

Hygienische Anforderungen in der biologischen Abfallbehandlung

Autoren

**Dr. W. H. Philipp
Prof. Dr. Dr. h. c. D. Strauch †**

Universität Stuttgart Hohenheim 2016

©

1 Einleitung

Eine nachhaltige Produktion von Nahrungsmitteln kann nur durch schonendem Umgang mit der Umwelt und dem Erhalt der natürlichen Ressourcen Boden, Wasser, Luft und der biologischen Vielfalt erfolgen. Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, müssen u. a. unbehandelte Abfälle und organische Dünger einer Behandlung unterzogen werden, damit sie umweltverträglich in der Landwirtschaft zur Düngung der Nutzpflanzen verwendet werden können.

Viele der unbehandelten pflanzlichen und tierischen Abfälle enthalten eine Vielzahl von Erregern unterschiedlichster Pathogenität und Antibiotikaresistenz, i.e. Humanpathogene, Tierpathogene und Zoonoseerreger.

Die Aufbringung von unbehandelten organischen Düngern auf die Bodenfläche stellt daher ein ständiges seuchenhygienisches Risikopotential für Pflanzen, Böden und Grundwasser und somit ein Infektionsrisiko für Mensch und Tier durch Futter- und Lebensmittel pflanzlicher Herkunft dar. Da dieses Infektionsrisiko für verschiedene Erreger und Dünger sehr unterschiedlich zu beurteilen ist, besteht eine relativ hohe Unsicherheit für die Risikobewertung einer möglichen Kontamination von Pflanzen mit pathogenen Bakterien im Zusammenhang der aus Abfällen hergestellten organischen Dungemitteln (BML, 2015).

Das Risiko eines Eintrags von Pathogenen fäkalen Ursprungs in die Nahrungskette des Menschen oder von Tieren ist zwar reduziert, wenn aus Abfällen hergestellte organische Dünger bestimmungsgemäß verwertet und unter Beachtung der bestehenden Ausbringungsverbote und der Wartezeiten angewendet werden. Ein erhöhtes epidemiologisches Risiko liegt allerdings dann vor, wenn organische Dünger überbetrieblich eingesetzt und dadurch neue epidemiologisch relevante Infektionsketten geschaffen werden können. Eine Reduzierung bzw. Inaktivierung von Pathogenen in Abfällen kann durch verschiedene Behandlungsmaßnahmen (aerobe (Kompostierung) und anaerobe (Biogas) Behandlung, Lagerung etc.) erfolgen.

Ein phytohygienisches Risiko liegt vor, wenn Ausgangsstoffe einen Befall oder eine äußerliche Kontamination mit pflanzlichen Schadorganismen aufweisen und die relevanten Schadorganismen in den Ausgangsstoffen überdauern, ggf. eine Behandlung überstehen und nach einer Ausbringung des organischen Dungemittels erneut Wirtspflanzen infizieren können.

Pflanzliche Stoffe mit hohem Risiko sind vor der Verwendung als Dungemittel einer hygienisierenden Behandlung zu unterziehen. Bekanntermaßen mit Quarantäneschadorganismen der Kartoffel befallene pflanzliche Stoffe dürfen nicht als Ausgangsstoffe von Dungemitteln verwendet werden, d. h. es greifen spezifische pflanzengesundheitliche Regelungen (Pflanzenbeschauverordnung u.a.). Darüber hinaus sollte einer unbeabsichtigten Einbringung von Quarantäneschadorganismen der Kartoffel in Dungemittel vorgebeugt werden, indem z.B. Abwässer und Abfälle aus der gewerblichen Kartoffel- und Rübenver- und bearbeitung nicht als Ausgangsstoffe für Dungemittel zugelassen werden (BMEL, 2015; KTBL, 2015).

1.1 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz

Bereits in 1994 wurde in der Bundesrepublik Deutschland ein Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen (Abfall) verkündet, und am 7. Oktober 1994 sind die darin enthaltenen Ermächtigungen zum Erlass von Rechtsverordnungen in Kraft getreten. Dieses Gesetz wurde mehrfach geändert und am 24. Februar 2012 durch das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG) abgelöst, zuletzt geändert durch Artikel 4 G. v. 04.04.2016 (BGBl. I S. 569).

§ 12 Qualitätssicherung im Bereich der Bioabfälle und Klärschlämme

- (1) *Zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und zur Sicherstellung des Schutzes von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Bioabfällen und Klärschlämmen nach Maßgabe der hierfür geltenden Rechtsvorschriften können die Träger der Qualitätssicherung und die Qualitätszeichennehmer eine regelmäßige Qualitätssicherung einrichten.*
- (2) *Qualitätszeichennehmer ist eine natürliche oder juristische Person, die*
 1. *gewerbsmäßig, im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmen oder öffentlicher Einrichtungen Bioabfälle oder Klärschlämme erzeugt, behandelt oder verwertet und*
 2. *in Bezug auf erzeugte, behandelte oder verwertete Bioabfälle oder Klärschlämme, auch in Mischungen mit anderen Abfällen, Stoffen oder Materialien, über ein Qualitätszeichen eines Trägers der Qualitätssicherung verfügt.*
- (3) *Das Qualitätszeichen darf nur erteilt werden, wenn der Qualitätszeichennehmer*
 1. *die für die Sicherung der Qualität der Bioabfälle oder Klärschlämme erforderlichen Anforderungen an die Organisation, die personelle, gerätetechnische und sonstige Ausstattung sowie an die Zuverlässigkeit und Fach- und Sachkunde seines Personals erfüllt,*
 2. *die Anforderungen an die Qualitätssicherung, insbesondere zur Minderung von Schadstoffen, zur Gewährleistung der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit erfüllt und*
 3. *sich verpflichtet, die Erfüllung der Anforderungen nach den Nummern 1 und 2 im Rahmen einer fortlaufenden Überwachung gegenüber dem Träger der Qualitätssicherung darzulegen.*
- (4) *Der Qualitätszeichennehmer darf das Qualitätszeichen nur führen, soweit und solange es ihm vom Träger der Qualitätssicherung erteilt ist.*
- (5) *Ein Träger der Qualitätssicherung ist ein rechtsfähiger Zusammenschluss von Erzeugern oder Bewirtschaftern von Bioabfällen oder Klärschlämmen, Fachverbänden sowie von fachkundigen Einrichtungen, Institutionen oder Personen. Der Träger der Qualitätssicherung bedarf der Anerkennung der zuständigen Behörde. Die Erteilung des Qualitätszeichens erfolgt auf der Grundlage einer Satzung, eines Überwachungsvertrages oder einer sonstigen für den Qualitätszeichennehmer verbindlichen Regelung, die insbesondere die Anforderungen an die Qualitätszeichennehmer, an die von diesen erzeugten, behandelten oder verwerteten Bioabfälle oder Klärschlämme und an deren Überwachung festlegt.*
- (6) *Der Träger der Qualitätssicherung hat sich für die Überprüfung der Qualitätszeichennehmer Sachverständiger zu bedienen, die die für die Durchführung der Überwachung erforderliche Zuverlässigkeit, Unabhängigkeit sowie Fach- und Sachkunde besitzen.*

- (7) Die Bundesregierung wird ermächtigt, nach Anhörung der beteiligten Kreise (§ 68) durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates Anforderungen an die Qualitätssicherung von Bioabfällen und Klärschlämmen vorzuschreiben. In der Rechtsverordnung können insbesondere
1. Anforderungen an die Maßnahmen zur Qualitätssicherung, einschließlich deren Umfang bestimmt werden,
 2. Anforderungen an die Organisation, die personelle, gerätetechnische und sonstige Ausstattung und die Tätigkeit eines Qualitätszeichennehmers bestimmt sowie ein ausreichender Haftpflichtversicherungsschutz gefordert werden,
 3. Anforderungen an den Qualitätszeichennehmer und die bei ihm beschäftigten Personen, insbesondere Mindestanforderungen an die Fach- und Sachkunde und die Zuverlässigkeit sowie an deren Nachweis, bestimmt werden,
 4. Anforderungen an die Tätigkeit der Träger der Qualitätssicherung, insbesondere an deren Bildung, Auflösung, Organisation und Arbeitsweise, einschließlich der Bestellung, Aufgaben und Befugnisse der Prüforgane sowie Mindestanforderungen an die Mitglieder dieser Prüforgane, bestimmt werden,
 5. Mindestanforderungen an die für die Träger der Qualitätssicherung tätigen Sachverständigen sowie deren Bestellung, Tätigkeit und Kontrolle bestimmt werden,
 6. Anforderungen an das Qualitätszeichen, insbesondere an die Form und den Inhalt, sowie an seine Erteilung, seine Aufhebung, sein Erlöschen und seinen Entzug bestimmt werden,
 7. die besonderen Voraussetzungen, das Verfahren, die Erteilung und die Aufhebung der Anerkennung des Trägers der Qualitätssicherung durch die zuständige Behörde geregelt werden,
 8. für die erforderlichen Erklärungen, Nachweise, Benachrichtigungen oder sonstigen Daten die elektronische Führung und die Vorlage von Dokumenten in elektronischer Form gemäß § 3a Absatz 2 Satz 2 und 3 des Verwaltungsverfahrensgesetzes angeordnet werden.

§ 15 Grundpflichten der Abfallbeseitigung

- (1) Die Erzeuger oder Besitzer von Abfällen, die nicht verwertet werden, sind verpflichtet, diese zu beseitigen, soweit in § 17 nichts anderes bestimmt ist. Durch die Behandlung von Abfällen sind deren Menge und Schädlichkeit zu vermindern. Energie oder Abfälle, die bei der Beseitigung anfallen, sind hochwertig zu nutzen.
- (2) Abfälle sind so zu beseitigen, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird. Eine Beeinträchtigung liegt insbesondere dann vor, wenn
1. die Gesundheit der Menschen beeinträchtigt wird
 2. Tiere oder Pflanzen gefährdet werden,
 3. Gewässer oder Böden schädlich beeinflusst werden,

4. schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen oder Lärm herbeige-führt werden
5. die Ziele oder Grundsätze und sonstigen Erfordernisse der Raumordnung nicht beachtet oder die Belange des Naturschutzes, der Landschaftspflege sowie des Städtebaus nicht berücksichtigt werden oder
6. die öffentliche Sicherheit oder Ordnung in sonstiger Weise gefährdet oder gestört wird.

(3) Soweit dies zur Erfüllung der Anforderungen nach den Absätzen 1 und 2 erforderlich ist, sind Abfälle zur Beseitigung getrennt zu halten und zu behandeln. § 9 Absatz 2 gilt entsprechend.

§ 33 Abfallvermeidungsprogramme

- (1) Der Bund erstellt ein Abfallvermeidungsprogramm. Die Länder können sich an der Erstellung des Abfallvermeidungsprogramms beteiligen. In diesem Fall leisten sie für ihren jeweiligen Zuständigkeitsbereich eigenverantwortliche Beiträge; diese Beiträge werden in das Abfallvermeidungsprogramm des Bundes aufgenommen.
- (2) Soweit die Länder sich nicht an einem Abfallvermeidungsprogramm des Bundes beteiligen, erstellen sie eigene Abfallvermeidungsprogramme.
- (3) Das Abfallvermeidungsprogramm
 1. legt die Abfallvermeidungsziele fest; die Ziele sind darauf gerichtet, das Wirtschaftswachstum und die mit der Abfallerzeugung verbundenen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu entkoppeln
 2. stellt die bestehenden Abfallvermeidungsmaßnahmen dar und bewertet die Zweckmäßigkeit der in Anlage 4 angegebenen oder anderer geeigneter Abfallvermeidungsmaßnahmen,
 3. legt, soweit erforderlich, weitere Abfallvermeidungsmaßnahmen fest und
 4. gibt zweckmäßige, spezifische, qualitative oder quantitative Maßstäbe für festgelegte Abfallvermeidungsmaßnahmen vor, anhand derer die bei den Maßnahmen erzielten Fortschritte überwacht und bewertet werden; als Maßstab können Indikatoren oder andere geeignete spezifische qualitative oder quantitative Ziele herangezogen werden.
- (4) Beiträge der Länder nach Absatz 1 oder Abfallvermeidungsprogramme der Länder nach Absatz 2 können in die Abfallwirtschaftspläne nach § 30 aufgenommen oder als eigenständiges umweltpolitisches Programm oder Teil eines solchen erstellt werden. Wird ein Beitrag oder ein Abfallvermeidungsprogramm in den Abfallwirtschaftsplan oder in ein anderes Programm aufgenommen, sind die Abfallvermeidungsmaßnahmen deutlich auszuweisen.
- (5) Die Abfallvermeidungsprogramme sind erstmals zum 12. Dezember 2013 zu erstellen, alle sechs Jahre auszuwerten und bei Bedarf fortzuschreiben. Bei der Aufstellung oder Änderung von Abfallvermeidungsprogrammen ist die Öffentlichkeit von der zuständigen Behörde entsprechend § 32 Absatz 1 bis 4 zu beteiligen. Zuständig für die Erstellung des Abfallvermeidungsprogramms des Bundes ist das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit oder eine von diesem zu bestimmende Behörde. Das

Abfallvermeidungsprogramm des Bundes wird im Einvernehmen mit den fachlich betroffenen Bundesministerien erstellt.

1.2 Verwertung in der landwirtschaftlichen Düngung- Deutschland

In Deutschland wird weiterhin eine steigende Tendenz der Nutzung biogener Abfälle durch die Kreislaufwirtschaft beobachtet. Das Ziel sind wertvolle Dünger, die nur unter Berücksichtigung nachfolgend aufgeführter gesetzlicher Vorgaben verwertet werden dürfen. Düngeverordnung (DÜV) In § 1 regelt die Verordnung regelt die gute fachliche Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie das Vermindern von stofflichen Risiken durch die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und auf anderen Flächen, soweit diese Verordnung dies ausdrücklich bestimmt. Neben den Grundsätzen der Anwendung von Düngemittel werden in § 8 Anwendungsbeschränkungen und Anwendungsverbote ausgeführt.

- (1) *Düngemittel außer Wirtschaftsdünger dürfen nur angewendet werden, wenn sie einem durch die Düngemittelverordnung oder durch die Verordnung (EG) 2003/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über Düngemittel (ABl. EU Nr. L 304 S. 1) zugelassenen Typ entsprechen. Wirtschaftsdünger, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel dürfen nur angewendet werden, wenn sie den Bestimmungen der Düngemittelverordnung hinsichtlich der Zusammensetzung und sachgerechter Angabe der Inhaltsstoffe entsprechen. Ausgenommen von Satz 2 sind Wirtschaftsdünger, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel, die ausschließlich aus Stoffen, die im eigenen Betrieb angefallen sind, erzeugt wurden. Die nach Landesrecht zuständige Stelle kann auf Antrag Ausnahmen von Satz 2 zulassen.*
- (2) *Die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten oder Pflanzenhilfsmitteln, die unter Verwendung von Knochenmehl, Fleischknochenmehl oder Fleischmehl hergestellt wurden, ist auf landwirtschaftlich genutztem Grünland und zur Kopfdüngung im Gemüse- oder Feldfutterbau verboten. Wer die in Satz 1 bezeichneten Stoffe auf sonstigen landwirtschaftlich genutzten Flächen aufbringt, hat diese sofort einzuarbeiten.*
- (3) *Die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten oder Pflanzenhilfsmitteln, zu deren Herstellung Kieselgur verwendet wurde, ist auf bestelltem Ackerland, Grünland, im Feldfutterbau sowie auf Flächen, die für den Gemüse- oder bodennahen Obstbau vorgesehen sind, verboten. Wer die in Satz 1 bezeichneten Stoffe auf sonstigen landwirtschaftlich genutzten Flächen aufbringt, hat diese sofort einzuarbeiten. Die Anwendung von trockenen Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten oder Pflanzenhilfsmitteln, zu deren Herstellung Kieselgur verwendet wurde, ist verboten. Die Anwendung der in den Sätzen 1 und 3 bezeichneten Stoffe außerhalb landwirtschaftlich genutzter Flächen ist verboten.*

- (4) Düngemittel mit der Kennzeichnung "zur Düngung von Rasen" oder "zur Düngung von Zierpflanzen" nach Anlage 1 Abschnitt 5 der Düngemittelverordnung dürfen nur zur Düngung dieser Kulturen verwendet werden.

Die DüV wird aktuell novelliert und unterliegt dem Notifizierungsverfahren der Europäischen Kommission. Seitens der EU-Kommission wurde eine sogenannte „ausführliche Stellungnahme“ abgegeben die bedeutet, dass an dem von der Deutschen Bundesregierung vorgelegtem Entwurf der Verordnung wesentliche Änderungen eingefordert werden. Die Änderungspunkte sind im Einzelnen nicht bekannt; jedenfalls muss der Entwurf nachgebessert werden. Eine Novellierung der Düngeverordnung ist daher erst im 2. Halbjahr 2016 zu erwarten.

1.2.1 Düngemittelverordnung

Die Düngemittelverordnung regelt die Zulassung von Düngemitteltypen, das Inverkehrbringen, die Kennzeichnung von Düngemitteln und in § 5 konkrete Forderungen an die Seuchen- und Phytohygiene.

§ 5 Anforderungen an die Seuchen- und Phytohygiene

- (1) *Die Erfüllung der Anforderungen nach § 3 Absatz 1 Nummer 1 und nach § 4 Absatz 1 Nummer 1 setzt voraus, dass keine Krankheitserreger, Toxine oder Schaderreger enthalten sind, von denen Gefahren für die Gesundheit von Menschen, Tieren und Nutzpflanzen ausgehen.*
- (2) *Die Anforderungen nach Absatz 1 gelten als nicht eingehalten:*
1. *hinsichtlich seuchenhygienischer Eigenschaften, wenn in 50 Gramm Probenmaterial Salmonellen gefunden werden,*
 2. *hinsichtlich phytohygienischer Eigenschaften, wenn Ausgangsstoffe pflanzlicher Herkunft, auch in Mischungen, verwendet werden, die von widerstandsfähigen Schadorganismen, insbesondere*
 - a) *von einem der in der Richtlinie 2000/29/EG genannten Schadorganismus,*
 - b) *thermoresistenter Viren, insbesondere solche aus der Tobamovirus-Gruppe oder*
 - c) *pilzlichen Erregern mit widerstandsfähigen Dauerorganen, insbesondere Synchytrium endobioticum, Sclerotinia-Arten, Rhizoctonia solani, Plasmodiophora brassicae befallen sind und nicht einer geeigneten hygienisierenden Behandlung unterzogen wurden.*
- (3) *Die seuchenhygienischen Anforderungen gelten bei der Abgabe an Personen, die Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit anwenden, abweichend von Absatz 2 Nummer 1 als eingehalten, wenn*
1. *im Rahmen der Hinweise zur sachgerechten Anwendung auf die bestehende Belastung hingewiesen wird und folgende als Anwendungsvorgaben gekennzeichnete Hinweise gegeben werden:*

- a) auf Ackerland ist die Anwendung ausschließlich auf unbestelltem Ackerland und bei sofortiger Einarbeitung in den Boden zulässig, es sei denn, die Ausbringung erfolgt in Wintergetreide und Winterraps bis zum Schosserstadium (EC 30) mit bodennaher Ausbringungstechnik,
 - b) die Ausbringung auf unbestellte Ackerflächen mit nachfolgendem Gemüse- oder Kartoffelanbau oder dem nachfolgenden Anbau von Heil-, Duft- und Gewürzkräutern ist nicht zulässig,
 - c) auf Grünland und Futterbauflächen ist ein zeitlicher Abstand von 6 Wochen bis zur nächsten Nutzung einzuhalten und
 - d) die Ausbringung in Zonen I und II von Wasserschutzgebieten ist nicht zulässig und
2. im Fall der Verwendung von Klärschlamm als Ausgangsstoff deren Abgabe nur zur Aufbringung auf Flächen erfolgt, die im Zuständigkeitsbereich der am Sitz der Kläranlage für den Vollzug der Düngeverordnung zuständigen landwirtschaftlichen Fachbehörde liegen, es sei denn, der Abgeber ist Mitglied eines Trägers einer regelmäßigen Qualitätsüberwachung, welche die ordnungsgemäße Aufbringung sichert.
- (4) Absatz 2 Nummer 1 und Absatz 3 gelten nicht für Wirtschaftsdünger, außer Wirtschaftsdünger, die in einem von mehreren Landwirten genutzten gemeinschaftlichen Güllelager aufbewahrt werden. In diesem Fall gelten die seuchenhygienischen Anforderungen als eingehalten, wenn sichergestellt ist, dass die Wirtschaftsdünger ausschließlich in den Betrieben der Landwirte angefallen sind, die an der Nutzung des Güllelagers beteiligt sind, und ausschließlich auf den Flächen dieser Landwirte ausgebracht werden.

