vier Messorten jeder Mietenhälfte am Tag der Umschichtung (13. Tag) sowie beim Mietenabbau (30. Tag) im ersten Kompostierungsversuch (Angaben in %). 185

Tabelle Anhang 15: Lebendkeimzahl aerober Bakterien und Enterobakterien-Keimzahl (jeweils in KBE/g) an den vier Messorten der zuerst aufgebauten Mietenhälfte im Vergleich zur angelieferten und zum Mietenaufbau verwendeten Hähncheneinstreu auf Strohbasis bei der Umschichtung (13. Tag) sowie beim Mietenabbau (30. Tag) im ersten Kompostierungsversuch..... 186
Tabelle Anhang 16: Lebendkeimzahl aerober Bakterien und Enterobakterien-Keimzahl (jeweils in KBE/g) an den vier Messorten der zuletzt aufgebauten Mietenhälfte im Vergleich zur angelieferten und zum Mietenaufbau verwendeten Hähncheneinstreu auf Strohbasis bei der Umschichtung (13. Tag) sowie beim Mietenabbau (30. Tag) im ersten Kompostierungsversuch..... 186
Tabelle Anhang 17: Temperatur (in °C) und Luftfeuchtigkeit (in %) im Stall bei den zwei täglichen Messungen um 10 Uhr und um 18 Uhr während des ersten Kompostierungsversuchs..... 187
Tabelle Anhang 18: Temperatur (in °C) und Luftfeuchtigkeit (in %) außerhalb des Stalles bei den zwei täglichen Messungen um 10 Uhr und um 18 Uhr während des ersten Kompostierungsversuchs..... 188
Tabelle Anhang 19: Auflistung der während des ersten Kompostierungsversuchs angenommenen Rattenköderstationen in absteigender Reihenfolge der Gesamtmenge des gefressenen Ködergifts (in g Köder). 189
Tabelle Anhang 20: Auflistung der nach dem ersten Kompostierungsversuch angenommenen Rattenköderstationen in absteigender Reihenfolge der Gesamtmenge des gefressenen Ködergifts (in g Köder). 189
Tabelle Anhang 21: Detailliertes Arthropoden-Aufkommen im ersten Kompostierungsversuch. 190
Tabelle Anhang 22: Anzahl der Fliegen und Mücken pro Woche und insgesamt im ersten Kompostierungsversuch..... 192
Tabelle Anhang 23: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Konzentrationen von Staphylokokken, mesophilen und thermophilen Schimmelpilzen, Aktinomyceten und Salmonellen sowie Nachweis von *Clostridium* spec. und *Bacillus* spec. in der Stallluft während des Mietenabbaus sowie am Vortag im ersten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels Impinger)..... 193

Tabelle Anhang 24: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Konzentrationen von Staphylokokken, mesophilen und thermophilen Schimmelpilzen, Aktinomyceten und Salmonellen sowie Nachweis von *Clostridium* spec. und *Bacillus* spec. in der Stallluft während des Mietenabbaus sowie am Vortag im ersten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels PC-Filtern)..... 194

Tabelle Anhang 25: Konzentrationen von Staub (in mg/m³) und Endotoxinen (in EU/m³) in der Stallluft während des Mietenabbaus sowie am Vortag im ersten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels GF-Filtern). 194

Tabelle Anhang 26: Konzentrationen von Kohlendioxid (CO_2) und Ammoniak (NH_3) in der Stallluft (in ppm) an verschiedenen Messlokalisationen während des Mietenabbaus sowie am Vortag im ersten Kompostierungsversuch..... 195

Tabelle Anhang 27: Umgebungstemperatur (in °C) und Luftfeuchtigkeit (in %) zum Anfang und Ende der Messungen zum Arbeitsschutz während des Mietenabbaus sowie am Vortag im ersten Kompostierungsversuch. 195

Tabelle Anhang 28: Virusnachweis in Organproben, in der Eikultur bzw. in den Rachen- und Kloakentupfern der insgesamt 12 SPF-Hühner im Tierversuch (Az.: 06/1188) zur Erzeugung von Indikatortieren. 195

Tabelle Anhang 29: Antikörper-Titer der 12 SPF-Hühner im Tierversuch (Az.: 06/1188) zur Erzeugung von Indikatortieren. 196

Tabelle Anhang 30: Einzeltemperaturen in °C bei den zwei täglichen Messungen an den vier Messorten der mit Folien abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch zu den zwei täglichen Messzeiten um 10 Uhr und 18 Uhr. 197