1.2.2 Verwertung in der landwirtschaftlichen Düngung- Europa

Die seit 2003 „geltende Düngemittelverordnung“ der EU, VERORDNUNG (EG) Nr. 2003/2003 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 13. Oktober 2003 hat gezeigt, dass insbesondere innovative Düngeprodukte, die oft Nährstoffe oder andere organische Stoffe enthalten, welche im Einklang mit dem Kreislaufwirtschaftsmodell aus Bioabfällen oder anderen sekundären Rohstoffen recycelt wurden, wegen unterschiedlicher nationaler Vorschriften und Normen nur schwer Zugang zum europäischen Binnenmarkt finden.

Für den Bereich der landwirtschaftlichen Düngung existiert daher seit 17. März 2016 ein Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates mit Vorschriften für die Bereitstellung von Düngeprodukten mit CE-Kennzeichnung auf dem Markt und zur Veränderung der Verordnungen (EG) Nr. 1069/2009 und (EG) Nr. 1107/2009.

Rund 50 % der Düngemittel, die derzeit auf dem Markt sind, entgehen jedoch dem Anwendungsbereich der noch geltenden Verordnung. Dies gilt für einige anorganische Düngemittel und praktisch alle Düngemittel aus organischen Stoffen, wie tierischen oder sonstigen landwirtschaftlichen Nebenerzeugnissen oder recycelten Bioabfällen aus der Lebensmittelkette. Forschung, Innovation und Investition entwickeln sich derzeit rasch und tragen zur Kreislaufwirtschaft bei, indem lokale Arbeitsplätze geschaffen und sekundäre, in der EU bezogene

Ressourcen verwertet werden, die ansonsten direkt auf Bodenflächen ausgebracht oder in Deponien entsorgt worden wären, was unnötigerweise Eutrophierung und Treibhausgase verursacht hätte. Es gibt in der Wirtschaft auch einen Trend zur Servitization; die Produkte werden immer besser auf den Kunden zugeschnitten, ausgehend von einer Analyse der zu düngenden Böden. KMU und andere Unternehmen in ganz Europa sind zunehmend daran interessiert, zu dieser Entwicklung beizutragen. Für kundenspezifische Produkte, die organische Düngemittel enthalten, hängt der Zugang zum Binnenmarkt derzeit von der gegenseitigen Anerkennung ab und ist daher oft behindert.

Die geltende Düngemittelverordnung in der EU geht nicht darauf ein, dass die Kontamination von Böden, Binnengewässern, Meeren und letzten Endes Lebensmitteln durch EG-Düngemittel Umweltprobleme zur Folge hat. Ein weithin anerkanntes Problem ist das Vorhandensein von Cadmium in anorganischen Phosphatdüngern. Da EU-Grenzwerte fehlen, haben einige Mitgliedstaaten einseitig unter Berufung auf Artikel 114 AEUV Cadmiumhöchstgehalte in EG-Düngemitteln festgelegt, so dass auch im harmonisierten Bereich Einzelmärkte entstanden sind. Das Vorhandensein von Kontaminanten in Düngemitteln, die derzeit national geregelt sind (z. B. in durch Recycling aus Klärschlamm gewonnenen Nährstoffen), wirft ähnliche Bedenken auf.

Ein weiteres Ziel ist es daher, dieses Problem anzugehen und einheitliche Grenzwerte für Cadmium in Phosphatdüngern festzulegen. Solche Grenzwerte, mit denen die negativen Auswirkungen der Anwendung von Düngemitteln auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit auf ein Minimum beschränkt werden sollen, tragen zur Verringerung der Cadmiumanreicherung im Boden und der Cadmiumkontamination von Lebensmitteln und Wasser bei. Gleichzeitig werden die Markthindernisse beseitigt, die durch die in einigen besorgten Mitgliedstaaten festgesetzten Cadmiumgrenzwerte entstanden sind.

Der Vorschlag zu einer neuen Verordnung soll die Verbesserung der Funktionsweise des Binnenmarkts für Düngeprodukte bewirken. Rechtsgrundlage ist daher Artikel 114 des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union, der auch die Rechtsgrundlage für die geltende Düngemittelverordnung ist.

2 Vorgaben der Bioabfallverordnung (BioAbfV)

Die Bioabfallverordnung ist in Deutschland die wichtigste Vorgabe für die Behandlung von Bioabfällen. Im folgenden sind die wesentlichen Paragraphen abgedruckt. Der gesamte Text ist in Anhang 1 beigefügt.

Geltungsbereich

Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung – BioAbfV).

§ 1 Anwendungsbereich

Diese Verordnung gilt für

1. *unbehandelte und behandelte Bioabfälle und Gemische, die zur Verwertung als Düngemittel auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden aufgebracht oder zum Zweck der Aufbringung abgegeben werden sowie*
2. *die Behandlung und Untersuchung solcher Bioabfälle und Gemische.*

(2) Diese Verordnung gilt für

1. *öffentlicht-rechtliche Entsorgungsträger und Dritte, Verbände oder Selbstverwaltungskörperschaften der Wirtschaft, denen nach § 16 Absatz 2, § 17 Absatz 3 oder § 18 Absatz 2 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 6. Oktober 2011 (BGBl. I S. 1986) geändert worden ist, Pflichten zur Verwertung von Bioabfällen übertragen worden sind (Entsorgungsträger),*
2. *Erzeuger oder Besitzer von Bioabfällen oder Gemischen, soweit sie diese Abfälle nicht einem Entsorgungsträger überlassen,*
- 2a. *denjenigen, der Bioabfälle einsammelt und transportiert (Einsammler),*
3. *denjenigen, der Bioabfälle behandelt (Bioabfallbehandler),*
4. *Hersteller von Gemischen unter Verwendung von Bioabfällen (Gemischhersteller),*
- 4a. *denjenigen, der Bioabfälle oder Gemische zur Aufbringung annimmt und diese ohne weitere Veränderung abgibt (Zwischenabnehmer) sowie Bewirtschafter von landwirtschaftlich, gärtnerisch oder forstwirtschaftlich genutzten Böden, auf denen unbehandelte oder behandelte Bioabfälle oder Gemische aufgebracht werden sollen oder aufgebracht werden.*

(3) Diese Verordnung gilt nicht

1. *für Haus-, Nutz- und Kleingärten,*
2. *für die Eigenverwertung von Bioabfällen pflanzlicher Herkunft in landwirtschaftlichen Betrieben oder Betrieben des Garten- und Landschaftsbaus, wenn die Verwertung nach Maßgabe der §§ 6 bis 8 auf selbst bewirtschafteten Betriebsflächen gewährleistet ist,*
3. *soweit die Klärschlammverordnung Anwendung findet,*

3a. für tierische Nebenprodukte, die nach der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments 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) (ABl. L 300 vom 14.11.2009, S. 1), die durch die Richtlinie 2010/63/EU (Abl. L 276 vom 20.10.2010, S. 33) geändert worden ist, in der jeweils geltenden Fassung, nach den zu ihrer Durchführung ergangenen Rechtsakten der Europäischen Union, nach dem Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz vom 25. Januar 2004 (BGBl. I S. 82), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 91 des Gesetzes vom 22. Dezember 2011 (BGBl. I S. 3044) geändert worden ist, in der jeweils geltenden Fassung oder nach den auf Grund des Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetzes erlassenen Rechtsverordnungen abzuholen, zu sammeln, zu befördern, zu lagern, zu behandeln, zu verarbeiten, zu verwenden, zu beseitigen oder in Verkehr zu bringen sind, oder

4. für Stoffe, die nach anderen Rechtsvorschriften entsorgt werden müssen.

- (4) Die Vorschriften des Düngemittelrechts und des Pflanzenschutzrechts bleiben unberührt. Werden Bioabfälle und tierische Nebenprodukte im Sinne des Absatzes 3 Nummer 3a gemeinsam behandelt oder zur Gemischherstellung verwendet und auf Böden aufgebracht, gelten die Vorschriften dieser Verordnung neben den in Absatz 3 Nummer 3a genannten Vorschriften.
- (5) Die in Absatz 2 Genannten wirken darauf hin, dass die in dieser Verordnung genannten Schadstoffhöchstwerte für unbehandelte und behandelte Bioabfälle und Gemische soweit wie möglich unterschritten werden. Generelle Anbaubeschränkungen oder sonstige in dieser Verordnung nicht genannte Beschränkungen lassen sich aus dem Erreichen oder Überschreiten der Bodenwerte nach § 9 Absatz 2 nicht herleiten.

§ 3 Anforderungen an die hygienisierende Behandlung

- (1) Entsorgungsträger, Erzeuger und Besitzer haben, soweit nicht von einer Freistellung nach § 10 Absatz 1 oder Absatz 2 erfasst, Bioabfälle vor einer Aufbringung oder vor der Herstellung von Gemischen einer hygienisierenden Behandlung zuzuführen, welche die seuchen- und phytohygienische Unbedenklichkeit gewährleistet.
- (2) Die seuchen- und phytohygienische Unbedenklichkeit nach Absatz 1 ist gegeben, wenn keine Beeinträchtigung der Gesundheit von Mensch oder Tier durch Freisetzung oder Übertragung von Krankheitserregern und keine Schäden an Pflanzen, Pflanzenerzeugnissen oder Böden durch die Verbreitung von Schadorganismen zu besorgen sind. Die im Einzelnen einzuhaltenden Anforderungen an die hygienisierende Behandlung und die Materialien sind im Anhang 2 festgelegt.
- (3) Der Bioabfallbehandler hat die hygienisierende Behandlung der Bioabfälle nach den in Anhang 2 festgelegten Vorgaben durchzuführen, um die seuchen- und phytohygienische Unbedenklichkeit der Bioabfälle nach der Behandlung und bei der Abgabe oder der Aufbringung auf selbst bewirtschaftete Betriebsflächen sicherzustellen. Die zuständige Behörde kann im Einvernehmen mit der zuständigen landwirtschaftlichen und tierärztlichen Fachbehörde bei aerober oder anaerober hygienisierender Behandlung von Bioabfällen in

Anlagen mit einer jährlichen Kapazität von bis zu 3 000 Tonnen Einsatzmaterialien Ausnahmen von den in Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 und Anhang 2 enthaltenen Anforderungen an die Prozessprüfung im Einzelfall zulassen. Voraussetzung dafür ist, dass durch ausgleichende Maßnahmen die seuchen- und phytohygienische Unbedenklichkeit gewährleistet wird oder nach Art, Beschaffenheit und Herkunft der Bioabfälle keine Beeinträchtigung seuchen- und phytohygienischer Belange zu erwarten ist. Die zuständige Behörde kann im Einvernehmen mit der zuständigen landwirtschaftlichen und tierärztlichen Fachbehörde eine anderweitige hygienisierende Behandlung nach § 2 Nummer 2 Buchstabe d im Einzelfall zulassen, wenn eine gleichwertige Wirksamkeit der Hygienisierung gemessen an den Anforderungen des Anhangs 2 nachgewiesen wird. Nach anderen Vorgaben behandelte Bioabfälle gelten als anderweitig hygienisierend behandelt gemäß § 2 Nummer 2 Buchstabe d, soweit diese andere Möglichkeit der Bioabfallbehandlung in Anhang 1 Nummer 1 Spalte 3 mit einem Verweis auf diesen Satz aufgeführt ist.

- (4) *Der Bioabfallbehandler hat, soweit nicht von einer Freistellung nach § 10 Absatz 1 oder Absatz 2 erfasst, Untersuchungen nach Maßgabe der Absätze 5 bis 9 durchführen zu lassen auf*
- 1. die Wirksamkeit des Hygienisierungsverfahrens durch eine Prozessprüfung, davon abweichend bei Pasteurisierungsanlagen durch eine technische Abnahme,*
 - 2. die Einhaltung der erforderlichen Temperatur über die notwendige Dauer während der hygienisierenden Behandlung durch Prozessüberwachung und*
 - 3. die Einhaltung der höchstzulässigen Grenzwerte für Krankheitserreger, keimfähige Samen und austiebsfähige Pflanzenteile nach der hygienisierenden Behandlung am abgabefertigen Material durch Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle.*

Für die Untersuchungen sind die in Anhang 2 Nummer 4 festgelegten Methoden anzuwenden.

- (5) *Der Bioabfallbeandler hat die Prozessprüfung gemäß Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 innerhalb von zwölf Monaten nach Inbetriebnahme einer neu errichteten Behandlungsanlage zur Hygienisierung nach den Vorgaben des Anhangs 2 Nummer 3.1 durchführen zu lassen. Dies gilt entsprechend für bereits geprüfte Anlagen bei Einsatz neuer Verfahren oder wesentlicher technischer Änderung der Verfahren oder der Prozessführung. Bei neu errichteten Pasteurisierungsanlagen hat der Bioabfallbeandler anstelle der Prozessprüfung vor der Inbetriebnahme eine technische Abnahme nach den Vorgaben des Anhangs 2 Nummer 2.2.1.2 durch die für die Anlage zuständige Behörde durchführen zu lassen, die hierüber eine Abnahmebescheinigung ausstellt. Bei neu errichteten Anlagen zur anderweitigen hygienisierenden Behandlung sind vor Durchführung der Prozessprüfung die Anforderungen an die Prozessführung und die Prozessprüfung in Abstimmung mit der für die Anlage zuständigen Behörde festzulegen. Bis zum erfolgreichen Abschluss der Prozessprüfung darf der Bioabfallbeandler die Materialien aus der Behandlungsanlage zur Hygienisierung mit Zustimmung der zuständigen Behörde zur Verwertung abgeben, wenn die Vorgaben der Prozessüberwachung gemäß Absatz 4 Satz 1 Nummer 2 und der Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle gemäß Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 erfüllt werden und keine Anhaltspunkte bestehen, die gegen die hygienische Unbedenklichkeit dieser Materialien sprechen.*

(6) Der Bioabfallbehandler hat die Prozessüberwachung gemäß Absatz 4 Satz 1 Nummer 2 nach den Vorgaben des Anhangs 2 Nummer 3.2 durchzuführen und dabei folgende Aufzeichnungen zu führen:

1. bei Pasteurisierung über den Temperaturverlauf,
2. bei aerober hygienisierender Behandlung (thermophile Kompostierung) über den Temperaturverlauf und die Umsetzungszeitpunkte,
3. bei anaerober hygienisierender Behandlung (thermophile Vergärung) über den Temperaturverlauf und die Beschickungs- und Entnahmeintervalle,
4. bei anderweitiger hygienisierender Behandlung über die in Abstimmung mit der zuständigen Behörde festgelegten verfahrenspezifischen Parameter.

Der Temperaturverlauf während der hygienisierenden Behandlung ist mit einer ständigen und eingriffsfreien direkten Temperaturmessung im zu behandelnden Material und automatisierter Temperaturaufzeichnung zu erfassen. Anstelle der direkten Temperaturmessung kann die zuständige Behörde bei geschlossener aerober hygienisierender Behandlung zulassen, dass die Behandlungstemperatur im Abluftstrom des Kompostmaterials ermittelt wird. Abweichend von Satz 2 kann die zuständige Behörde bei offener aerober hygienisierender Behandlung zulassen, dass die Behandlungstemperatur in regelmäßigen Abständen, mindestens ein Mal pro Werktag, gemessen und dokumentiert wird. Geräte zur Temperaturmessung müssen regelmäßig, mindestens ein Mal pro Jahr, kalibriert werden; die Kalibrierung ist zu dokumentieren. Stellt der Bioabfallbeandler durch die Prozessüberwachung fest, dass die jeweiligen Anforderungen an die Prozessführung nicht eingehalten wurden, hat er die zuständige Behörde hierüber und über die eingeleiteten Maßnahmen unverzüglich zu informieren. Die zuständige Behörde ordnet Maßnahmen zum Verbleib der unzureichend hygienisierend behandelten Bioabfälle sowie zur Behebung der Mängel an, sofern die vom Bioabfallbeandler eingeleiteten Maßnahmen nicht ausreichend oder nicht zweckmäßig sind.

(7) Der Bioabfallbeandler hat die Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle gemäß Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 pro angefanger 2 000 Tonnen Frischmasse im Rahmen der hygienisierenden Behandlung verwendeter Bioabfälle einschließlich in Anhang 1 Nummer 2 genannter Materialien nach den Vorgaben des Anhangs 2 Nummer 3.3 durchzuführen zu lassen. Die zuständige Behörde kann im Einvernehmen mit der zuständigen landwirtschaftlichen Fachbehörde zulassen, dass Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle erst ab einer Menge von mehr als 2 000 Tonnen durchgeführt werden, wenn sich die Zusammensetzung nach Art, Beschaffenheit und Herkunft der verwendeten Bioabfälle nicht oder kaum verändert. Die zuständige Behörde kann bei sich erheblich verändernder Zusammensetzung nach Art, Beschaffenheit oder Herkunft der verwendeten Bioabfälle anordnen, dass Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle für Mengen von weniger als 2 000 Tonnen durchgeführt werden. Unbeschadet der Sätze 1 bis 3 hat der Bioabfallbeandler eine Prüfung der hygienisierten Bioabfälle in einem Abstand von längstens drei Monaten durchzuführen. Werden bei einer Prüfung der hygienisierten Bioabfälle die Grenzwerte gemäß Anhang 2 Nummer 4.2.2 oder 4.3.2 überschritten, hat der Bioabfallbeandler die zuständige Behörde über das Untersuchungsergebnis und die eingeleiteten Maßnahmen unverzüglich zu informieren. Wenn die Wiederholung der Prüfung zum gleichen Ergebnis führt oder wiederholt in verschiedenen

untersuchten Proben die Grenzwerte überschritten werden, ordnet die zuständige Behörde Maßnahmen zur Behebung der Mängel an.

- (7a) *Abweichend von Absatz 7 Satz 1 können Bioabfallbehandler, die im Jahr mehr als 24 000 Tonnen Frischmasse Bioabfälle einschließlich in Anhang 1 Nummer 2 genannter Materialien behandeln und nach § 11 Absatz 3 Satz 1 von der Vorlage von Untersuchungsergebnissen oder von Nachweispflichten befreit sind, die Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle ein Mal pro Monat durchführen lassen. Absatz 7 Satz 2 bis 6 gilt entsprechend.*
- (8) *Die Untersuchungen bei der Prozessprüfung nach Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 und bei den Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle nach Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 sind durch unabhängige, von der zuständigen Behörde bestimmte Untersuchungsstellen durchzuführen. Der Bioabfallbehandler hat die Untersuchungsergebnisse innerhalb von vier Wochen nach Durchführung der Untersuchung der zuständigen Behörde vorzulegen und zehn Jahre aufzubewahren. Die Aufzeichnungen über die Prozessüberwachung und die Dokumentationen über die Kalibrierung der Temperaturmessgeräte nach Absatz 6 hat der Bioabfallbeandler drei Jahre aufzubewahren und der zuständigen Behörde auf Verlangen vorzulegen. Wird bei der Prüfung der hygienisierten Bioabfälle eine Überschreitung der Grenzwerte für Krankheitserreger, keimfähige Samen und austriebsfähige Pflanzenteile festgestellt, sind die Untersuchungsergebnisse von der untersuchenden Stelle unverzüglich an den Bioabfallbeandler zu übermitteln, der diese unverzüglich an die zuständige Behörde weiterleitet. Diese leitet die Untersuchungsergebnisse unverzüglich an die zuständige landwirtschaftliche und tierärztliche Fachbehörde weiter.*
- (8a) *Eine Untersuchungsstelle nach Absatz 8 Satz 1 ist zu bestimmen, wenn der Antragsteller über die erforderliche Fachkunde, Unabhängigkeit, Zuverlässigkeit und gerätetechnische Ausstattung verfügt und die erforderlichen Unterlagen vorlegt. Die Bestimmung erfolgt durch die zuständige Behörde des Landes, in dem der Antragsteller seinen Geschäftssitz hat, und gilt für das gesamte Bundesgebiet; besteht kein Geschäftssitz im Inland, so ist das Land zuständig, in dem die Tätigkeit nach Absatz 4 vorrangig ausgeübt werden soll. Die Bestimmung kann mit einem Vorbehalt des Widerrufes, einer Befristung, mit Bedingungen, Auflagen und dem Vorbehalt von Auflagen versehen werden. Die zuständige Behörde kann von einem überregional tätigen Antragsteller verlangen, dass er eine gültige Akkreditierung über die Einhaltung der Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (zu beziehen bei der Beuth-Verlag GmbH, 10772 Berlin, und archivmäßig gesichert niedergelegt bei der Deutschen Nationalbibliothek in Leipzig) vorlegt, die sich auf die Parameter und Untersuchungsverfahren gemäß den Anhängen 2 und 3 bezieht. Verfahren nach diesem Absatz können über eine einheitliche Stelle abgewickelt werden. Die Prüfung des Antrags auf Bestimmung einer Untersuchungsstelle muss innerhalb von drei Monaten abgeschlossen sein; § 42a Absatz 2 Satz 2 bis 4 des Verwaltungsverfahrensgesetzes findet Anwendung.*
- (8b) *Gleichwertige Anerkennungen aus einem anderen Mitgliedstaat der Europäischen Union oder einem anderen Vertragsstaat des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum stehen Bestimmungen nach Absatz 8 Satz 1 gleich. Bei der Prüfung des Antrags auf Bestimmung nach Absatz 8 Satz 1 stehen Nachweise aus einem anderen Mitgliedstaat der Europäischen Union*

oder einem anderen Vertragsstaat des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum inländischen Nachweisen gleich, wenn aus ihnen hervorgeht, dass der Antragsteller die betreffenden Anforderungen des Absatzes 8a Satz 1 oder die auf Grund ihrer Zielsetzung im Wesentlichen vergleichbaren Anforderungen des Ausstellungsstaates erfüllt. Die Nachweise sind der zuständigen Behörde vor Aufnahme der Tätigkeit im Original oder in Kopie vorzulegen. Eine Beglaubigung der Kopie sowie eine beglaubigte deutsche Übersetzung können verlangt werden.