Tabelle Anhang 31: Tagesdurchschnittstemperaturen in °C (arithmetischer Mittelwert aus den zweimal pro Tag an jedem Messort erhobenen Einzeltemperaturen) an den vier Messorten der mit Folien abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch. 198

Tabelle Anhang 32: Minimal- und Maximaltemperaturen an den vier Messorten der mit Folien abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch..... 199

Tabelle Anhang 33: Einzeltemperaturen in °C an den vier Messorten der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch zu den zwei täglichen Messungen jeweils um 10 Uhr und 18 Uhr. 200

Tabelle Anhang 34: Tagesdurchschnittstemperaturen in °C (arithmetischer Mittelwert aus den zweimal pro Tag an jedem Messort erhobenen Einzeltemperaturen) an den vier Messorten der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch. 201
Tabelle Anhang 35: Maximaltemperaturen an den vier Messorten vor und nach den Bewässerungen in der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch. 202
Tabelle Anhang 36: Minimaltemperaturen an den vier Messorten vor und nach den Bewässerungen in der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch. 202
Tabelle Anhang 37: Von zwei Untersuchungseinrichtungen (I und II) jeweils untersuchter Feuchtigkeitsgehalt (in %) an den vier Messorten der mit Folien sowie mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte im zweiten Kompostierungsversuch..... 202
Tabelle Anhang 38: Von zwei Untersuchungseinrichtungen (I und II) jeweils untersuchter Feuchtigkeitsgehalt (in %) der zum Mietenaufbau angelieferten Einstreumaterialien auf Stroh- bzw. Sägemehlbasis im zweiten Kompostierungsversuch. 203
Tabelle Anhang 39: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Keimzahl der Enterobakterien und Enterokokken (jeweils in KBE/g) an den vier Messorten der mit Folien abgedeckten Mietenhälfte beim Auf- und Abbau der Miete (1., 35. Tag) im zweiten Kompostierungsversuch. 203
Tabelle Anhang 40: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Keimzahl der Enterobakterien und Enterokokken (jeweils in KBE/g) an den vier Messorten der nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte beim Auf- und Abbau der Miete (1., 35. Tag) sowie am 27. Tag im zweiten Kompostierungsversuch..... 204
Tabelle Anhang 41: Temperatur (in °C) und Luftfeuchtigkeit (in %) im Stall bei den zwei täglichen Messungen um 10 Uhr und um 18 Uhr während des zweiten Kompostierungsversuchs..... 205
Tabelle Anhang 42: Temperatur (in °C) und Luftfeuchtigkeit (in %) außerhalb des Stalles bei den zwei täglichen Messungen um 10 Uhr und um 18 Uhr während des zweiten Kompostierungsversuchs. 206
Tabelle Anhang 43: Auflistung der während des zweiten Kompostierungsversuchs angenommenen Rattenköderstationen in absteigender Reihenfolge der Gesamtmenge des gefressenen Ködergifts (in g Köder). 207

Tabelle Anhang 44: Auflistung der nach dem zweiten Kompostierungsversuch angenommenen Rattenköderstationen in absteigender Reihenfolge der Gesamtmenge des gefressenen Ködergifts (in g Köder). 207
Tabelle Anhang 45: Detailliertes Arthropoden-Aufkommen im zweiten Kompostierungsversuch. 208
Tabelle Anhang 46: Anzahl der Fliegen und Mücken pro Woche und insgesamt im zweiten Kompostierungsversuch. 210
Tabelle Anhang 47: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Konzentrationen von Staphylokokken, mesophilen und thermophilen Schimmelpilzen, Aktinomyceten und Salmonellen sowie Nachweis von *Clostridium* spec. und *Bacillus* spec. in der Stallluft während des Mietenaufbaus sowie am Vortag im zweiten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels Impinger). 211
Tabelle Anhang 48: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Konzentrationen von Staphylokokken, mesophilen und thermophilen Schimmelpilzen, Aktinomyceten und Salmonellen sowie Nachweis von *Clostridium* spec. und *Bacillus* spec. in der Stallluft während des Mietenaufbaus sowie am Vortag im zweiten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels PC-Filtern). 211
Tabelle Anhang 49: Konzentrationen von Staub (in mg/m³) und Endotoxinen (in EU/m³) in der Stallluft während des Mietenaufbaus sowie am Vortag im zweiten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels GF-Filtern). 212
Tabelle Anhang 50: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Konzentrationen von Staphylokokken, mesophilen und thermophilen Schimmelpilzen, Aktinomyceten und Salmonellen sowie Nachweis von *Clostridium* spec. und *Bacillus* spec. in der Stallluft während des Mietenabbaus sowie am Vortag im zweiten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels Impinger). 212
Tabelle Anhang 51: Lebendkeimzahl aerober Bakterien sowie Konzentrationen von Staphylokokken, mesophilen und thermophilen Schimmelpilzen, Aktinomyceten und Salmonellen sowie Nachweis von *Clostridium* spec. und *Bacillus* spec. in der Stallluft während des Mietenabbaus sowie am Vortag im zweiten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels PC-Filtern). 213
Tabelle Anhang 52: Konzentrationen von Staub (in mg/m³) und Endotoxinen (in EU/m³) in der Stallluft während des Mietenabbaus sowie am Vortag im zweiten Kompostierungsversuch (Messungen zum Arbeitsschutz mittels GF-Filtern). 213