- (9) *Die in Anhang 1 Nummer 1 Spalte 3 für die Getrennthaltung, Behandlung und Aufbringung von Bioabfällen festgelegten ergänzenden Bestimmungen sind zu beachten.*
- (10) *Die Absätze 1 bis 9 sind bei gemeinsamer hygienisierender Behandlung von Bioabfällen mit in Anhang 1 Nummer 2 genannten Materialien auf das gesamte Material entsprechend anzuwenden. Werden bereits hygienisierend behandelte Bioabfälle zusammen mit in Anhang 1 Nummer 2 genannten Materialien einer nachfolgenden biologisch stabilisierenden Behandlung unterzogen, gilt Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 mit der Maßgabe, dass die Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle erst nach der biologisch stabilisierenden Behandlung am abgabefertigen Material durchzuführen sind. Abweichend von Satz 2 können die Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle bereits nach der hygienisierenden Behandlung am abgabefertigen Material durchgeführt werden, wenn die nachfolgende biologisch stabilisierende Behandlung der bereits hygienisierend behandelten Bioabfälle in einem landwirtschaftlichen Betrieb zusammen mit dort angefallenen biologisch abbaubaren Materialien erfolgt und die behandelten Materialien auf selbst bewirtschaftete Betriebsflächen aufgebracht werden.*

Im Anhang 2 der BioAbfV (2013) sind die Anforderungen an die hygienisierende Behandlung von Bioabfällen zur Gewährleistung der seuchen- und phytohygiensichen Unbedenklich dargestellt (siehe Anhang 1).

3 Seuchenhygienische Problematik

3.1 Krankheitserreger im Bioabfall

3.1.1 Historie

Jahrhundertwende

Es ist bekannt, dass in den festen und flüssigen Siedlungsabfällen Krankheitserreger vorhanden sein können. Bereits zu Beginn des letzten Jahrhunderts (1908) hat man sich für die Frage der mikrobiellen Gefährdung des Menschen durch pathogene Keime in Kehricht und Müll interessiert und entsprechende Untersuchungen mit Typhusbakterien, Paratyphus-B- und Pseudodysenteriebakterien sowie Milzbrandbazillen unter verschiedenen Temperaturbedingungen in Stubenkehricht gemacht. Dabei blieben die Typhuserreger über 40 Tage und die anderen drei genannten Bakterienarten über 80 Tage lang lebensfähig. Die Abtötungszeiten der verwendeten Keime wurden nicht ermittelt. An Gewebsstückchen angetrocknete Dysenteriebakterien starben nach 19 Tagen im Kehricht ab, Choleravibrionen waren bereits nach 24 Stunden inaktiviert. Wenn der Müll Kohlen- und Brikettasche enthielt, hielten sich Typhusbakterien 115 Tage, Paratyphus-B-Bakterien 136, Dysenteriebakterien 48 Tage und Pseudodysenterieerreger 69 Tage am Leben. In einem aus Küchenabfällen bestehenden Müll waren die entsprechenden Absterbezeiten 4, 24, 5 und 20 Tage. Im Staub der Umgebung der mit Typhusbakterien infizierten Stoffstückchen waren diese Erreger noch nach 44 Tagen nachweisbar. Diese Angaben wurden 1928 durch einen anderen Untersucher nachgeprüft und bestätigt, wobei außerdem festgestellt wurde, dass Fliegen auch von Küchenabfällen Typhusbakterien aufnehmen können. Daraus wird gefolgert, dass Haus- und Küchenabfälle sowie der Kehricht in der Umgebung des Menschen immer eine Gefahr bedeuten, sei es durch direkte Übertragung von infektiösen Stoffen oder über die Verschleppung von Infektionserregern durch Insekten (STRAUCH [80]).

erste Hausmüllkompostierungsanlagen

Als nach dem zweiten Weltkrieg die ersten Hausmüllkompostierungsanlagen gebaut wurden (z.B. Baden-Baden, Bad Kreuznach, Heidelberg), lebte die Diskussion über die gesundheitliche Gefährdung von Menschen und Tieren durch Hausmüll wieder auf. Dies umso mehr, als bei diesen Kompostwerken kommunaler Klärschlamm mit verwendet wurde, von dem man wusste, dass er alle von infizierten Menschen in das Abwasser ausgeschiedenen Krankheitserreger in konzentrierter Form enthielt. Um hier u.a. Klarheit aus der Sicht der Human- und Veterinärhygiene zu schaffen, vergab das damalige Bundesinnenministerium an die Arbeitsgemeinschaft für kommunale Abfallwirtschaft (Baden-Baden) und an die Arbeitsgemeinschaft Gießener Universitätsinstitute für Abfallwirtschaft Forschungsaufträge. Deren Ergebnisse sind aus den Gebieten Human- und Veterinärhygiene im Handbuch der Müll- und Abfallbeseitigung (Erich Schmidt-Verlag, Berlin) unter den Kennzahlen 5000-5165 sowie 6618-6620 in den Jahren 1964-1968 veröffentlicht. Spezielle hygienische Untersuchungen bei der Verwertung fester und flüssiger Siedlungsabfälle wurden mit Milzbrandbazillen und deren Sporen, *Salmonella enteritidis*, dem Rotlauferreger *Erysipelothrix rhusiopathiae* und dem Psittakoseerreger durchgeführt. Darüber hinaus wurde der internationale

Erkenntnisstand in den Fragen der Hygiene der Müllbeseitigung umfassend dargestellt (STRAUCH [80], [81]).

Einführung der getrennten Sammlung

Nachdem die Kompostierung von unsortiertem Hausmüll in Deutschland weitgehend verlassen wurde und statt dessen die getrennte Sammlung und Kompostierung von Bioabfall flächendeckend eingeführt werden soll, ist die Diskussion um das Vorkommen von Krankheitserregern im Rohmaterial und Kompost erneut aufgelebt. Dabei konzentriert sich das Interesse besonders auf die häuslichen Küchenabfälle, die mit Krankheitserregern belastet sein können und dadurch ein Infektionsrisiko nicht nur für Menschen, sondern auch für Tiere darstellen. Man muss dazu wissen, dass Komposte nicht immer in den Boden eingearbeitet, sondern häufig auch nur auf die Bodenoberfläche aufgebracht werden. Dadurch können in den Haugärten Hunde und Katzen mit dem Kompost in Berührung kommen, aber auch wildlebende Vögel und Nagetiere. Wenn der Kompost noch Krankheitserreger enthält, können sich diese Tiere bei Kontakt mit dem Material infizieren. Deshalb ist neben der Humanhygiene auch die Veterinärhygiene daran interessiert, dass Bioabfallkompost seuchenhygienisch unbedenklich ist.

3.1.2 Bakterien, Viren, Pilze und Parasiten als Krankheitserreger

Hauptquelle - Bioabfall

Die Hauptquelle für Infektionserreger im Bioabfall wird derzeit in den Küchenabfällen gesehen. Dies wird durch Ergebnisse aus lebensmittelhygienischen Untersuchungen bestätigt. Nach Angaben des Bundesinstitutes für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin in Berlin (BgVV) ist weltweit ein Anstieg von Lebensmittelinfectionen festzustellen, wobei die Einschleppung verschiedener Keime auf den weltweiten Warenverkehr und die veränderten Verzehrsgewohnheiten zurückzuführen ist [34].

Bakterien, Viren, Pilze und Parasiten als Krankheitserreger

Es werden die verschiedensten

- Bakterien,
- Viren,
- Pilze und
- Parasiten

genannt. U.a. Salmonellen, *E. coli*, Yersinien, Streptokokken, Staphylokokken, Enteroviren, Askariden, *Aspergillus fumigatus*. Darüber hinaus wurden von einzelnen Untersuchern Enterokokken, Pseudomonaden, Klebsiellen, Enterobacteriaceen, Proteus-, Serratia- und Citrobacterarten nachgewiesen.

Salmonellen als bakterielle Krankheitserreger

Eine nicht unbedeutende Rolle spielen die zunehmenden Infektionen der von Tieren stammenden Lebensmittel durch Salmonellen. Besonders Geflügel- und Schweinefleisch sind davon betroffen, aber auch Eier sowie Rohwurstprodukte. Auch bei Hundefutter wurden in knapp 6 % der rohen tierischen Organe Salmonellen nachgewiesen. Weiterhin wurden Salmonellen auch in unbehandelten Trockenprodukten wie Kräutern, Gewürzen, Tees, Trockengemüse, Trockenpilzen und Spargel gefunden. Zusätzliche Quellen für Krankheitserreger sind auch kontaminierte Papiertaschentücher, Servietten und Einmalhandtücher aus Haushaltungen, in denen sich Kranke befinden (ROTH [71]).

Man muss also damit rechnen, dass im Bioabfall immer Krankheitserreger vorhanden sein können. Dies wird auch durch eigene Untersuchungen bestätigt, bei welchen in dem an drei Kompostwerken angelieferten Bioabfall in 43 von 58 untersuchten Proben, also in 74 % des Rohmaterials, 17 verschiedene Serovare von Salmonellen nachgewiesen wurden (S. anatum, blockley, derby-5, enteritidis, gaminara, hadar, infantis, livingston, london, mbandaka, newport, orion var. 3, 15, saint-paul, schleissheim, thompson, typhimurium, virchow). Die Konzentration der Salmonellen lag im Bereich von $2,0 \cdot 10^{-1}$ bis $1,6 \cdot 10^4$ KBE/g TS (ROTH [71]).

weitere Quellen

Weitere Quellen für Krankheitserreger sind die Fäkalien in der Einstreu von Käfigen für Heimtiere, die in die Bioabfalltonne entleert wird, ebenso wie Hunde- und Katzenkot, der mit Rasenschnitt in die Bioabfalltonne oder mit Parkabfällen direkt in ein Bioabfallkompostwerk gelangt. Diese Situation kann verstärkt werden, wenn, wie z.B. in der Schweiz vorgeschlagen, auch Babywindeln zum Bioabfall zugelassen und mit kompostiert werden. Dadurch würde sich die Palette der pathogenen Mikroorganismen um die Erreger kindlicher Infektionen erweitern, die über den Darm ausgeschieden werden.

virale Krankheitserreger

Neben den bakteriellen spielen auch virale Krankheitserreger eine Rolle, die über Lebensmittel in den Bioabfall gelangen können. Von den spezifisch menschenpathogenen sind in Milch, Butter, Käse, Fleisch, Bratwurst, Fisch, Austern und Muscheln bevorzugt nachgewiesen worden: Poliomyelitis-Virus, Hepatitis-A-Virus, Coxsackie- und ECHO-Virus, Reovirus, Adenovirus. Viren gelangen auch durch klinisch erkrankte oder inapparent infizierte Familienmitglieder, Besucher und Haus-/Heimtiere, die Träger und Ausscheider von Viren sein können, in den Haushalt und damit auch in den Bioabfall. Zu rechnen hat man fast ständig mit Enter-, Reo-, Rota-, Adeno- oder Influenzaviren, häufig auch mit Rhino-, Orthomyxo- und Paramyxoviren sowie mit Herpesviren. Weniger von Bedeutung sind Calici- und Retroviren (siehe 11 B-Anhang).

In eigenen Untersuchungen konnte erstmals das Vorkommen von Viren in der Luft von drei Bioabfallkompostieranlagen nachgewiesen werden. Dabei handelte es sich um Enteroviren aus der Familie der Picornaviridae: ECHO 7 und 11, Coxsackie B 4, B 5 und B 6. Darüber hinaus wurden in zwei der drei Bioabfallkompostwerke noch Herpes simplex-Viren im Anlieferungsbereich nachgewiesen. Wenn auch alle isolierten Viren aus der Luft in den verschiedenen Arbeitsbereichen der Kompostwerke stammten, kann angenommen werden, dass sie primär mit dem angelieferten

Bioabfall in die Kompostwerke kamen und dort im Verlauf der einzelnen Arbeitsschritte mit Staubpartikeln in die Luft an den untersuchten Arbeitsplätzen gelangten (PFIRRMANN [67], [68]).

Pilze als Krankheitserreger

Eine weitere Gruppe von Mikroorganismen, die bei der Kompostierung eine Rolle spielen, sind die Pilze. Ihre Hauptaufgabe im Ökosystem ist der Abbau von biologisch inaktivem Material im Zusammenwirken mit anderen Kleinlebewesen. Es gibt außerordentlich zahlreiche Pilzarten, die sowohl im Bioabfall als auch in dem Kompostierungsprozess auftreten. Ein herausragender Vertreter davon ist *Aspergillus fumigatus*, der einerseits für den Abbau von organischem Material auch bei der Kompostierung und anschließend im Boden seine Bedeutung hat, andererseits aber beschuldigt wird, einer der schlimmsten pathogenen Mikroorganismen für das in Kompostwerken beschäftigte Personal sowie die in der Nähe von Kompostwerken lebenden Anwohner zu sein.

Das hat im Zusammenhang mit der vom früheren Bundesgesundheitsamt ausgelösten öffentlichen Diskussion unter dem Motto „Gefahr aus der Biotonne?“ (13.11.1991) dazu geführt, dass die Frage der Einbeziehung einer mykologischen Überwachung der Kompostierung bis zum Endprodukt von einem Vertreter der klinischen Mykologie aufgeworfen wurde. Die Ferne des Laborforschers von der Alltagspraxis der Abfall- und Umweltmikrobiologie hat sogar zu der Behauptung geführt, dass die Pressemitteilung des BGA vom 13.11.1991 „besonders die Abfallmikrobiologen schockierte“, was tatsächlich keineswegs der Fall war, weil sie über Jahrzehntelange praktische Erfahrungen und ein riesiges Untersuchungsmaterial verfügen und sich nicht auf Einzelbefunde zu berufen brauchen wie der Veranlasser der Pressemitteilung des BGA.

Das Bundesgesundheitsamt selbst hat in den „Erläuterungen“ vom 06.02.1992 zu seiner o.a. Pressemitteilung darauf hingewiesen, dass „*die in der Pressemitteilung genannte Pilzart, Aspergillus fumigatus* sich u.a. in allen Komposten findet, unabhängig vom Ausgangsmaterial, allerdings in verschiedenen Keimdichten und in Abhängigkeit vom Kompostierungsstadium. Demzufolge ist A. fumigatus in unserer Umwelt verbreitet, was ein mögliches Vorkommen solcher Sporen in der Einatmungsluft erklärt“. Diese durchaus richtige Auffassung des BGA ist auch der Grund dafür, dass die allgegenwärtigen Pilze bzw. ihre Sporen nicht in die seuchenhygienische Überprüfung neu entwickelter und bereits in Betrieb befindlicher Kompostierungsverfahren einbezogen wurden, weil man seit langem weiß, dass es nicht möglich ist, einen Kompost frei von Pilzen zu erzeugen, es sei denn, man sterilisiert ihn nach Abschluss des Rotteprozesses. Im übrigen verweist das Robert Koch-Institut in seiner Pressedienst-Ausgabe 19/95 vom 19.07.1995 darauf, es werde bei der Diskussion über die Biotonne als Streuquelle für Schimmelpilzsporen, und damit als Gesundheitsrisiko für schwer immungeschwächte Patienten, oft übersehen, „dass der normale Haushalt noch sehr viel mehr Quellen für Pilze bietet, die zu deutlich höherer Exposition führen können, als sie beim Öffnen der Biotonne zu erwarten ist“.

Die Kompostierung kommunaler Abfälle geht zurück bis fast 1.000 Jahre v. Chr., als man den Müll der Stadt Jerusalem auf einem Platz im Tal Hinnom sammelte. Das organische Material wurde kompostiert, der anorganische Teil in einem dauernd unterhaltenen Feuer verbrannt (ERHARD in [32] und [33]). Seit dieser Zeit und wahrscheinlich auch schon vorher haben Menschen Umgang mit kompostiertem Material gehabt. Selbst der medizinische Mykologe weist darauf hin, dass „*die Aufgabe der Pilze im Ökosystem der Natur darin besteht, zusammen mit anderen Kleinlebewesen*

biologisch inaktives oder totes Material abzubauen, zu kompostieren. Jede der vielen Pilzarten ist dank bestimmter Enzymausstattungen zum Abbau der verschiedensten Materialien von Pflanze, Tier und Mensch befähigt und spezialisiert“. Diese wissenschaftlich untermauerte Erkenntnis lässt dann die Frage aufwerfen, warum man die so hilfreichen Mikroorganismen während des Kompostierungsprozesses abtöten soll, wenn das kompostierte Material anschließend wieder dem Boden zugeführt wird, in dem die vorher mit großem technischen und finanziellen Aufwand vernichteten Pilze in hohen Konzentrationen bereits vorhanden sind. Da die gleichen Pilze auch in beträchtlichen Mengen in der Außenluft, dem Straßenstaub, im Wald und somit praktisch überall vorkommen, trate selbst nach Vernichtung aller Pilze im Kompost bei dessen Lagerung durch Anflug von außen eine Wiederbesiedlung mit Pilzen ein, durch die der ursprüngliche Zustand wieder hergestellt wäre.

Maßnahmen gegen Infektionen

Dies wird auch von der bekannten italienischen Kompostforschergruppe so gesehen, die eine komplette Sterilisierung von Kompost ablehnt, weil sie unökonomisch ist und, sehr wichtig, durch Vernichtung des Konkurrenzpotentials der Kompostmikroflora, eine Reinfektion der Kompostmasse durch Anflug, und damit verbunden, ein maßloses Wachstum pathogener Keime, wie z.B. von Salmonellen, in dem ursprünglich entseuchten Material fördern würde. Außerdem betonen die italienischen Kollegen, dass der Boden als nahezu invariabler Bestimmungsort für Kompostprodukte bereits bestimmte Infektionerreger wie z.B. *Clostridium tetani*, *Cl. botulinum*, *Aspergillus fumigatus* enthält, so dass es ein überflüssiges Unternehmen und Geldverschwendungen wäre, zu versuchen, pathogene Mikroorganismen im Kompost zu eliminieren, die natürlicherweise im Boden vorkommen (DE BERTOLDI et al. [9]). Deshalb erscheint es auch nicht notwendig, Vertreter verschiedener Pilzgattungen als Testkeime in die seuchenhygienische Überprüfung von Kompostierungs-technologien routinemäßig einzubeziehen, da das nur die alte Erkenntnis bestätigen würde, dass diese Pilze auch im durchgerotteten Kompost noch vorhanden sind.

Hier greift dann der Vorschlag des Bundesgesundheitsamtes, die Bevölkerung darüber aufzuklären, dass der Inhalt einer Bioabfalltonne zu einer Infektionsquelle für abwehrgeschwächte Personen werden kann, und dass deswegen diese Personengruppe - im Gegensatz zu gesunden Menschen - beim Umgang mit Bioabfall besonders vorsichtig sein muss, sei es die Biotonne oder der Kompost. Darüber hinaus sollte allgemein darauf hingewiesen werden, Biotonnen und Eigenkomposter nicht im Wohnbereich (z.B. Küche, Balkon, Keller) aufzustellen.

Im Übrigen sei auf die Ausführungen in dem Fachbuch „Mykologie“ hingewiesen, in dem im Abschnitt „Pathogenese“ u.a. ausgeführt wird: „Die Entwicklung nahezu aller Mykosen dürfte durch prädisponierende Faktoren gefördert werden Als prädisponierende Grundleiden kommen in Frage: Hypo- und Agammaglobulinämien, Diabetes mellitus, Langzeitbehandlung mit breitspektrig wirksamen Antibiotika und anderen Chemotherapeutika, immunsuppressive Behandlung bei Allergien, Asthma, Organtransplantationen usw. sowie Corticosteroid-Therapie im allgemeinen, Kontrazeptiva, konsumierende Krankheiten wie Tuberkulose, Alkoholismus und sonstige Schwächezustände. Die typische Infektion erfolgt durch Einatmen von Keimen mit nachfolgender Besiedlung von Bronchien oder Lungengewebe Die weitaus meisten Erreger finden, selbst wenn sie auf die „richtige“ Stelle eines an sich empfänglichen Wirtes gelangen, keine für sie geeigneten Bedingungen vor. Entweder reicht die Keimzahl für eine Infektion nicht aus (einzelne Keime genügen nur bei Coccidioides) oder die Keime fallen der allgemeinen Infektabwehr (zelluläre Abwehr, Flimmerepithel) zum Opfer, die

*Infektionen verlaufen dann abortiv oder stumm, sie „gehen nicht an“. Immunreaktionen sorgen später dafür, dass auch haftende Infektionen sich nicht ausbreiten können. Und trotzdem erkranken Menschen und Tiere an Mykosen. Das muss dann daran liegen, dass Einrichtungen der Resistenz oder Immunität des Wirtes versagt haben oder vom Erreger „überspielt“ worden sind. Infektionschancen für die meisten Mykosen dürften fast ständig bestehen, so dass sich jeder Mensch mehrmals täglich mit *Candida albicans*, *Aspergillus fumigatus* oder einem pathogenen Vertreter der *Mucoraceae* infizieren könnte. Im Rahmen dieser ständigen Kontakte kann auch ein sonst Gesunder irgendwann einmal eine Mykose aquirieren, doch wahrscheinlich verläuft sie dann eher unauffällig, subklinisch und trägt zur Entwicklung seiner Immunreakтивität bei“ (MÜLLER und LÖFFLER [28]).*

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die meisten Infektionserreger im Bioabfall aus den Haushalten selbst stammen, wobei die Küchenabfälle i.d.R. wohl die Hauptrolle spielen. Aus veterinärmedizinischer Sicht muss deshalb bei der Kompostierung von Bioabfällen gewährleistet sein, dass eventuell vorhandene Krankheitserreger inaktiviert oder soweit zahlenmäßig reduziert werden, dass sie keine Infektionen mehr verursachen können.

3.2 Hygieneprobleme der Sammlung und Abfuhr von Bioabfall

3.2.1 System Bioabfalltonne

Sammelbehälter im Wohnbereich

Die Sammlung der Bioabfälle im Haushalt soll in besonderen, dicht schließenden Behältern erfolgen, die möglichst häufig in die Bioabfalltonne entleert werden. Diese Sammelbehälter im Wohnbereich sollten nach jeder Entleerung gründlich ausgewaschen werden.

Ausführung von Bioabfalltonnen

Die Bioabfalltonnen sind möglichst im Freien an schattigen Plätzen aufzustellen. Bioabfallcontainer werden i.d.R. an besonderen Abfallsammelstellen innerhalb der Mehrfamilienhausbebauung platziert. Die Bioabfalltonnen und -container müssen dicht schließen, um Befall mit Ungeziefer und Schädlingen zu unterbinden.

Man hat versucht, durch Veränderung der Konstruktion von Bioabfalltonnen die Nachteile der Standard-Hausmülltonnen für die Aufbewahrung von Bioabfall (Anaerobie, üble Gerüche, Sickerwasser) zu minimieren. Dabei hat sich eine Tonne mit Gitterrostboden, Be- und Entlüftungsöffnungen in den Seitenwänden und im Deckel sowie Stegen im Innenraum am besten bewährt. Die Autoren ziehen daraus die Schlussfolgerung, man solle den Bioabfall bis zur Abfuhr so lagern, dass bereits in den Tonnen die gleichen Abbauprozesse einsetzen, die bei späterer Kompostierung angestrebt werden. Ein weiterer Vorteil sei die geringe Geruchsbelästigung während der Standzeit und bei der Entleerung der Tonnen in das Sammelfahrzeug (KOWALD und MÜLLER [52]). Sehr wichtig erscheint hierbei jedoch, die Abstände der Gitterroste < 6 mm (Mäuse) bzw. < 12 mm (Ratten) zu halten, damit die Attraktion des Bioabfalls für die genannten Schadnager nicht zu einem partiellen Problem im Bereich des Standplatzes der Bioabfalltonnen führt. Darüberhinaus

muss damit gerechnet werden, dass eine Vergrößerung der belüfteten Oberflächen im Tonneninnenbereich auch zur Veränderung der von der Tonne ausgehenden Bioaerosol-Emissionen führen kann.

Standzeiten von Bioabfalltonnen

Die Frage der Standzeiten der Bioabfalltonnen wird seit Jahren heftig diskutiert. Am 17. Juni 1992 fand im damaligen Bundesgesundheitsamt (BGA) ein Fachgespräch zu Hygienefragen der Biotonne statt, bei dem auch die Standzeiten zur Sprache kamen. Das BGA favorisierte einen wöchentlichen Abfuhrhythmus, während zahlreiche andere Teilnehmer aufgrund von Untersuchungsergebnissen bzw. wirtschaftlichen Erwägungen eine Abfuhr im Abstand von zwei Wochen für ausreichend hielten (LUKASSOWITZ [54]). Umfangreiche und sehr eingehende Untersuchungen mit Einbeziehung der Aspekte Bakteriologie, Insektenbefall und Geruchsbelästigung kamen zu dem Ergebnis, dass „*sich bezüglich der Lockwirkung von Abfällen auf Insekten und der Entwicklung von Insekten in den Abfallbehältern, der mikrobiellen Belastung sowie der Geruchsentwicklung in den Abfalltonnen keine Notwendigkeit zu einer wöchentlichen Abfuhr der verschiedenen Abfallarten ableiten lässt*“ (SCHERER [76]).

Seit dieser Zeit sind von verschiedenen Arbeitsgruppen weitere Untersuchungen zu diesem Fragenkomplex durchgeführt worden, die z.T. auch wieder einander widersprechende Ergebnisse erbrachten. Deshalb hat das Umweltbundesamt am 07.11.1995 erneut zu einem Arbeitsgespräch in Berlin eingeladen. Dort wurden einleitend 8 Kurzreferate gehalten zu den Themenbereichen

- Einsammlung von Bioabfall und Restmüll in Abhängigkeit von der Gebietsstruktur, den Abfuhrintervallen und der Zusammensetzung des Abfalls,
- Geruchs- und Hygieneproblematik,
- Einfluss der Tonnenkonstruktion,
- gesundheitliche Risiken durch Fliegen, Ratten und Lästlinge,
- Eigenkompostierung.

Die anschließende sehr lebhafte Diskussion war untergliedert in die Bereiche

- Bedeutung von Bakterien,
- Bedeutung von Pilzen,
- Bedeutung von Schädlingen und Lästlingen,
- Empfehlungen für immunsupprimierte Personen,
- Akzeptanzprobleme wegen Geruchsbelästigungen und dem Auftreten von Maden, technische Lösungen.

Bakterien in der Bioabfalltonne

Bei den Bakterien bestand weitgehende Übereinstimmung, dass aus ihrem Vorkommen im Abfall noch kein gesundheitliches Risiko für die Benutzer der Biotonnen erkennbar ist, zumal die im Abfall vorhandenen Erreger vorher den Haushalt durchlaufen haben. Für endgültige verbindliche Aussagen fehlen aber noch immer statistische Daten oder epidemiologische Studien. Bei Müllwerkern liegen

die Verhältnisse etwas anders, da bei ihnen in Einzelfällen bestimmte, i.d.R. auf bakterielle Endotoxine zurückzuführende Symptome und eine signifikant erhöhte Sensibilisierung gegen thermophile Aktinomyceten festgestellt wurden. Hierzu besteht weiterer Forschungsbedarf.

Pilze in der Bioabfalltonne

Bei den Pilzen wurde ihre Bedeutung als Bedrohung der menschlichen Gesundheit sehr kontrovers diskutiert, zumal an einem Fallbeispiel gezeigt wurde, dass offenbar der Pilzbefall von Wohnräumen ebenfalls eine noch nicht quantifizierbare Bedeutung hat. Bei einer Verlängerung des Abfuhrintervalls von 7 auf 14 Tage scheint die Konzentration von Schimmelpilzsporen beim Öffnen der Biotonne nicht signifikant anzusteigen.

Schädlinge und Lästlinge in der Bioabfalltonne

Intensiv wurde auch die Frage der Schädlinge und Lästlinge behandelt, ohne zu einer einheitlichen Auffassung zu führen, zumal einige Diskutanten auf sich widersprechende Ergebnisse und/oder angebliche Mängel der Untersuchungsmethodik verwiesen. Offenbar scheint es aber so zu sein, dass diese Problematik mit der Gebietsstruktur verknüpft ist. Bei der Ein- und Zweifamilienhausbebauung werden weniger Beschwerden registriert als bei der Mehrfamilienhausbebauung oder gar in Gewerbegebieten. Offenbar gibt es auch einen Lerneffekt bei den Benutzern der Biotonne, weil bei längerer Benutzung die Probleme immer weniger wurden, was aber eventuell auch mit dem vermehrten Einwurf kritischer Abfälle in die Restmülltonne zu erklären wäre.

Relative Einigkeit bestand beim Thema Ratten darüber, dass dabei zwischen der Biotonne und der Eigenkompostierung unterschieden werden sollte. Wichtig ist, dass die Biotonnen stets fest verschlossen werden, was bei der Eigenkompostierung im Freien in Komposthaufen nicht möglich ist.

Die Behandlung des Themas immunsupprimierter Personen brachte keine neuen Erkenntnisse. Einigkeit bestand darin, weiterhin zu empfehlen, dass Personen mit einem geschwächten Immunstatus Kontakt mit der Biotonne meiden sollen. Es wurde aber auch darauf hingewiesen, dass die Sammelgefäß für Bioabfall im Haushalt und die Biotonne nur eine der vielen möglichen Streuquellen von Schimmelpilzen darstellen. Eine gezielte Beratung der betroffenen Patienten durch die Ärzte sei sehr wichtig. Dazu muss aber die Frage erlaubt sein, was bisher von den zuständigen Institutionen getan wurde, um die Ärzteschaft über diesen Problemkreis aufzuklären und sie mit einschlägigem Informationsmaterial zu versorgen.

Problem: Akzeptanz

Auch die Akzeptanzproblematik bei der Biotonne aufgrund von Geruchsbelästigungen und dem Auftreten von Maden wurde sehr kontrovers diskutiert. Es fehlen ausreichende Kenntnisse über die an der Geruchsbildung beteiligten Moleküle und damit über ihre Wirkung und mögliche Toxizität. Es gebe bisher keine Hinweise dafür, dass mit der Emission von Geruchsstoffen aus Bioabfall ein gesundheitliches Risiko für die Benutzer von Biotonnen verbunden ist. Hingegen sollen ekelauslösende Reaktionen bis zur Übelkeit und hysterischem Verhalten beobachtet worden sein.

praktische Umsetzung

Als technische Lösungen wurden für die Sammelgefäße im Haushalt und die Biotonne gut verschließbare Behälter befürwortet. Das Behältervolumen soll ausreichend groß sein, um Überfüllung und damit offenstehende Deckel zu vermeiden. Um anaerobe Zustände vermeiden zu helfen, sind Strukturmaterialien zu verwenden (Grünabfall und Gartenabfall) sowie Knüll- und Zeitungspapier einzusetzen, jedoch kein Hochglanzpapier. Die Biotonnen sollen keiner Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein, um Temperaturerhöhung im Innern zu vermeiden. Es wird auch eine Biotonne mit einem in den Deckel eingebauten Biofilter von einer Arbeitsgruppe empfohlen, wohingegen andere Teilnehmer meinten, der gleiche Effekt sei auch mit einer gut verschlossenen Tonne zu erreichen. Weiterhin wurde die Zugabe von gelöschem Kalk, evtl. auch mit Bentonit vermischt, empfohlen, um die Geruchsbildung zu vermindern.

3.2.2 Abfuhr von Bioabfall

Entleerung

Zum Thema regelmäßige Reinigung der Biotonne gab es keinen Konsens, wobei insbesondere die Kostenfrage eine Rolle spielte. Auch zwischen den Anhängern eines 7- bzw. 14-tägigen Abfuhrhythmus für die Biotonne wurde keine Einigung erzielt, zumal Zahlen vorgelegt wurden, dass in NRW z.B. in fast 70 % aller Fälle die 14-tägige Abholung die Regel ist. Aus dem Saarland wurde von einem Entsorgungsbetrieb mitgeteilt, dass nur ca. 60 % der Biotonnenbesitzer ihre Gefäße regelmäßig entleeren lassen, während von 40 % bereits heute ein Intervall praktiziert wird, das schon deutlich über 14 Tagen liegt. Es wurde u.a. auch der Vorschlag gemacht, in den Sommermonaten alle 7 Tage und in der übrigen Zeit alle 14 Tage abzufahren. Dem wurde entgegengehalten, dass eine wöchentliche Abfuhr bis zu 40 % teurer sei als eine 14-tägige, wozu der Tagungsvorsitzende darauf hinwies, dass die Kosten der Entsorgung nicht Gegenstand des Arbeitsgespräches seien, sondern überwiegend hygienische Gesichtspunkte in entsprechende Empfehlungen einmünden sollten.

Arbeits- /Gesundheitsschutz

Die Abfuhr des Bioabfalls erfolgt in dafür vorgesehenen Spezialfahrzeugen. Das dabei beschäftigte Personal trägt Schutzbekleidung und Arbeitshandschuhe, die gleichzeitig eine Schutzfunktion gegen direkten Kontakt mit den Abfalltonnen bzw. ihrem Inhalt erfüllen. In den Pausen sollten die Müllwerker, soweit möglich, vor dem Essen-Trinken-Rauchen die Hände mit Seife waschen und nach der Arbeitsschicht Gelegenheit erhalten, sich gründlich zu duschen, ehe sie ihre eigene Kleidung wieder anlegen.

Geruchsemissionen

Eine Stadt in Baden-Württemberg machte die Erfahrung, dass bei der Abfuhr von Bioabfall im Sommer die Bevölkerung bei heißem Wetter sich über den üblen Geruch beschwerte, der von den Sammelfahrzeugen ausging. Durch Hinzuziehung des Herstellers der Fahrzeuge konnte eine technische Lösung gefunden werden, mit der alle Sammelwagen nachgerüstet wurden, wonach die Beschwerden aufhörten.

Das ausführliche Protokoll dieses Arbeitsgespräches kann beim Umweltbundesamt angefordert werden (HOFMANN und SZEWSZYK [45]).

Keimemission

Inzwischen wurde eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt, die insbesondere im Kontext zu Arbeitsschutz-Aspekten bzw. der beruflichen Exposition der Müllwerker beim Sammeln von Abfällen standen (BIDLINGMAIER et al. 1996; MARTENS et al. 1998; BECKER et al. 1999; NEUMANN u. BALFANZ 1999; SENKPIEL et al. 1999). An dieser Stelle soll exemplarisch auf die Ergebnisse einer Studie zur Keimemission bei der Einsammlung von Papier, Biomüll, Restmüll und Gesamtmüll hingewiesen werden, die in einer deutschen Großstadt durchgeführt wurde (MARTENS et al., 1998; MARTENS et al., 1999). In dieser Studie wurden u.a. die Konzentrationen an luftgetragenen Mikroorganismen, wie sie beim Sammeln der genannten Abfallfraktionen am Heck des Müllfahrzeugs unmittelbar im Bereich der Tonnenschüttung auftraten, bestimmt.

Insgesamt hoben sich die gemessenen Konzentrationen an luftgetragenen Mikroorganismen beim Sammeln von Papiermüll leicht (ca. 1 Zehnerpotenz) von den normalen Hintergrundkonzentrationen ab. Demgegenüber wurden beim Sammeln der Fraktionen Gesamt- und Restmüll und Bioabfall höhere Immissionswerte erreicht, wobei zwischen den drei Abfallarten keine Hinweise auf prinzipielle Unterschiede zueinander erkennbar wurden. Es ergaben sich Hinweise, dass eine (im Zuge der Abfalltrennung erfolgende) Verlängerung der Tonnenstandzeit zu einer Verschiebung im Spektrum der emittierten Schimmelpilzsporen, namentlich zu einer Zunahme an Sporen des thermotoleranten *A. fumigatus* führen kann, wahrscheinlich bedingt durch eine längere, unter Selbsterhitzung des Materials ablaufende Rotte in den Tonnen vor der Sammlung. Ebenso ergaben sich Hinweise auf standortbedingte (Einzelhausbebauung versus verdichtete Innenstadtstruktur) Unterschiede, die zur Abklärung weiterer Untersuchungen bedürfen. Einzelheiten dazu sind an anderer Stelle publiziert (LUKASSOWITZ [54]). Diese Ergebnisse wurden im Grundsatz von anderen Untersuchungen bestätigt (BIDLINGMAIER et al., 1996; MARTENS et al., 1998; BECKER et al., 1999; NEUMANN u. BALFANZ, 1999).

3.3 Hygienische Problematik von tierischen Nebenprodukten (TNP) und Speiseabfällen bei der Anaerobbehandlung (Biogas) und Kompostierung

In ANHANG V der Verordnung (EU) Nr. 142/2011 der Kommission vom 25. Februar 2011 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte sowie zur Durchführung der Richtlinie 97/78/EG des Rates hinsichtlich bestimmter gemäß der genannten Richtlinie von Veterinärkontrollen an der Grenze befreiter Proben und Waren sind die Anforderungen definiert. Daneben sind das "Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz vom 25. Januar 2004 (BGBl. I S. 82) und die "Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung vom 27. Juli 2006 (BGBl. I S. 1735), zu beachten.

ANFORDERUNGEN AN ANLAGEN

Abschnitt 1

Biogasanlagen

1. Eine Biogasanlage muss über eine unumgehbar Pasteurisierungs-/Entseuchungsabteilung für die tierischen Nebenprodukte bzw. Folgeprodukte verfügen, die mit einer Partikelgröße von höchstens 12 mm vor Eingang in die Anlage eingespeist werden, wobei folgende Installationen vorhanden sein müssen:
 - a) Überwachungsgeräte, durch die sichergestellt wird, dass eine Stunde lang eine Temperatur von 70 °C gewährleistet ist;
 - b) Aufzeichnungsgeräte zur kontinuierlichen Erfassung der in Buchstabe a genannten Überwachungsergebnisse und
 - c) ein angemessenes System zur Vermeidung einer unzulänglichen Erhitzung.
2. Abweichend von Nummer 1 ist eine Pasteurisierungs-/Entseuchungsabteilung für Biogasanlagen nicht obligatorisch, wenn diese ausschließlich Folgendes umwandeln:
 - a) Material der Kategorie 2, das nach der Methode 1 gemäß Anhang IV Kapitel III verarbeitet wurde;
 - b) Material der Kategorie 3, das nach einer der Methoden 1 bis 5 oder nach Methode 7 oder, sofern es sich um Material von Wassertieren handelt, nach einer der Methoden 1 bis 7 gemäß Anhang IV Kapitel III verarbeitet wurde;
 - c) Material der Kategorie 3, das in einer anderen zugelassenen Anlage einer Pasteurisierung / Entseuchung unterzogen wurde;
 - d) tierische Nebenprodukte, die gemäß Artikel 13 Buchstabe e Ziffer ii der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 und gemäß der vorliegenden Verordnung ohne Verarbeitung als Rohmaterial verwendet werden dürfen;
 - e) tierische Nebenprodukte, die der alkalischen Hydrolyse gemäß Anhang IV Kapitel IV Abschnitt 2 Buchstabe A unterzogen wurden;
 - f) folgende tierische Nebenprodukte, soweit von der zuständigen Behörde genehmigt:
 - i) die tierischen Nebenprodukte gemäß Artikel 10 Buchstabe f der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009, die einer Verarbeitung nach Artikel 2 Absatz 1 Buchstabe m der Verordnung (EG) Nr. 852/2004 unterzogen wurden, wenn sie für andere Zwecke als den menschlichen Verzehr bestimmt sind;
 - ii) die tierischen Nebenprodukte gemäß Artikel 10 Buchstabe g der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 oder
 - iii) in Biogas umzuwandelnde tierische Nebenprodukte, wenn die Fermentationsrückstände anschließend gemäß den Bestimmungen der vorliegenden Verordnung kompostiert, verarbeitet oder beseitigt werden.
3. Befindet sich die Biogasanlage in oder bei einem Betrieb, in dem Nutztiere gehalten werden, und verarbeitet sie nicht nur Gülle, Milch oder Kolostrum von diesen Tieren, so ist die Anlage in einem ausreichenden Abstand von dem Bereich zu errichten, in dem die Tiere gehalten werden. Dieser Abstand ist so festzulegen, dass von der Biogasanlage kein unannehmbares Risiko hinsichtlich der Übertragung einer auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit ausgeht. Auf jeden Fall muss eine völlige physische Trennung zwischen der Biogasanlage und dem Viehbestand sowie Futter und Streu gewährleistet sein, gegebenenfalls durch einen Zaun.