Tabelle Anhang 53: Konzentrationen von Ammoniak und Kohlendioxid (in ppm) auf der mit Folien abgedeckten und nur mit Stroh abgedeckten Mietenhälfte sowie an den zwei Messorten in Mietennähe im zweiten Kompostierungsversuch..... 214

Danksagung

Ich möchte mich bei all jenen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Insgesamt danke ich dem Niedersächsischen Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) für die finanzielle Förderung meiner Dissertation.

Mein besonderer Dank gilt...

...Herrn PD Dr. Martin Runge vom Lebensmittel- und Veterinärinstitut Braunschweig/Hannover des LAVES für seine Betreuung bei der Durchführung und Korrektur der vorliegenden Arbeit, für seine stete Erreichbarkeit bei offenen Fragen und für seinen fachlichen Rat.

...Herrn Prof. Dr. Gerald-Friedrich Gerlach von der Gesellschaft für innovative Veterinärdiagnostik (IVD GmbH) für seine Betreuung und Unterstützung bei der Durchführung sowie für seine Ratschläge, Korrekturen und Hinweise bei der Fertigstellung meiner Arbeit und sein stets offenes Ohr für meine Fragen.

...Herrn Prof. Dr. Günter Thalmann vom Lebensmittel- und Veterinärinstitut Oldenburg des LAVES für die jederzeit gewährte fachliche Beratung und seine wissenschaftlichen Anregungen und Hinweise.

...Frau Dr. Christa Jeske von der Task-Force Veterinärwesen des LAVES für die Betreuung und Hilfestellung bei der Durchführung und Fertigstellung der Arbeit.

...den anderen Mitarbeitern der Task-Force Veterinärwesen (LAVES), insbesondere Frau Dr. Ursula Gerdes, Herrn Dr. Josef Diekmann und Herrn Dr. Heiko Schmedt auf der Günne.

…Herrn Dr. Heinrich Kölling und Frau Dr. Barbara Gottstein vom Niedersächsischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung für die konzeptionelle Vorbereitung, Organisation und fachliche Unterstützung der Arbeit.

…Herrn Dr. Klaus-Peter Behr von der GESEVO GmbH insbesondere für die Beschaffung der Puten und der Einstreu sowie für die Organisation ihres Transports nach Norden, für die Begleitung der Versuche und für seine jederzeit gewährte Unterstützung in allen fachlichen Fragestellungen.

…Herrn Dr. Dieter Klarmann sowie Frau Dr. Gabriele Schleuter und Mitarbeitern im Lebensmittel- und Veterinärinstitut Oldenburg des LAVES für die mikrobiologischen Untersuchungen der Kompostproben, für ihre Hilfestellung und Beratung sowie für die Möglichkeit, die angewandten Untersuchungsmethoden im Labor praktisch wiederholen zu dürfen.

…Herrn Dr. Axel Nöckler und Herrn Dr. Andreas Moss und Team im Lebensmittel- und Veterinärinstitut Oldenburg des LAVES für die Untersuchung der Organ-, Rachen- und Kloakentupferproben aus dem Tierversuch und ihre Hilfestellung und Beantwortung meiner Fragen.

…Herrn Dr. Jona Freise, Leiter des Fachbereichs Schädlingsbekämpfung der Task-Force Veterinärwesen des LAVES, für die Organisation und Gestaltung der Schadnagerbekämpfung auf dem Hofgelände und seine jederzeit gewährte Hilfestellung.