4. *Jede Biogasanlage muss über ein betriebseigenes Labor verfügen oder die Dienste eines externen Labors in Anspruch nehmen. Das Labor muss für die erforderlichen Analysen ausgerüstet und von der zuständigen Behörde zugelassen nach international anerkannten Standards akkreditiert oder regelmäßigen Kontrollen durch die zuständige Behörde unterworfen sein.*

Abschnitt 2

Kompostieranlagen

1. *Eine Kompostieranlage muss über einen unumgehbar geschlossenen Kompostierreaktor oder -bereich für die einzuspeisenden tierischen Nebenprodukte bzw. Folgeprodukte verfügen, wobei folgende Installationen vorhanden sein müssen:*
 - a) *Geräte zur Temperaturüberwachung;*
 - b) *Aufzeichnungsgeräte zur – gegebenenfalls kontinuierlichen – Erfassung der in Buchstaben genannten Überwachungsergebnisse;*
 - c) *ein angemessenes Sicherheitssystem zur Vermeidung einer unzulänglichen Erhitzung.*
2. *Abweichend von Nummer 1 können andere Arten von Kompostiersystemen zulässig sein, sofern sie*
 - a) *so betrieben werden, dass sämtliches Material im System die vorgeschriebenen Zeit- und Temperaturparameter erreicht, wobei gegebenenfalls eine kontinuierliche Überwachung der Parameter gewährleistet sein muss, oder*
 - b) *ausschließlich Material gemäß Abschnitt 1 Nummer 2 umwandeln und*
 - c) *alle anderen einschlägigen Anforderungen der vorliegenden Verordnung erfüllen.*
3. *Befindet sich die Kompostieranlage in oder bei einem Betrieb, in dem Nutztiere gehalten werden, und verarbeitet sie nicht nur Gülle, Milch oder Kolostrum von diesen Tieren, so ist die Anlage in einem ausreichenden Abstand von dem Bereich zu errichten, in dem die Tiere gehalten werden.*
Dieser Abstand ist so festzulegen, dass von der Kompostieranlage kein unannehmbares Risiko hinsichtlich der Übertragung einer auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit ausgeht.
Auf jeden Fall muss eine völlige physische Trennung zwischen der Kompostieranlage und dem Viehbestand sowie Futter und Streu gewährleistet sein, gegebenenfalls durch einen Zaun.
4. *Jede Kompostieranlage muss über ein betriebseigenes Labor verfügen oder die Dienste eines externen Labors in Anspruch nehmen. Das Labor muss für die erforderlichen Analysen ausgerüstet und von der zuständigen Behörde zugelassen, nach international anerkannten Standards akkreditiert oder regelmäßigen Kontrollen durch die zuständige Behörde unterworfen sein.*

KAPITEL II

HYGIENEANFORDERUNGEN AN BIOGAS- UND KOMPOSTIERANLAGEN

1. *Tierische Nebenprodukte sind nach ihrer Anlieferung in der Biogas- bzw. Kompostieranlage möglichst schnell umzuwandeln. Sie sind bis zu ihrer Verarbeitung ordnungsgemäß zu lagern.*
2. *Container, Behälter und Fahrzeuge, in denen unbehandeltes Material befördert wurde, müssen an einem entsprechend ausgewiesenen Ort gesäubert und desinfiziert werden.*
Dieser Ort muss so gelegen oder konzipiert sein, dass jedes Risiko einer Kontamination behandelter Produkte vermieden wird.

3. Auf der Grundlage eines dokumentierten Schädlingsbekämpfungsplans ist systematisch präventiv gegen Vogel, Nager, Insekten und anderes Ungeziefer vorzugehen.
Zu diesem Zweck ist ein dokumentiertes Schädlingsbekämpfungsprogramm durchzuführen.
4. Für alle Bereiche der Anlage müssen Reinigungsverfahren festgelegt und dokumentiert sein. Geeignete Reinigungsgeräte und -mittel sind zur Verfügung zu stellen.
5. Die Hygienekontrollen müssen regelmäßige Inspektionen des Arbeitsumfelds und der Arbeitsausrüstung einschließen.
Die Zeitpläne für diese Inspektionen und die Ergebnisse müssen dokumentiert werden.
6. Installationen und Ausrüstung sind in einwandfreiem Zustand zu halten und Messgeräte regelmäßig zu kalibrieren.
7. Fermentationsrückstände und Kompost sind in der Biogas- bzw. Kompostieranlage so zu handhaben und zu lagern, dass eine Rekontamination ausgeschlossen ist.

KAPITEL III

UMWANDLUNGSPARAMETER

Abschnitt 1

Standard-Umwandlungsparameter

1. Material der Kategorie 3, das in einer Biogasanlage mit einer Pasteurisierungs-/Entseuchungsabteilung als Rohmaterial verwendet wird, muss folgende Mindestanforderungen erfüllen:

- a) Partikelgröße vor Eingang in die Abteilung: höchstens 12 mm,
- b) Mindesttemperatur des gesamten Materials in der Abteilung: 70 °C und
- c) Mindestverweildauer in der Abteilung ohne Unterbrechung: 60 Minuten.

Milch, Erzeugnisse auf Milchbasis, aus Milch gewonnene Erzeugnisse, Kolostrum und Kolostrumerzeugnisse der Kategorie 3 können in Biogasanlagen ohne Pasteurisierung / Entseuchung als Rohmaterial verwendet werden, wenn die zuständige Behörde der Auffassung ist, dass sie nicht die Gefahr bergen, schwere auf Mensch oder Tier übertragbare Krankheiten zu verbreiten.

Die in den Buchstaben b und c genannten Mindestanforderungen gelten auch für Material der Kategorie 2, das gemäß Artikel 13 Buchstabe e Ziffer ii der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 ohne vorherige Verarbeitung in eine Biogasanlage eingespeist wird.

2. Material der Kategorie 3, das in Kompostieranlagen als Rohmaterial verwendet wird, muss folgende Mindestanforderungen erfüllen:

- a) Partikelgröße vor Eingang in den Kompostierreaktor: höchstens 12 mm,
- b) Mindesttemperatur des gesamten Materials im Reaktor: 70 °C und
- c) Mindestverweildauer ohne Unterbrechung: 60 Minuten.

Die in den Buchstaben b und c genannten Mindestanforderungen gelten auch für Material der Kategorie 2, das gemäß Artikel 13 Buchstabe e Ziffer ii der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 ohne vorherige Verarbeitung kompostiert wurden. Die nachfolgenden Übersichten zeigen die nationalen und europäischen Rechtsbereiche bei der Verwertung der unterschiedlichsten biogenen Abfälle (Abb. 1, 2 und 3).

Übersicht zu Rechtsbereichen der Einsatzstoffe

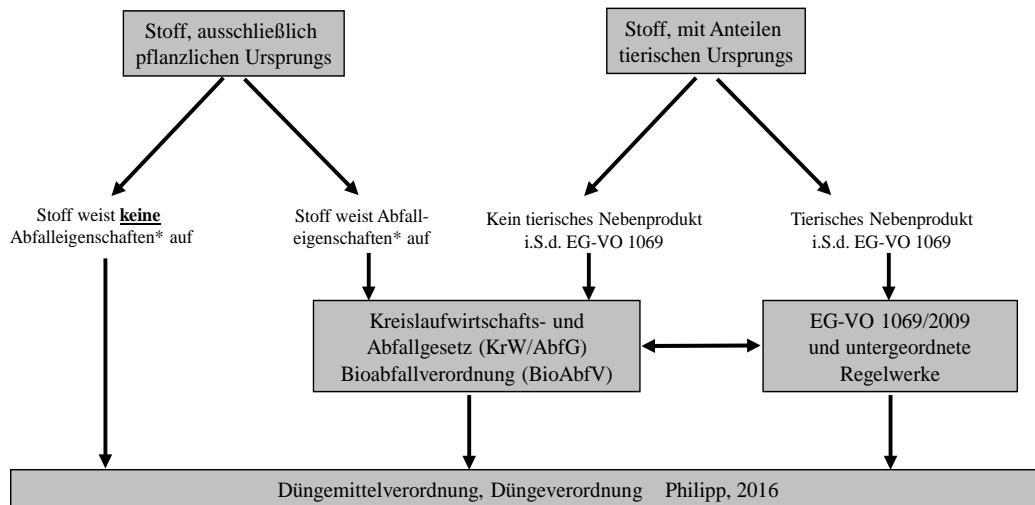
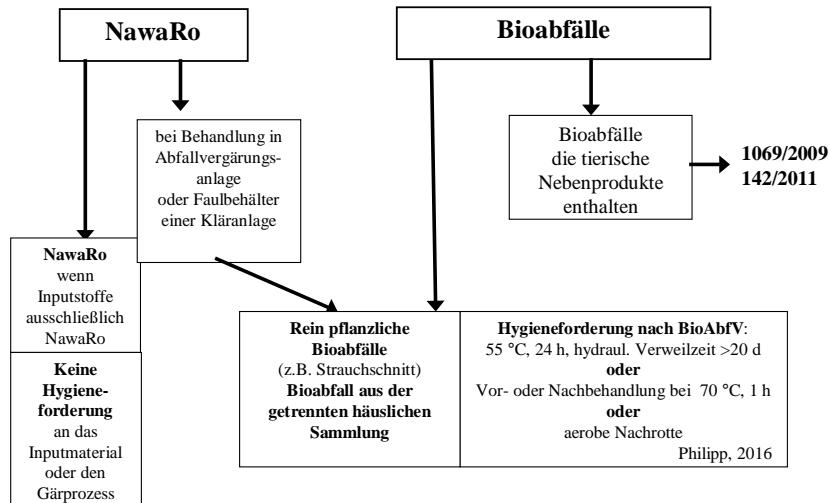


Abbildung 1: Überblick zu den rechtlichen Einteilungen der verschiedenen Abfallströme

9

Übersicht zu Hygieneanforderungen bei der Vergärung und Kompostierung



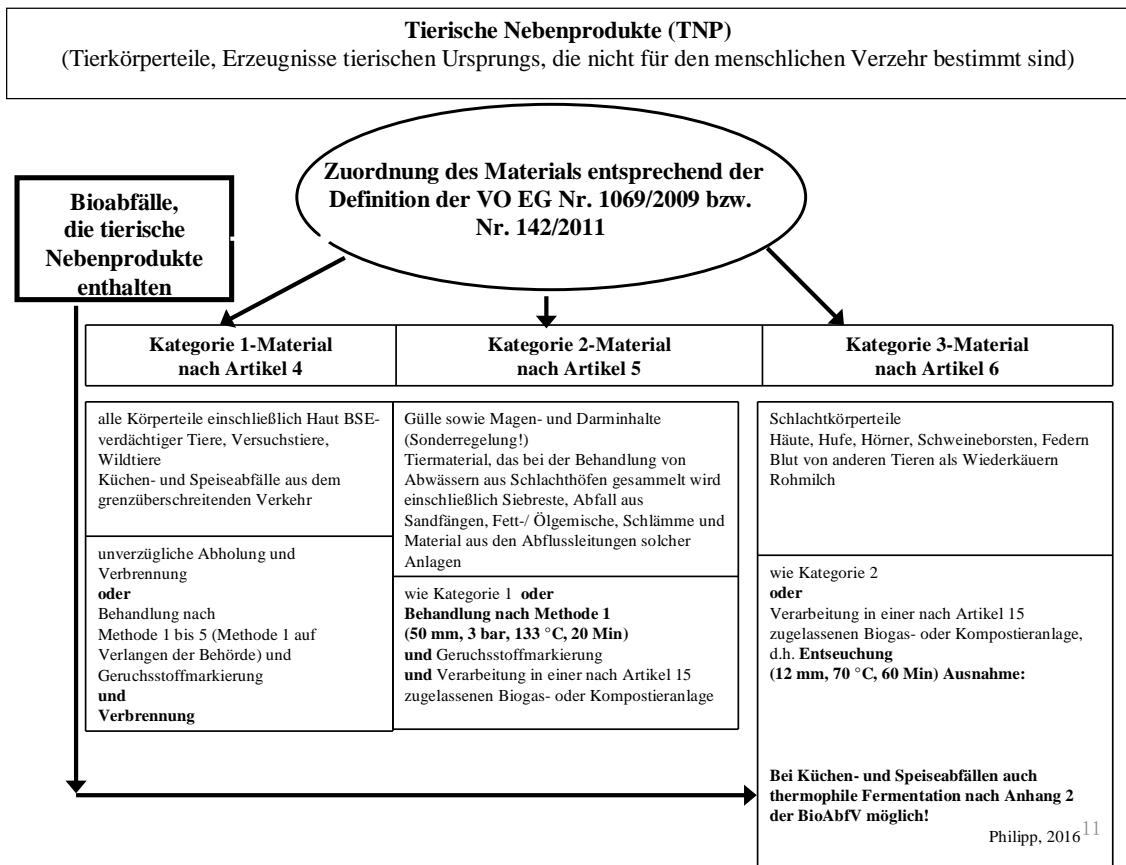


Abbildung 3: Einteilung der Tierischen Nebenprodukte (TNP) in Kategorien

4 Phytohygienische Problematik

Anforderungen an den Einsatz von Kompost als Bodenverbesserer

Die Anwendung von Kompost als Bodenverbesserungsmittel oder Bestandteil von Topf- bzw. Containermedien im Gartenbau impliziert zwei Voraussetzungen für die Kontrolle von Pflanzenkrankheiten.

- Das Produkt sollte frei von Pathogenen sein und
- seine Anwendung darf keine Krankheitserreger stimulieren, die bereits im Boden oder anderen mit Kompost behandelten Substraten vorhanden sind.

Pathogene im Kompost

Das Vorkommen von Pathogenen in Kompost hängt davon ab, ob sie im Ausgangsmaterial vorhanden sind und ob die Hygienisierungsprozesse während der Kompostierung wirksam waren. Populationen von Pathogenen treten häufig in großen Mengen in altem Pflanzengewebe auf, wo Ruheformen für das Überleben während der Abwesenheit von empfänglichen Pflanzen gebildet werden. Sie gelangen in großen Mengen in das Kompostierungssystem, wenn Ernterückstände einen Hauptbestandteil des Rohmaterials ausmachen. Die Ernterückstände enthalten Reste von Feld- und Gewächshausfrüchten sowie Obst- und Gemüsereste in der organischen Fraktion von Haushalts- und Gartenabfällen.

Getrenntsammlung

Durch den bestehenden Trend zur Getrenntsammlung organischer Abfallstoffe von anderem Hausmüll nimmt die Menge des kompostierbaren Materials in vielen Ländern zu und damit auch die mögliche Menge von phytopathogenen Erregern (BOLLEN und VOLKER [19]). Durch die Einführung der getrennten Bioabfallsammlung und -verwertung sind darin, in Abhängigkeit von der Jahreszeit, folgende Stoffe pflanzlicher Herkunft zu finden:

- Rasenschnitt, Baum- und Strauchschnitt,
- Blumen, Fallobst, Wurzelstrünke, Laub, Tannengrün,
- Obst- und Gemüseabfall.

In allen diesen Abfällen können Erreger von Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschädlinge vorkommen (HERRMANN et al., 1994)[43]. Dieser Problemkreis hat bei den früheren Diskussionen um die Hausmüllkompostierung verhältnismäßig wenig Beachtung gefunden, während die seuchhygienischen Aspekte im Vordergrund standen.

4.1 Schaderreger in Stoffen pflanzlicher Herkunft

Ähnlich wie bei den Seuchenerregern gibt es auch im Pflanzenbereich verschiedene Gruppen von Schaderregern (MENKE [62], [19])

- Bakterien,

- Viren,
- Pilze,
- tierische Schädlinge (Nematoden) und
- Unkräuter

Bakterien

Bakterien können als Phytopathogene eine Reihe von Pflanzenkrankheiten verursachen, wobei die Infektion überwiegend vom Boden her erfolgt. Allerdings können sie keine Sporen bilden, wie manche menschen- oder tierpathogene Bakterien. Deshalb sind sie empfindlicher gegen äußere Einflüsse. Die bisherigen Untersuchungen über das Verhalten von phytopathogenen Bakterien bei der Kompostierung zeigen, dass dieser Prozess die davon befallenen Abfälle pflanzlicher Herkunft wirksam hygienisiert. *Erwinia amylovora*, der Erreger des Feuerbrandes bei Obstbäumen und Zierpflanzen wurde zerstört, wenn infizierte Schößlinge einem Kompostierungsprozess von 7 Tagen bei 40 °C oder mehr ausgesetzt waren, jedoch nicht bei niedrigeren Temperaturen.

Zwei andere Bakterien waren sogar noch weniger resistent, z.B. *Erwinia carotovora* var. *chrysanthemi* und *Pseudomonas phaseolicola* bei Chrysanthemenstecklingen bzw. Bohnenblättern. Auch die anaerobe Fermentation von Pflanzenmaterial wirkt sich negativ auf das Überleben von Pathogenen aus. *Clavibacter michiganense* als Erreger des bakteriellen Tomatenkrebses wurde in einem Anaerobreaktor mit Tomatenabfällen bei 35 °C zerstört. Die zur Verfügung stehenden Daten machen es sehr unwahrscheinlich, dass ein ordnungsgemäß hergestellter Kompost mit bakteriellen phytopathogenen Erregern befallen ist (BOLLEN und VOLKER [19], [62]).

Viren

Viren befallen nicht nur Menschen und Tiere, sondern auch Pflanzen. Ihre Vermehrung kann nur in lebenden Zellen stattfinden. Etwa ein Sechstel der Pflanzenviren kommen im Boden vor. Sie infizieren die Pflanzen über die Wurzeln, Zwiebeln oder den Spross. In den meisten gärtnerisch oder landwirtschaftlich genutzten Böden treten Viren auf. Sogar in Pflanzschulen, wo der Pflanzengesundheit mehr Aufmerksamkeit gewidmet wird als in Produktionsbetrieben, sind die Böden oft infiziert. Bei einigen hitzeresistenten Pflanzenviren sind die Literaturangaben über ihre Resistenz bei der Kompostierung widersprüchlich. Tabakmosaikvirus (TMV) wurde in Kompost festgestellt, der aus Resten von befallenen Tabakpflanzen hergestellt war, obwohl die Kompostierung sechs Wochen lang bei 50 - 70 °C erfolgte. Extrakte aus Kompost reduzierten die Infektiosität des TMV sehr stark, ohne jedoch eine völlige Inaktivierung zu bewirken. Andererseits fanden andere Untersucher, dass das TMV in Kompostmieten aus einer Mischung von Bioabfall und Holzhäcksel seine Infektiosität völlig verlor, sogar in Proben, bei welchen die Maximaltemperatur unter 65 °C gelegen hatte (HERRMANN et al., 1994) [43]. Die Infektiosität des Virus wurde an Testpflanzen untersucht. Die Autoren betonen aber, dass es sich möglicherweise um eine reversible Inaktivierung gehandelt haben könnte (Adsorption, ohne das Virusmolekül zu zerstören), anstelle einer irreversiblen Inaktivierung durch Zerstörung des Virus. Hinweise auf das Vorkommen einer reversiblen Inaktivierung bei TMV liegen von anderer Seite vor (BOLLEN und VOLKER [19]).

Pilze

Pilze haben bei Hygienisierungsstudien an Komposten mehr Aufmerksamkeit erfahren als andere Pathogene. Insbesondere sind für die Kompostierung solche Arten von Bedeutung, die ungünstige Umweltbedingungen durch Bildung von widerstandsfähigen Dauersporen oder auch sogenannte Sklerotien überstehen können. Die meisten pilzlichen Pathogene werden schnell inaktiviert. Dies trifft auch für sklerotienbildende Pilze als Ruheformen zu, wie z.B. *Sclerotium rolfsii*, *Sclerotinia trifoliorum*, *Verticillium dahliae* und *Sclerotium cepivorum* bzw. *sclerotiorum*. Trotz ihrer bekannten Resistenz gegen widrige Bedingungen und ihrer Langlebigkeit im Boden sind sie unfähig, die Temperaturen auszuhalten, die bei der Kompostierung während der Hocherhitzungsphase auftreten (BOLLEN und VOLKER [19]).

Biotrophe Pilze, die dickwandige Ruhesporen bilden, sind weniger leicht auszumerzen. Sie sind obligate wurzelinfizierende Parasiten. Die Ruhesporen sind widerstandsfähig gegen Austrocknung sowie Hitze, und sie überleben im Boden viele Jahre. In der Regel sollten bei der Kompostierung Temperaturen von mindestens 60 °C bei genügender Feuchte über mehrere Stunden einwirken, um die Ruhesporen abzutöten. Ein Beispiel ist *Olpidium brassicae*, der Vektor für Viren bei Salat und anderen Ernteprodukten. Bei phytohygienischen Untersuchungen ist der Erreger eine ernsthafte Bedrohung für die Kohlproduktion darstellt, weil Kompost auf Kohlfeldern angewandt wird. Die Literaturangaben dazu sind sehr widersprüchlich. Extreme waren das Überleben während der Kompostierung über 3 Wochen bei 65 °C und die völlige Ausmerzung nach 24 Stunden in Kompost bei 54 °C. Offensichtlich spielen auch andere Faktoren außer der Temperatur bei der Ausmerzung dieses Pilzes eine Rolle. Für einige andere Ruhesporen bildende Pilze sind noch Informationen über ihr Verhalten bei der Kompostierung dringend erforderlich. Pilze sind auch hochempfindlich gegenüber den Einflüssen anaerober Fermentation, wie für *Fusarium oxysporum f. sp. dianthii* (Erreger der Welkekrankheit bei Nelken) und *Sclerotium cepivorum* (Mehlkrankheit bei Zwiebeln) gezeigt werden konnte. Es wäre wichtig zu wissen, ob das auch für biotrophe Parasiten zutrifft, die dickwandige Ruhesporen bilden (BOLLEN und VOLKER [19]).

Nematoden

Nematoden (Älchen) sind tierische Schädlinge, von denen manche einen sehr großen Wirtspflanzenkreis haben, während andere sich nur auf eine einzige Pflanzenart spezialisieren. Von großer Bedeutung sind hier vor allem solche Nematoden, die in der Lage sind, sogenannte Zysten zu bilden. Bei diesen Zysten handelt es sich um Weibchen, die in Dauerformen umgewandelt sind. Sie sind ausgefüllt mit Eierpaketen oder Larven, je nachdem, um welche Art es sich handelt. Diese Zysten können viele Jahre im Boden überleben. Wenn geeignete Bedingungen auftreten, d.h. wenn Wirtspflanzen in der Nähe wachsen, werden diese Larven zum Schlüpfen angeregt und wandern zu den Wurzeln der Wirtspflanzen hin, die sie dann befallen (MENKE [62]). Die Überlebensdaten von Nematoden bei der Kompostierung zeigen, dass sie dagegen empfindlich sind. Dies trifft auch für die zystenbildenden Spezies und Wurzelgallenbildner zu, die gegen ungünstige Bedingungen im Boden, wie Austrocknung und Chemikalien, resistenter sind als die meisten anderen Nematoden. Bei einem hochwirksamen Kompostierungsverfahren für Haushaltsabfälle wurden die Wurzelgallennematoden *Meloidogyne incognita* var. *acrita* an Tomaten in allen acht durchgeführten Versuchen abgetötet. Das gleiche wurde auch für *M. incognita* an Paprika bei der Kompostierung von Küchen- und Garten-

abfällen gefunden. Nematoden sind gegen hohe Temperaturen empfindlicher als die meisten anderen Phytopathogene. Obgleich nur wenige Untersuchungen bei der Kompostierung von infizierten Ernterückständen durchgeführt wurden, unterstützen die Ergebnisse die Schlussfolgerung, dass ein sachgemäß hergestellter Kompost über eine Hochtemperaturrottephase und eine Nachrotte frei von pflanzenpathogenen Nematoden ist (BOLLEN und VOLKER [19]).

Unkräuter

Unkräuter sind keine Phytopathogene im eigentlichen Sinne, sie konkurrieren allerdings mit den Kulturpflanzen um Nährstoffe, Licht, Wasser und anderes und sind daher in Kulturen unerwünscht. Unkrautsamen bleiben einige Jahre im Boden keimfähig. Wenn ein Garten umgegraben oder ein Feld umgepflügt wird, werden diese Samen wieder an die Oberfläche gebracht und können danach auskeimen. Solche Unkrautsamen können durchaus in bestimmten Jahreszeiten auch im Biomüll enthalten sein (MENKE [62]).

4.2 Behandlung in Kompostierungsanlagen

Prinzip

Die Inaktivierung und Zerstörung der Erreger von Pflanzenkrankheiten bei der Kompostierung wird durch verschiedene Faktoren bewirkt:

1. die bei der ersten Rottephase entstehenden hohen Temperaturen,
2. Toxizität von Abbauprodukten,
3. enzymatischer Abbau und
4. mikrobieller Antagonismus.

Temperaturbereiche

Als Schlußfolgerung wird angegeben, dass die entstehenden Temperaturen während der ersten aeroben Kompostierungsphase von Ernterückständen und häuslichem Bioabfall die für eine Abtötung der meisten Erreger erforderliche Grenze übersteigen. Die für eine komplette Eliminierung eines Pflanzenpathogens erforderliche Temperatur ist von dem Umfang des Erregervorkommens abhängig.

Feuchtegehalt

Auch der Einfluss von Materialfeuchtigkeit auf die Thermosensitivität von Erregern ist belegt. Erhöhte Widerstandsfähigkeit unter trockenen Bedingungen ist die Regel und wurde mehrfach nachgewiesen. Das Auftreten von Trockenestern im Kompostmaterial ist wahrscheinlich der Hauptgrund für das Überleben von Pathogenen in Komposthaufen oder -mieten, bei denen man anhand der erreichten Temperaturen deren Eliminierung erwartet hatte. Ein Mindestfeuchtegehalt von 40 % wird deshalb empfohlen.

Toxizität von Abbauprodukten

Über die Interaktionen zwischen Hitzeresistenz und pH-Wert des Substrates liegen nur ungenügende Informationen vor. Die Zerstörung oder der Verlust der Infektiosität von Phytopathogenen in Komposten, bei deren Herstellung die erforderlichen thermischen Bedingungen nicht erreicht wurden, werden der Aktivität toxischer Umwandlungsprodukte oder dem direkten Abbau pathogener Strukturen durch die Mikroflora zugeschrieben. Beweise für die Beteiligung toxischer Verbindungen werden hauptsächlich von Beobachtungen beim Abbau unter anaeroben Bedingungen abgeleitet.

enzymatischer Abbau

Enzymatischer Abbau ist möglicherweise einer der Mechanismen für die Inaktivierung von Viren, da sie bei dem Abbau pflanzlicher Rückstände der proteolytischen Aktivität der Mikroflora ausgesetzt sind. Daten über die Anfälligkeit von Virusproteinen gegen die bei der Kompostierung vorherrschenden Bedingungen fehlen noch. Beim Tabakmosaikvirus gibt es Hinweise dafür, dass sein Abbau mit einer hohen mikrobiellen Aktivität einhergeht.

mikrobieller Antagonismus

Auch mikrobieller Antagonismus scheint ein Hauptfaktor bei denerregerunterdrückenden Eigenschaften von Reifikompost zu sein. Als Haupteffekt wird ein erhöhtes Niveau von Fungistase infolge der Konkurrenz zwischen Pathogenen und der Kompostmikroflora beschrieben, während Mykoparasitismus und Amensalismus infolge Bildung von antifungalnen Substanzen in geringerem Maße beteiligt sind. Die Autoren ziehen die Schlußfolgerung, dass wirkliche Beweise für die Rolle eines oft behaupteten mikrobiellen Antagonismus, der zum Abbau von Phytopathogenen bei der Kompostierung beiträgt, bisher nicht erbracht wurden (BOLLEN und VOLKER [19]).

Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die überwiegende Mehrheit der bisher untersuchten Phytopathogene die bei der Kompostierung von Pflanzenabfällen vorherrschenden Bedingungen nicht überlebt, wenn auch einige wenige ungeschädigt davonkommen. Zu den in dieser Hinsicht kritischen Phytopathogenen zählen die hitzeresistenten Viren, einige biotrophe Pilze und wenige Stämme von *Fusarium oxysporum*. Unter den an der Inaktivierung von Phytopathogenen beteiligten Faktoren wird die Temperatur als der Hauptfaktor bei der aeroben Kompostierung angesehen und bei dem anaeroben Abbau die dabei entstehenden toxischen Stoffe. Obgleich auch toxische Produkte zur Abtötung von Pathogenen bei der Kompostierung beitragen, ist die Temperatur der beste Parameter für die Beurteilung der Hygienisierung, da die Temperatur viel leichter überwacht werden kann als die Bildung von toxischen Metaboliten. Die gegenwärtigen Methoden für Probennahmen und Feststellung von Phytopathogenen im Kompost erlauben keine verlässliche Bewertung des Erregerbefalls im Endprodukt Kompost. Der derzeit dafür am besten geeignete Weg ist die Festlegung der Bedingungen, die für eine Hygienisierung bei der Kompostierung eingehalten werden müssen, so wie es in der BioAbfV erfolgt ist. Es wird nicht möglich sein, jegliches Risiko völlig auszuschließen, jedoch werden mit der Auswahl der Testorganismen *P. brassicae*, Tomatensamen

und Tabakmosaikvirus die allermeisten Phytopathogene abgedeckt (BOLLEN und VOLKER [62], HERRMANN et al., 1994 [43], POLLMAND und STEINER [69]).

5 Keimemissionen bei der Kompostierung

5.1 Stand des Wissens im vorletzten Jahrhundert

Bioaerosole

Nachdem in Dänemark zu Beginn der neunziger Jahre eine Häufung von wahrscheinlich bioaerosolbedingten Erkrankungen bei Arbeitnehmern in einer Abfallsortieranlage registriert worden war (MALMROS et al., 1992) [58], sind auch Bioaerosole, die im Zusammenhang mit der Kompostierung entstehen bzw. freigesetzt werden, in den letzten Jahren national wie international zunehmend in den Blickpunkt des Interesses geraten.

Statements zu Bioaerosolemissionen

Im Januar 1993 wurde in den USA eine Expertengruppe durch den Composting Council, die Environmental Protection Agency (EPA), das Landwirtschaftsministerium (USDA) und das Nationale Institut für Arbeitssicherheit und -gesundheit (NIOSH) zu einer Arbeitstagung zusammengerufen, die anhand von 200 Literaturangaben und Fallstudien den damaligen Stand des Wissens auf diesem Gebiet zusammenzufassen versuchte. Diese vor nunmehr mehr als sechs Jahren erschienene Studie, die sich sowohl mit Arbeitsschutzaspekten im Zusammenhang mit Bioaerosol-Expositionen an Kompostiererarbeitsplätzen als auch mit der Problematik von entsprechenden Immissionen in die Nachbarschaft von Kompostieranlagen beschäftigte, kam im Ergebnis zu folgenden Schlussfolgerungen (MILLNER et al., 1994) [64]:

1. Die Bevölkerung ist nicht gefährdet durch

- systemische oder
- Gewebsinfektionen

infolge von Bioaerosolemissionen, die von Kompostierungsaktivitäten ausgehen.

2. Immunsupprimierte Individuen unterliegen erhöhtem Risiko durch Infektionen von verschiedenen opportunistischen Krankheitserregern, wie *Aspergillus fumigatus*, der nicht nur in Kompost auftritt, sondern auch in anderen sich selbst erhitzen organischen Materialien in der natürlichen Umwelt.

3. Asthmatische und allergisch veranlagte Individuen haben ein erhöhtes Risiko durch Reaktionen auf Bioaerosole von vielfältigen Umwelteinflüssen und organischen Staubquellen einschließlich Kompost.

- *A. fumigatus* ist nicht das einzige oder gar das allerwichtigste in Betracht kommende Bioaerosol bei der Risikoabschätzung für das Organic Dust Toxic Syndrome (ODTS), Mucous Membrane Irritation (MMI) und Hypersensitivity Pneumonitis (HP), die auftreten können, wenn Individuen organischen Stäuben ausgesetzt sind.
- Die Summe der luftgetragenen Allergene, die sensibilisieren und anschließend asthmatische oder allergische Ereignisse auslösen, kann mit den gegenwärtig zur Verfügung stehenden

Informationen nicht definiert werden, besonders unter Berücksichtigung von Variationsbreite der Sensitivität bei betroffenen Individuen, der zahlreichen Quellen für Allergene in der natürlichen Umgebung und der Vielfalt von Bestandteilen und Bioaerosolen.

- Die Aussichten für solch eine präzise Definition sind wegen dieser Faktoren vorläufig begrenzt.
4. Trotz der Tatsache, dass einige Bioaerosole Berufsallergien und -krankheiten verursachen können und dass einige dieser Bioaerosoltypen in der Luft von Bioabfallkompostierungsanlagen vorhanden sind, unterstützen die greifbaren epidemiologischen Daten nicht die Vermutung des Auftretens von allergischen, asthmatischen, akuten oder chronischen Respirationskrankheiten bei der allgemeinen Bevölkerung, die bei oder in der Nähe von verschiedenen untersuchten offenen und einer geschlossenen Kompostierungsanlage lebt.
- Folglich ist die Antwort, die sich aus der Fragestellung bei Beginn der Arbeitstagung ergibt: „*Kompostierungsanlagen sind keine außergewöhnliche Gefährdung für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Öffentlichkeit*“.
 - Die wichtigste Grundlage für diese Schlussfolgerung ist die Tatsache, dass man die Arbeiter als den am meisten gefährdeten Teil der Gemeinschaft betrachtet hat. Dort, wo man die Gesundheit der Arbeiter über Zeiträume bis zu zehn Jahren in einer Kompostierungsanlage überprüfte, wurden keine signifikanten gesundheitlichen Auswirkungen gefunden. Außerdem ergaben in den meisten Fällen die Untersuchungen von Bioaerosolen in Wohngebieten um Kompostierungsanlagen herum auf aerobe Bakterien, thermophile Pilze und *A. fumigatus*, dass die luftgetragenen Konzentrationen sich nicht signifikant von den Hintergrundkonzentrationen (ohne Kompostwerk) unterschieden.
 - Ein wahrscheinlicher Grund, dass das Bioaerosolniveau sich nicht signifikant von dem Hintergrundniveau unterschied, liegt darin, dass auch die natürlicherweise auf der sich durch Selbsterhitzung abbauenden organischen Substanz wachsenden und dann aerosolierten Bakterien in die ganze Umwelt weithin verstreut werden.
5. Die berufliche Belastung durch Bioaerosole in Kompostierungsanlagen kann signifikant sein, in Abhängigkeit von den Verhältnissen in der Anlage, den Tätigkeitsbereichen und deren Nähe.
- Die Arbeiter in Kompostierungsanlagen sind den Kompostbioaerosolen deutlich stärker ausgesetzt als die Bevölkerung in der Umgebung.
 - Wie jedoch bereits oben festgestellt, sind bei dem Personal solcher Anlagen keine signifikanten Differenzen bezüglich der allgemeinen und respiratorischen Fitness gegenüber unbelasteten Personen aufgetreten. Andererseits sind negative gesundheitliche Einflüsse bei einigen Arbeitern in Pilzzuchten sowie Holzschnitzel und Baumrinde verarbeitenden Betrieben beobachtet worden.
- Dies legt nahe, bei zukünftigen arbeitsmedizinischen Studien systematische Abschätzungen für MMI, ODTs und HP und ähnliche Gesundheitsstörungen bei geringen chronischen Belastungssituationen vorzunehmen, wie z.B. allgemeine Belastungen mit 10^4 - 10^5 KBE/m³ Luft.
6. Wegen der fortgesetzten Bedenken in der Öffentlichkeit und wegen des großen Spielraums potentieller respiratorischer Reaktionen auf organische Stäube wären zusätzliche Untersuchungen hilfreich, um das offensichtliche Fehlen nachteiliger gesundheitlicher Auswirkungen von Kompostierungsanlagen zu überprüfen.

Zwei Arten von Studien (epidemiologische und Belästigungen betreffend) wären hilfreich, um die potentiellen Auswirkungen von Bioaerosolen aus jeglicher Quelle - Kompostierung oder andere - zu definieren.

- a) Epidemiologische Studien könnten helfen, die Dosis-Wirkungsbeziehungen zu bestimmen.

Wenn sie sorgfältig geplant und durchgeführt werden, könnten sie möglicherweise jeden negativen Gesundheitseffekt auf die Bevölkerung im Umfeld einer Kompostierungsanlage klar dokumentieren.

Solche epidemiologischen Studien sind teuer und schwierig und sind bisher noch nicht durchgeführt worden.

Falls sie durchgeführt würden, müssten sie objektive Messmethoden wie Lungenfunktionsprüfung, Serologie auf Antigene von Kompostbioaerosolen und mikrobielle Serotypen in dem beeinflussten Umfeld umfassen, ebenso wie vollständige Krankengeschichten von Betroffenen und andere geeignete Maßnahmen, um Reizreaktionen auf organische Stäube zu quantifizieren.

- b) Belästigungsstudien sind viel leichter durchzuführen.

Sie können und haben nützliche Informationen zu weit geringeren Kosten ergeben.

Wenn sie sorgfältig geplant sind und in Gemeinden im Umfeld von Kompostierungsanlagen durchgeführt werden, in Verbindung mit der Bestimmung von aktuellen Belastungen, können diese Studien dazu dienen, die Belästigung in Verbindung mit dem Vorkommen oder Fehlen von Bioaerosolen und anderen Faktoren wie üble Gerüche, Reizungen, Unbehagen, Lärm, visuelle Bedenken und Verkehr zu belegen.

Die Verfahren für die Abschätzung von Belästigungen sind vorhanden und könnten nützlich sein für die Bewertung von Auswirkungen auf die Anwohner, weil sie einen systematischen Mechanismus bieten für die Protokollierung von Beobachtungen (olfaktoriell oder andere), Bestätigungen, Korrelationen und Interpretationen.

Die Erweiterung von Belästigungsstudien durch eine begrenzte Zahl von objektiven Messungen könnte bei der Aufschlüsselung von Korrelationen in Ursachen und Wirkungen hilfreich sein.

Untersuchungen zur Bioaerosol-Problematik

Der in diesen Statements zum Ausdruck gebrachte Forschungsbedarf auf diesem Gebiet fand seinen Niederschlag in einer Reihe von Untersuchungen im In- und Ausland, die zum Teil zu unterschiedlichen Ergebnissen kamen, aber ebenfalls zu keinen grundsätzlichen Antworten auf die angesprochenen Fragestellungen führten. Als Beispiel für Untersuchungen zur Arbeitsplatzproblematik seien solche aus Skandinavien genannt (Malmros, 1995 [57]; Poulsen et al. 1995 [70]) sowie eine entsprechende Studie aus Deutschland (Schappler-Scheele 1999 [75]). Hinsichtlich Immissionsfragestellungen, zu denen gegenwärtig sowohl in den USA (Johanning 2000 [46]) als auch in Deutschland aktuell Untersuchungen durchgeführt werden, sei auf die Ergebnisse der Studien von Gerbl-Rieger et al.(1999) [36], Hessisches Umweltministerium (1999) [83] und Schilling et al. (1999) [77] hingewiesen.

5.2 Aspekte des Arbeitsschutzes

Bereits vor der Jahrhundert- bzw. Jahrtausendwende wurde ein Kenntnisstand über bioaerosolbedingte Gesundheitsauswirkungen im Kontext zur Kompostierung veröffentlicht (Herr et al.; 1999) [41].