…Frau Britta Oltmann aus dem Fachbereich Schädlingsbekämpfung der Task-Force Veterinärwesen des LAVES für die Mitarbeit beim Aufbau der Schadnagerbekämpfung sowie für das sorgfältige Auszählen und Bestimmen der Arthropoden und ihre jederzeit gewährte Unterstützung.

…Herrn Dr. Ulf Rasenack und Frau Dr. Brit Zierenberg vom Futtermittelinstitut Stade des LAVES für die Untersuchung des Feuchtigkeitsgehaltes der Kompostproben und ihre jederzeit gewährte Hilfestellung.

…Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Jörg Hartung vom Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie der Tierärztlichen Hochschule Hannover für die Ermöglichung und Organisation der Messungen zum Arbeitsschutz, für die Bereitstellung u.a. von Gasprüfröhrchen sowie für seine stetige Hilfestellung, wissenschaftlichen Anregungen, Ratschläge und Hinweise.

…Frau Annette Springorum für die Durchführung der Messungen zum Arbeitsschutz und Untersuchung der Proben sowie die immer freundliche Zusammenarbeit.

…Frau Dr. Jutta Verspohl vom Institut für Mikrobiologie der Tierärztlichen Hochschule Hannover für die weitere mikrobiologische Untersuchung der Proben aus den Messungen zum Arbeitsschutz und die Beantwortung meiner Fragen.

…Herrn Prof. Dr. Jens Seedorf für seine Unterstützung bei der Durchführung der Versuche.

…der Klinik für Geflügel der Tierärztlichen Hochschule Hannover für die finanzielle Förderung sowie insbesondere Herrn Prof. Dr. Ulrich Neumann für die Möglichkeit der Unterbringung der Versuchstiere und die Nutzung der klinikeigenen Bibliothek sowie für die jederzeit gewährte Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit und der persönlichen Bekanntmachung und Möglichkeit zur gemeinsamen Diskussion mit Herrn Dr. John Lloyd Spencer (Canadian Food Inspection Agency).

…Herrn Dr. John Lloyd Spencer für seine fachlichen Anregungen.

…Herrn Dr. Bud Malone (Universität von Delaware, USA) für die anregenden fachlichen Diskussionen.

…Herrn Dr. Beyerbach vom Institut für Biometrie, Epidemiologie und Informationsverarbeitung der Tierärztlichen Hochschule Hannover für die Beratung bei der Auswertung der Ergebnisse und bei Statistikfragen.

…Herrn Dipl.-Ing. Konrad Könnecke und Herrn Dipl.-Ing. Rainer Thomes vom LAVES sowie Herrn Karl-Heinz Linkert vom Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie der Tierärztlichen Hochschule Hannover für die Unterstützung bei allen technischen Fragestellungen.

…Herrn Jörg Merkel vom Institut für Mikrobiologie der Tierärztlichen Hochschule Hannover für die zuverlässige Erreichbarkeit und jederzeit gewährte Unterstützung in allen Fragen rund um den PC.

…Frau Maren Sommer von der Bibliothek der Tierärztlichen Hochschule Hannover für die Beschaffung der von mir gewünschten Veröffentlichungen.

…der Firma Lohmann Animal Health für die Bereitstellung der SPF-Tiere für den Tierversuch.

…dem Thermografie-Büro Heiling in Norden für die Übernahme der Wärmebildkamera-aufnahmen.

…der Firma Tell Bau GmbH in Norden für die Bereitstellung eines Baugerüstes.

…Gertrud und Heinrich Wäcken, Norden-Ostermarsch, für die Bereitstellung ihres Stalles zur Durchführung der Kompostierungsversuche und für die liebevolle Aufnahme in der Versuchszeit.

…meinen Freunden und besonders Familie Wilk für die liebevolle Begleitung.

…meinem Bruder Michael Schwarzlose und seiner Lebensgefährtin Tanja Hildmann für ihr jederzeit offenes Ohr und ihre Unterstützung.

…meinen Eltern Christine und Rainer Schwarzlose für ihre Liebe, ihr Verständnis, ihre Unterstützung in jeglicher Hinsicht und den bedingungslosen Halt.

…meinem Vater außerdem für die Durchsicht meiner Arbeit und die Korrekturanregungen.

…und Dir, mein lieber Tomasz, für Deine Hilfsbereitschaft und für das interessierte Zuhören jeglicher Dir fremder Themenausführungen, für Deine Unterstützung und für Deine Liebe.

In memoriam danke ich meinen Großeltern für die stets liebevolle Unterstützung.