Vor dem Hintergrund der vielseitigen Aspekte des Arbeitsschutzes sei auf die in Deutschland existierenden und hierbei zu beachtenden Regelwerke hingewiesen. Die Biostoff-Verordnung diente der Umsetzung der EU-Richtlinie zum Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit (90/679 EWG) in nationales Recht, in Form der Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit Biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung – BioStoffV, 2013). Sie regelt Maßnahmen zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten vor Gefährdungen durch diese Tätigkeiten. Sie regelt weiterhin auch Maßnahmen zum Schutz anderer Personen, soweit diese aufgrund des Verwendens von Biostoffen durch Beschäftigte oder durch Unternehmer ohne Beschäftigte gefährdet werden können. Die Verordnung gilt auch für Tätigkeiten, die dem Gentechnikrecht unterliegen, sofern dort keine gleichwertigen oder strengeren Regelungen zum Schutz der Beschäftigten bestehen.

In Abschnitt 2 der BioStoffV liegt der Schwerpunkt in einer Gefährdungsbeurteilung.

Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 5 des Arbeitsschutzgesetzes hat der Arbeitgeber die Gefährdung der Beschäftigten durch die Tätigkeiten mit Biostoffen vor Aufnahme der Tätigkeit zu beurteilen. Die Gefährdungsbeurteilung ist fachkundig durchzuführen. Verfügt der Arbeitgeber nicht selbst über die entsprechenden Kenntnisse, so hat er sich fachkundig beraten zu lassen.

- (2) Der Arbeitgeber hat die Gefährdungsbeurteilung unverzüglich zu aktualisieren, wenn
 1. maßgebliche Veränderungen der Arbeitsbedingungen oder neue Informationen, zum Beispiel Unfallberichte oder Erkenntnisse aus arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen, dies erfordern oder
 2. die Prüfung von Funktion und Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen ergeben hat, dass die festgelegten Schutzmaßnahmen nicht wirksam sind. Ansonsten hat der Arbeitgeber die Gefährdungsbeurteilung mindestens jedes zweite Jahr zu überprüfen und bei Bedarf zu aktualisieren. Ergibt die Überprüfung, dass eine Aktualisierung der Gefährdungsbeurteilung nicht erforderlich ist, so hat der Arbeitgeber dies unter Angabe des Datums der Überprüfung in der Dokumentation nach § 7 zu vermerken.
- (3) Für die Gefährdungsbeurteilung hat der Arbeitgeber insbesondere Folgendes zu ermitteln:
 1. Identität, Risikogruppeneinstufung und Übertragungswege der Biostoffe, deren mögliche sensibilisierende und toxische Wirkungen und Aufnahmepfade, soweit diese Informationen für den Arbeitgeber zugänglich sind; dabei hat er sich auch darüber zu informieren, ob durch die Biostoffe sonstige die Gesundheit schädigende Wirkungen hervorgerufen werden können,

2. Art der Tätigkeit unter Berücksichtigung der Betriebsabläufe, Arbeitsverfahren und verwendeten Arbeitsmittel einschließlich der Betriebsanlagen,
3. Art, Dauer und Häufigkeit der Exposition der Beschäftigten, soweit diese Informationen für den Arbeitgeber zugänglich sind,
4. Möglichkeit des Einsatzes von Biostoffen, Arbeitsverfahren oder Arbeitsmitteln, die zu keiner oder einer geringeren Gefährdung der Beschäftigten führen würden (Substitutionsprüfung),
5. tätigkeitsbezogene Erkenntnisse a) über Belastungs- und Expositionssituationen, einschließlich psychischer Belastungen, b) über bekannte Erkrankungen und die zu ergreifenden Gegenmaßnahmen, c) aus der arbeitsmedizinischen Vorsorge. (4) Der Arbeitgeber hat auf der Grundlage der nach Absatz 3 ermittelten Informationen die Infektionsgefährdung und die Gefährdungen durch sensibilisierende, toxische oder sonstige die Gesundheit schädigende Wirkungen unabhängig voneinander zu beurteilen. Diese Einzelbeurteilungen sind zu einer Gesamtbeurteilung zusammenzuführen, auf deren Grundlage die Schutzmaßnahmen festzulegen und zu ergreifen sind. Dies gilt auch, wenn bei einer Tätigkeit mehrere Biostoffe gleichzeitig auftreten oder verwendet werden.

In diesem Zusammenhang sind die nachgeschalteten Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA)

- 405 „Anwendung von Messverfahren für luftgetragene Biologische Arbeitsstoffe“,
- 430 „Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz“
- 450 „Einstufungskriterien für biologische Arbeitsstoffe“
 - 460 „Einstufung von Pilzen in Risikogruppen“
 - 462 „Einstufung von Viren in Risikogruppen“
 - 464 „Einstufung von Parasiten in Risikogruppen“

sowie die TRBA 500 „Allgemeine Hygienemaßnahmen: Mindestanforderungen“ zu beachten.

In einem Handbuch der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK, 2010) wird Betreibern von Kompostierungsanlagen (inkl. Kompostierung von Gärrückständen) eine Hilfestellung gegeben, um die Ursachen von Emissionen klimarelevanter Gase zu verstehen, Risikofaktoren für erhöhte Emissionen zu erkennen und solche Emissionen mit vorbeugenden Maßnahmen und technischen Mitteln soweit als möglich zu vermeiden. Die Vermeidung von Geruchsemissionen, denen im Praxisbetrieb eine hohe Bedeutung zukommt, sowie Fragen des Arbeitsschutzes werden weniger tangiert. In künftigen Auflagen sollen Verfahren der Vergärung zusätzlich aufgenommen und auch die Emissionen, von Gerüchen, Keimen, Staub inkl. Maßnahmen ihrer Vermeidung und Begrenzung mit einbezogen werden.

Im Januar 2015 wurden in Deutschland eine Betriebssicherheitsverordnung und die Änderung der Gefahrstoffverordnung beschlossen, die am 1. Juni 2015 in Kraft trat.

Die neue Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) dient der Verbesserung des Arbeitsschutzes bei der Verwendung von Arbeitsmitteln durch Beschäftigte sowie dem Schutz Dritter beim Betrieb von

überwachungsbedürftigen Anlagen. Gleichzeitig wird die Neufassung dem Arbeitgeber, insbesondere den Kleinen und Mittleren Unternehmen (KMU), die Anwendung der Arbeitsschutzregelungen bei Arbeitsmitteln erleichtern. Dazu wird die seit 2002 geltende Betriebssicherheitsverordnung konzeptionell und strukturell neu gestaltet. Zudem werden Doppelregelungen u.a. zur Gefahrstoffverordnung und zum neuen Gewässerschutzrecht des Bundes (AwSV) bei bestimmten Dokumentationen und Prüfungen beseitigt. Konzeptionell und strukturell erfolgt eine Angleichung an andere moderne Arbeitsschutzverordnungen, insbesondere die Gefahrstoffverordnung.

Die neue Verordnung trägt besonderen Unfallschwerpunkten Rechnung (Instandhaltung, besondere Betriebszustände, Betriebsstörungen, Manipulationen) und enthält besondere Vorgaben zur alters- und altersgerechten Gestaltung.

Sie berücksichtigt ergonomische und psychische Belastungen bei der Verwendung von Arbeitsmitteln. Damit wird dem Anliegen der Bundesregierung Rechnung getragen, die Beschäftigungsfähigkeit älterer Menschen zu verbessern.

Daneben ist

- die gleichfalls auf dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG, i. d. F. v. August 1996) fußende Verordnung über Arbeitsstätten (ArbStättV, insb. § 5 und 14) sowie
- die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) und
- die dieser nachgeordneten Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)
 - 500 (Schutzmaßnahmen - Mindeststandards),
 - 540 (Sensibilisierende Stoffe),
 - 907 (Verzeichnis sensibilisierender Stoffe) und
 - 908 (Begründung zur Bewertung von Stoffen der TRGS 907).

zu beachten.

5.3 Messstrategien für die Bestimmung von Bioaerosol-Emissionen aus Kompostwerken

Im Folgenden soll auf aktuelle Fragestellungen bezüglich Bioaerosol-Emissionen aus Kompostwerken im engeren Sinne eingegangen werden, d.h. Fragestellungen im Zusammenhang mit kompostwerksbedingten Immissionen in der Nachbarschaft solcher Anlagen, die möglicherweise von Relevanz sein könnten. Der dargestellte Kenntnisstand bezieht sich auf drei in Deutschland erstmalig durchgeführte Forschungsvorhaben zu diesem Themenkreis. Ergebnisse wurden im Rahmen eines VDI/DIN-Statusseminars im September 1999 in Langen vorgestellt (Hofmann et al. 1999 [44]). Im Folgenden werden einige wesentliche Passagen aus diesen Ausführungen wiedergeben und abschließend wörtlich zitiert:

„Bei den für Bioaerosol-Emissions- und Immissionsmessungen/-prognosen in Deutschland gegenwärtig zur Anwendung kommenden Messstrategien gibt es derzeit zum Teil erhebliche Unterschiede, die neben der Sammlerwahl auch die Auswahl der Probenahmestandorte, die Anzahl der Probenwiederholungen, die untersuchte Emissionssituation (worst case - Szenario versus Durchschnittsbedingungen) und anderes mehr betreffen.“

Hinsichtlich der in aktuellen Studien (zur Keimausbreitung aus Kompostwerken, Anm. d. Verf.) bestimmten Messparameter zeichnen sich deutliche Gemeinsamkeiten ab. So wurden i.d.R. die Konzentrationswerte an mesophilen Bakterien und Schimmelpilzsporen, an thermotoleranten Schimmelpilzen, darunter *Aspergillus fumigatus*, und thermophilen Aktinomyzeten bestimmt. Von diesen zeichnen sich thermotolerante Schimmelpilze, namentlich *A. fumigatus*, und die Gruppe der thermophilen Aktinomyzeten als geeignete Indikatoren für Emissionen aus Kompostierungsanlagen ab.

Diese Mikroorganismengruppen erreichen in der unbelasteten Außenluft üblicherweise nur geringe Konzentrationswerte und kommen andererseits in Kompostierungsanlagen, selektiv begünstigt durch den thermophilen Rotteprozess, gehäuft vor. Weit unspezifischer im Hinblick auf Emissionen von Kompostierungsanlagen wird von einigen Autoren der Nachweis von mesophilen Schimmelpilzen und Bakterien beurteilt.

Weitere Aktivitäten galten der Erprobung unterschiedlicher Messstrategien. Den Strategien ist gemeinsam, dass in Lee zur Anlage, in Abhängigkeit von der zum Messzeitpunkt herrschenden Windrichtung, an mehreren Probenahmeorten Messungen durchgeführt wurden. Die Probenahmeorte waren dabei in unterschiedlicher Entfernung zur Anlage in einem Winkel angeordnet, in dessen Mitte die Hauptimmission zu erwarten ist. Bei einer Strategie wurden an allen Probenahmeorten zeitgleich bzw. in enger zeitlicher Abstimmung und synchron mit Emissionsmessungen in der Anlage Proben genommen, wobei durchschnittliche meteorologische und anlagentechnische Situationen untersucht werden. Bei einer anderen Strategie wurde, bei zeitgleichen Probenahmen, der Zeitpunkt der Messungen so gewählt, dass die meteorologischen Bedingungen eine maximale Immission erwarten ließen. Gleichzeitig wurde die Anlage so betrieben, dass auch die Emissionen Maximalwerte erreichten (worst case). Diese Messstrategie ist gut geeignet, wenn es um die Erfassung einer maximalen Belastung geht. Sie hat den Vorteil, dass sie innerhalb einer relativ kurzen Messkampagne durchzuführen ist. Die Messung kann jedoch nur unter definierten meteorologischen Bedingungen durchgeführt werden, und insbesondere bei zeitgleichen Messungen muss ein großer technischer und personeller Einsatz kurzfristig realisiert werden können.

Bei anderen Messstrategien wurden im Verlauf eines Jahres bei normalen Betriebsbedingungen und verschiedenen Wetterlagen (unterschiedliche Ausbreitungsbedingungen) an allen Probenahmeorten die Probenahmen in ausreichender Häufigkeit durchgeführt. Hierdurch erhält man ein umfassenderes Bild von verschiedenen möglichen Immissionssituationen im Umfeld der Anlage. Im Vergleich zur vorgenannten Strategie bedarf es für eine gesicherte Aussage einer großen Anzahl von Messwiederholungen je Probenahmeort.

Zur Probenahme wurden in allen diesen Studien Filtrationssammler eingesetzt und die Probenaufarbeitung erfolgte in Anlehnung an die TRBA 430. Damit lassen sich die erhaltenen Messwerte aus den Studien zumindest in Teilbereichen miteinander vergleichen. Außerdem besteht eine Vergleichsmöglichkeit mit Mikroorganismen-Messdaten aus dem Bereich des Arbeitsschutzes, die ebenfalls mit Filtrationssammlern (nach TRBA 430) gewonnen wurden. Es muss angemerkt werden, dass sich die Ergebnisse aus Vergleichsstudien unter Laborbedingungen oder aus Arbeitsplatzstudien nur begrenzt in den Immissionsbereich übertragen lassen. Filtrationssammler sind außerdem gut geeignet für den Nachweis luftgetragener Sporen. Sowohl thermotolerante Schimmelpilze (incl. *A. fumigatus*) als auch thermophile Aktinomyzeten, die sich in den Studien als geeignete Indikatoren für Bioaerosol-Immissionen im Umfeld von Kompostieranlagen erwiesen

haben, können mit dem Verfahren gut nachgewiesen werden. Durch Kombination des „direkten“ und „indirekten“ Probenahmeverfahrens kann die Methode außerdem über einen weiten Konzentrationsbereich angewendet werden.

Trotz der genannten Vorteile, die eindeutig für einen Einsatz von Filtrationsverfahren sprechen, gibt es auch Situationen und Fragestellungen, in denen andere Messverfahren bzw. Sammler zur Erreichung bestimmter Messziele besser geeignet sind. So können zum Beispiel bei einigen mikrobiologischen Messparametern (insbesondere vegetative Formen von Mikroorganismen) mit Impingern höhere Ausbeuten erzielt werden und die Geräte lassen sich auch bei sehr hohen rel. Luftfeuchten einsetzen. Die Anwendung von Mehrstufenimpaktoren erlaubt eine Fraktionierung der Proben nach aerodynamischen Partikelgrößen.

In der vergleichenden Betrachtung dieser und anderer Studien lassen sich einerseits Gemeinsamkeiten, andererseits auch Unterschiede erkennen. So erwiesen sich übereinstimmend die Parameter gram-negative Bakterien und mesophile Bakterien nur im Einzelfall geeigneter Indikator. Hinsichtlich der Abstände, für die gegenüber „Normalwerten“ erhöhten Konzentrationen an Sporen des Schimmelpilzes *A. fumigatus* konstatiert werden, variieren die Angaben von 90 Metern bis über 1 Kilometer. (Millner et al. 1977 [63]; ERCO 1980 [31]; Lundholm u. Rylander 1980 [55]; Kothary u. Chase 1984 [51]; Boutin et al. 1987 [20]; Gerbl-Rieger et al. 1999 [36]; Hessisches Umweltministerium (Hrsg.) 1999 [83])

Dies zeigt, dass sich verallgemeinernde Aussagen hinsichtlich Immissionen von Kompostierungsanlagen nicht treffen lassen, da übereinstimmend alle Studien zu dem Ergebnis kamen, dass jeweils eine Einzelfallbewertung erforderlich ist, die die konkreten topographischen Gegebenheiten, die meteorologischen Rahmenbedingungen und die Anlagenkonzepte der jeweiligen Anlagen berücksichtigt. Darüber hinaus kann gesagt werden, dass einheitliche Messstrategien auch bei den in jüngerer Vergangenheit in Deutschland durchgeführten Studien nicht gegeben sind. Hierbei könnten durchaus unterschiedliche Ansätze formuliert werden, da z.B. Jahresmittelwerte wie auch worst-case-Betrachtungen jeweils eine qualitativ andere Aussage ermöglichen.

Vergleicht man unter diesem Aspekt die drei hier vorgestellten deutschen Studien, so besteht hinsichtlich der Ergebnisse die wichtigste Gemeinsamkeit darin, dass in allen Fällen ein klares Konzentrationsprofil in Abhängigkeit von der Entfernung bei wichtigen Parametern (Indikatorgruppen) erkennbar wurde. Die Messwerte auf der Lee-Seite der Anlagen waren in hohem Maße entfernungsabhängig.

Bei einem Abstand von bis zu 200 m zur Anlage wurden in allen drei Studien (Gerbl-Rieger et al. 1999 [36]; Hessisches Umweltministerium (Hrsg.) 1999 [83]; Schilling et al. 1999 [77]) deutlich erhöhte Messwerte festgestellt. Ein geringerer, aber noch vorhandener Anlageneinfluss konnte fallweise in einem Abstand von 500 m beobachtet werden. Bei diesem Abstand gab es, ebenso wie bereits bei den 200 m Werten, wichtige Unterschiede hinsichtlich der Höhe der Messwerte in Abhängigkeit davon, ob offene oder geschlossene (eingehauste Anlagen) Kompostieranlagen untersucht wurden. Während bei den offenen Anlagen fast überall ein Anlageneinfluss festgestellt werden konnte, war dies bei geschlossenen Anlagen häufig nicht der Fall. Die in 500 m Entfernung von der Anlage festgestellten Konzentrationswerte waren außerdem in starkem Maße abhängig von den meteorologischen Rahmenbedingungen und der lokalen Topographie.

Bei Entfernungen oberhalb von 500 m konnte ein Anlageneinfluss nur noch festgestellt werden, wenn optimale Ausbreitungsbedingungen (worst case) vorherrschten. Über die Häufigkeit solcher Ausbreitungssituationen gibt es keine Erkenntnisse. Als besonderes Problem bei diesen Entfernungen muss außerdem die mit größer werdendem Abstand zunehmende Wahrscheinlichkeit einer Beeinflussung der Messwerte durch andere Emissionsquellen genannt werden. Hier besteht die Notwendigkeit einer eindeutigen Quellen-Identifikation.

.Um Bioaerosol-Immissionen ihren Quellen zuordnen zu können, sind in enger zeitlicher Abstimmung Emissionsmessungen erforderlich. Auch können Immissionsprognosen nur mit Kenntnis der Quellstärken gerechnet werden. Bei der Durchführung von Emissionsmessungen ist außerdem zu beachten, dass die verschiedenen Quelltypen, insbesondere bei quellnahen (Immissions-) Messungen unterschiedliche Messstrategien erfordern. Es gibt erst wenige Erfahrungen mit Messungen an Emissionsquellen. Insgesamt kann jedoch festgestellt werden, dass Emissionsmessungen - soweit möglich - isokinetisch in Anlehnung an die Richtlinie VDI 2066 durchgeführt werden sollten.

Die Richtigkeit und Genauigkeit der Messergebnisse wird darüber hinaus durch weitere Einflussgrößen bestimmt. Zu nennen sind hier beispielsweise tages- und jahreszeitliche Schwankungen der Emissionsfrachten und der Hintergrundbelastung, die Tenazität der Mikroorganismen in der Außenluft oder der Sammelstress während der Probenahme und des Transports der Proben. Da mit den aufgezeigten Methoden ausschließlich lebende und/oder vermehrungsfähige Organismen erfasst werden, muss an dieser Stelle außerdem darauf hingewiesen werden, dass die Arbeitsschritte der Kultivierung und Koloniezählung, die eine Selektion bestimmter Organismengruppen bewirken, ebenfalls maßgebliche Einflussgrößen auf die Messgenauigkeit darstellen.

Inzwischen erarbeitete Richtlinien befassen sich mit standardisierten Messstrategien und Nachweisverfahren. Dabei sind folgende Bedingungen berücksichtigt:

- Probenahmebedingungen (meteorologische Situation (worst case - Normalzustand), Anzahl und Lage der Probenahmeorte, Probenahmeverfahren und -gerät, Probenahmedauer, Anzahl der Wiederholungsmessungen, Angaben zu Lagerung und Transport der Proben)
- Festlegung von Referenzverfahren
- Auswahl der Messparameter (Organismengruppen, Bestandteile von Organismen, Staub, Größenfraktionierung)
- Aufarbeitung der Proben (Medien, Kultivierungsdauer, Kultivierungsbedingungen, Nachweisverfahren usw.)
- Auswertung der Messwerte (Aussagekraft, statistische Bewertung, Verfahrenskenngrößen usw.)

Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht allerdings weiterhin in folgenden Bereichen:

- Vergleich verschiedener Emissions- und Immissionsprobenahmeverfahren
- Methodenoptimierung bei der Probenahme an Emissionsquellen, insbesondere an diffusen Emissionsquellen
- Validierung der Messmethoden
- Entwicklung von Messverfahren zur Erfassung von Gesamtzellzahlen (kultivierbare und nicht kultivierbare Mikroorganismen)

- Entwicklung von kontinuierlichen Messverfahren
- Automatisierung von Messverfahren
- Abschätzung des Einflusses unterschiedlicher biologischer Parameter (z.B. versch. Medien bei derselben Organismengruppe, Kultivierungsbedingungen, Eignung der Sammelsysteme usw.) auf den jeweils erhaltenen Messwert
- Berücksichtigung modernerer Methoden (immunologische und molekularbiologische Nachweisverfahren, mögliche Eignung für die Bioaerosol-Detektion)"

6 Hygieneproblematik anaerober Systeme

Vergleichbar mit der Kompostierung ist auch bei der Anaerobbehandlung von Abfällen besonders darauf zu achten, dass durch die verfahrenstechnischen Bedingungen in den Behandlungsanlagen und den spezifischen Prozesseinwirkungen seuchen- und phytohygienisch unbedenkliche Produkte zur uneingeschränkten landwirtschaftlichen Verwertung produziert werden können.

Im Anhang 2 der Bioabfallverordnung (BioAbfV) sind Anforderungen an die hygienisierende Behandlung von Bioabfällen zur Gewährleistung der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit umfänglich dargestellt (siehe Anhang 2).

6.1 Anforderungen an Anaerobanlagen

Abfälle für die Vergärung

Die Anaerobbehandlung oder Vergärung von biologischen Abfällen eignet sich insbesondere für nasse und strukturarme Abfälle (z.B. Speisereste; Lebensmittelabfälle; Abfälle aus der Gemüse- und Obstverwertung etc., Rasenschnitt, Laub, Strauchschnitt)

Prinzip des Abbaus

Die anaeroben Bakterien bauen außer Lignin (Holzstoff) alle organischen Stoffe pflanzlicher und tierischer Herkunft ab und produzieren Methan. Den Bakterien verbleibt wenig Energie zur Verstoffwechslung und damit zur Vermehrung. Daher wird bei der Vergärung im Gegensatz zur Kompostierung wenig Überschussenergie in Form von Wärme frei. Für die Praxis stellt diese grundsätzliche Voraussetzung aus hygienischer bzw. seuchenhygienischer Sicht ein Problem dar. Um mit dem Faktor „Wärme“ einen Entseuchungserfolg zu erzielen, muss Energie zur Anwärmung bzw. Erhitzung der Fermenter in Temperaturbereiche über 50 °C angewandt werden. Dazu wird die aus Methangas produzierte Energie (Strom und Wärme) benutzt.

Im Zusammenhang der seuchenhygienischen Problematik bei der Anaerobbehandlung unterschiedlicher biologischer Abfälle sind in den vergangenen Jahren umfangreiche Untersuchungen durchgeführt worden. Eine aktuelle Zusammenstellung der Problematik geben (MARTENS et al.1999 [60], 2000 [61]).

Möglichkeit der Prozessprüfung muss gegeben sein

Die BioAbfV schreibt konform zur Kompostierung die gleiche Überprüfungsmodalitäten in Anaerobanlagen vor, wobei sich insbesondere die Durchführung von Hygieneprüfungen in Anaerobanlagen komplizierter darstellt (vgl. *Kap. 2 Vorgaben der Bioabfallverordnung (BioAbfV)*).

6.2 Seuchenhygienische Untersuchungen in Anaerobanlagen

Bedeutung seuchenhygienischer Untersuchungen für die Genehmigung

Die Mehrzahl der national und international durchgeführten Untersuchungen wurden in Anaerobanlagen zur Güllebehandlung mit und ohne Kovergärung unter Verwendung von Bakterien durchgeführt. Ergebnisse zum Verhalten ausgewählter Viren liegen nach wie vor wenige vor. Insbesondere hinsichtlich tierseuchenrechtlicher Belange steht jedoch die Frage der Elimination relevanter bakterieller und viralier Tierseuchenerreger bei der Vergärung von Bio- und Speiseabfällen als auch bei der Vergärung von Gülle und nachwachsenden Rohstoffen (Nawaro) im Vordergrund. Nur wenn dazu abgesicherte Daten und Kenntnisse zur Prozessgestaltung und -steuerung vorliegen, ist eine Ausnahmegenehmigung nach dem Tierseuchenrecht zur Verwertung tierkörperbeseitigungspflichtiger Stoffe in Anaerobanlagen vertretbar (MARTENS et al., 1999 [60], 2000 [61]).

In aktuellen Untersuchungen wurde die Tenazität von Salmonellen, Listerien und ESBL-*Escherichia coli* im Laborfermenter (Bioabfälle und Maissilage) in mesophilen und thermophilen Temperaturbereichen erarbeitet (Hölzle et al., 2015).

6.2.1 Ergebnisse der Untersuchungen unter mesophilen Bedingungen (40 °C)

Wie in Tabelle 1 und Abbildung 4 dargestellt, konnten alle drei eingebrachten Testorganismen innerhalb der ersten 12 h lediglich um eine Log10 Stufe reduziert werden. Nach 24 h Verweilzeit in den Laborfermentern konnten bei *S. Typhimurium* und *E. coli* eine Reduktion um eine weitere Log10 Stufe festgestellt werden, *L. monocytogenes* konnte um weitere zwei Log10 Stufen reduziert werden. Insgesamt waren aber im Verlauf des 24 h dauernden Versuchs bei *S. Typhimurium* und *E. coli* nur Reduktionen um gut zwei Log10 Stufen, bei *L. monocytogenes* um drei Log10 Stufen nachzuweisen.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse des mesophilen Durchgangs in KbE/ml¹

	Temperatur	Testkeim	Ausgangskonzentration	4 h	8 h	12 h	24 h
Fermenter 1 40,4 °C		<i>S. Typhimurium</i>	$7,9 \times 10^6$		$9,3 \times 10^5$	$4,6 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$
		<i>L. monocytogenes</i>	$1,7 \times 10^6$		$9,3 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$
		<i>E. coli</i>	$6,4 \times 10^6$		$4,3 \times 10^5$	$2,4 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$
Fermenter 2 40,4 °C		<i>S. Typhimurium</i>	$7,9 \times 10^6$		$2,4 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$
		<i>L. monocytogenes</i>	$1,7 \times 10^6$		$4,3 \times 10^5$	$2,4 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$
		<i>E. coli</i>	$6,4 \times 10^6$		$9,3 \times 10^5$	$4,6 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$

Abbildung 4: Zusammenfassung der Ergebnisse des mesophilen Durchgangs bei 40 °C

¹ Kolonie-bildende Einheiten pro ml untersuchtes Gärsubstrat

Die Ergebnisse dieses Versuchsdurchgangs zeigten, dass selbst bei Verweilzeiten im Fermenter von 24 h keine Hygienisierung (Reduktion von > 4 Log10 Stufen) stattfindet. Daher ist mit einer Verschleppung von Pathogenen in das Gärrestelager und je nach Nutzung der Gärreste in die Umwelt oder in Tierhaltungen zu rechnen. Außerdem gilt es zu bedenken, dass bei kontinuierlicher Beschickung des Fermenters beständig neue Pathogene eingebracht werden können und die Reduktion damit noch niedriger ausfällt bzw. noch länger dauert.

6.2.2 Ergebnisse der Untersuchungen unter niedrigen thermophilen Bedingungen

Zur Durchführung dieser Versuchsreihe wurden die Laborfermenter in einem Temperaturbereich zwischen 50 und 53 °C betrieben. Die Ergebnisse der beiden Durchgänge sind in den Tabellen 2 und 3 sowie den Abbildungen 5 und 6 dargestellt. Innerhalb ersten vier Stunden konnte bei *S. Typhimurium* und *L. monocytogenes* eine Reduktion um vier Log10 Stufen nachgewiesen werden. Nach acht Stunden konnte bei *S. Typhimurium* eine weitere Verringerung der Keimzahl um eine Log10 Stufe verzeichnet werden. Während des Versuchsdurchgangs mit 51,4 °C blieb die nachweisbare Keimzahl von *S. Typhimurium* bis zum Ende des Versuchs nach 24 Stunden konstant, bei 52,4 °C wurde nach zwölf Stunden nochmals eine Reduktion um eine Log10 Stufe nachgewiesen. Danach blieb die Keimzahl bis zum Versuchsende konstant. Bei *L. monocytogenes* blieb die Keimzahl nach 8 und 12 h konstant und erst nach 24 h konnte bei 51,4 °C eine Reduktion um eine Log 10 Stufe und bei 52,4 °C um zwei Log10 Stufen festgestellt werden. *E. coli* wurde innerhalb der ersten 4 h um drei bis vier Log10 Stufen reduziert. Nach 8 h konnte eine weitere Reduktion um eine Log10 Stufe nachgewiesen werden. Bei 51,4 °C blieb die Keimzahl nach 12 h konstant, bei 52,4 °C konnte erneut eine Reduktion um eine Log10 Stufe festgestellt werden. Nach 24 h war die Keimzahl bei beiden Temperaturen um eine weitere Log10 Stufe reduziert. In beiden Versuchsdurchgängen waren nach 24 h alle eingebrachten Erreger noch nachweisbar.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse des ersten Durchgangs bei niedrigen thermophilen Bedingungen in KbE/ml²

		Temperatur	Testkeim	Ausgangskonzentration	4 h	8 h	12 h	24 h
Fermenter 1	51,4 °C		<i>S. Typhimurium</i>	$5,7 \times 10^6$		$3,6 \times 10^2$	$1,1 \times 10^1$	$2,3 \times 10^1$
			<i>L. monocytogenes</i>	$1,3 \times 10^6$		$4,6 \times 10^2$	$2,3 \times 10^2$	$2,1 \times 10^2$
			<i>E. coli</i>	9×10^6		$3,6 \times 10^3$	$4,6 \times 10^2$	$3,6 \times 10^2$
Fermenter 2	51,4 °C		<i>S. Typhimurium</i>	$5,7 \times 10^6$		$2,1 \times 10^2$	$1,1 \times 10^1$	$3,6 \times 10^1$
			<i>L. monocytogenes</i>	$1,3 \times 10^6$		$4,3 \times 10^2$	$3,6 \times 10^2$	$3,6 \times 10^2$
			<i>E. coli</i>	9×10^6		$1,1 \times 10^4$	$9,2 \times 10^2$	$1,1 \times 10^2$

² Kolonie-bildende Einheiten pro ml untersuchtes Gärsubstrat

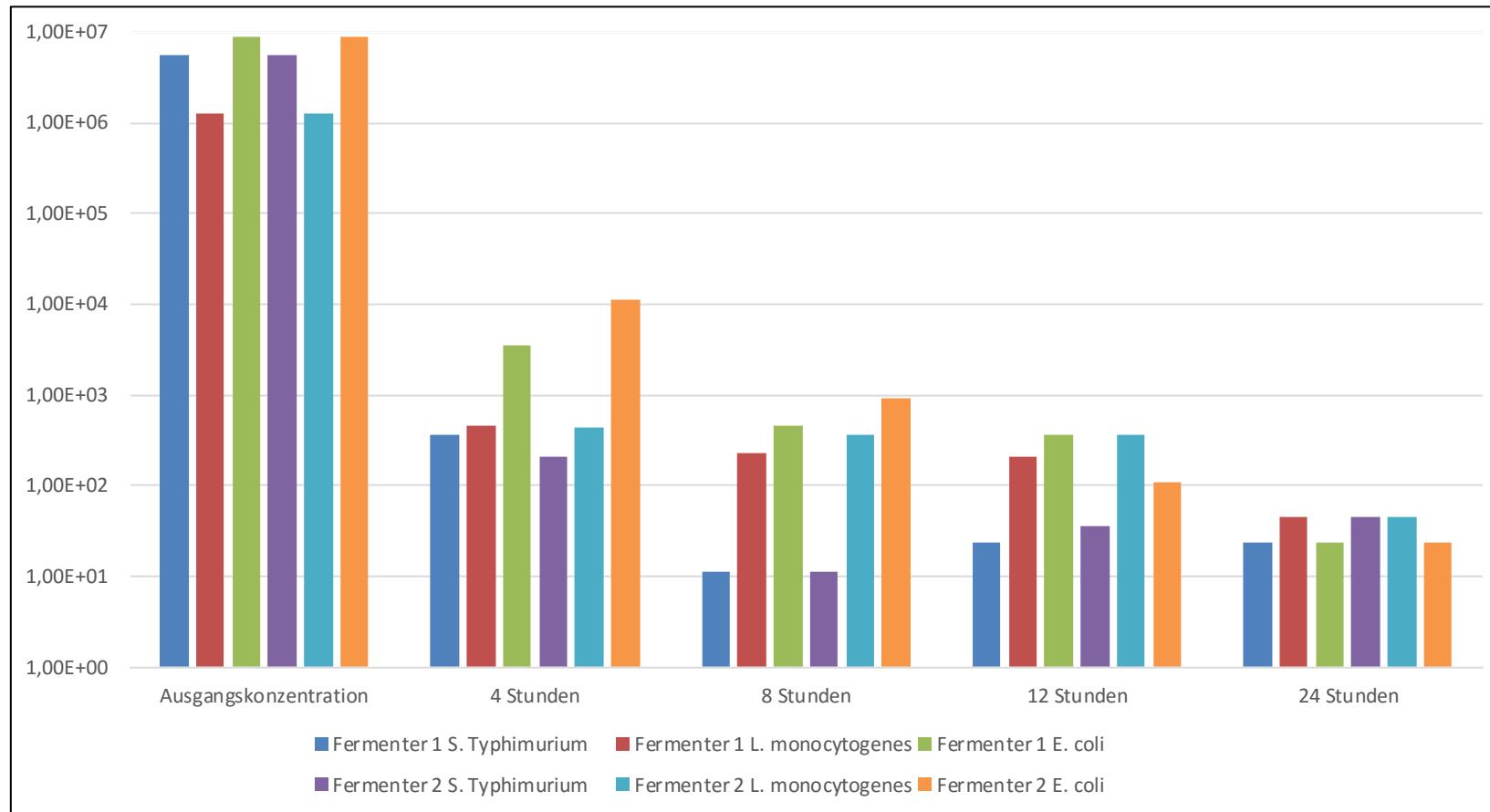


Abbildung 5: Zusammenfassung der Ergebnisse des ersten Durchgangs bei niedrigen thermophilen Bedingungen (51,4 °C)

Tabelle 3: Zusammenfassung der Ergebnisse des zweiten Durchgangs bei niedrigen thermophilen Bedingungen in KbE/ml

Temperatur		Testkeim	Ausgangskonzentration	4 h	8 h	12 h	24 h
Fermenter 1	52,4 °C	<i>S. Typhimurium</i>	$1,6 \times 10^7$		$2,4 \times 10^2$	$2,4 \times 10^1$	$3,6 \times 10^0$
		<i>L. monocytogenes</i>	1×10^7		$9,2 \times 10^2$	$2,3 \times 10^2$	$2,1 \times 10^2$
		<i>E. coli</i>	$1,2 \times 10^7$		$2,3 \times 10^3$	$2,1 \times 10^2$	$4,3 \times 10^1$
Fermenter 2	52,4 °C	<i>S. Typhimurium</i>	$1,6 \times 10^7$		$2,4 \times 10^2$	$2,4 \times 10^1$	$4,3 \times 10^0$
		<i>L. monocytogenes</i>	1×10^7		$3,6 \times 10^2$	$9,2 \times 10^1$	$1,5 \times 10^2$
		<i>E. coli</i>	$1,2 \times 10^7$		$1,5 \times 10^4$	$4,6 \times 10^2$	$2,4 \times 10^1$

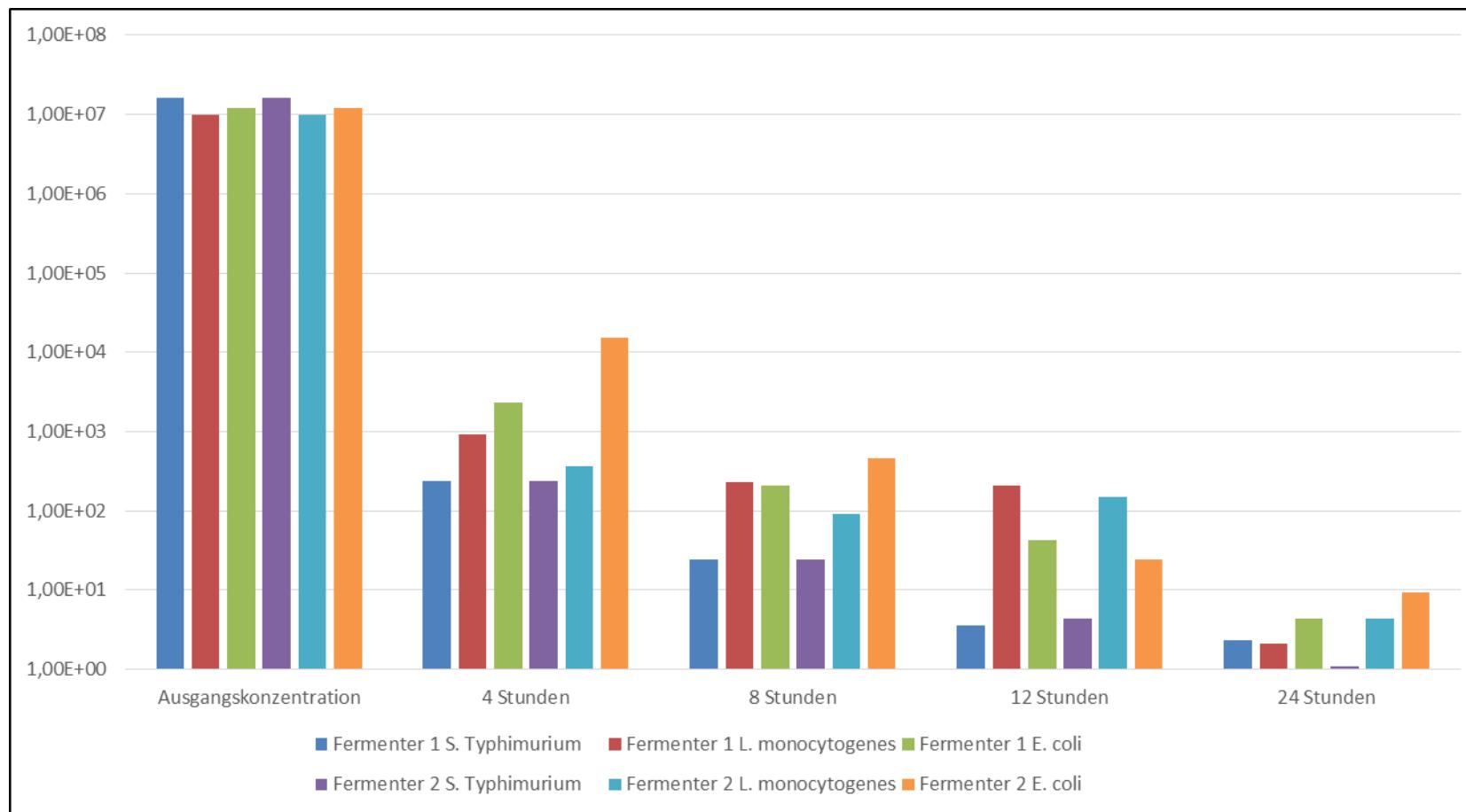


Abbildung 6: Zusammenfassung der Ergebnisse des zweiten Durchgangs bei niedrigen thermophilen Bedingungen (52,4 °C)

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe zeigen, dass im gewählten Temperaturbereich von 50 bis 53 °C schon ein Temperaturunterschied von 1 °C einen Einfluss auf die Inaktivierung der eingebrachten Pathogene hat. So konnte bei einer Fermentertemperatur von 51,4 °C eine Hygienisierung im Sinne einer Reduktion der Keimbela stung um mehr als vier Log₁₀ Stufen für *S. Typhimurium* nach acht Stunden Verweilzeit im Fermenter erreicht werden, für *L. monocytogenes* und *E. coli* erst nach 24 h. Bei einer Fermentertemperatur von 52,4 °C war dieses Ziel für *S. Typhimurium* und *L. monocytogenes* nach 4 h und für *E. coli* nach 8 h erreicht. Allerdings gilt es zu bedenken, dass die genutzten Fermenter nur einmal täglich mit frischem Substrat beschickt wurden. Dies geschah vor dem Einbringen der untersuchten Erreger und nach Beendigung des Versuchs. Bei kontinuierlicher Beschickung des Fermenters kann es einerseits zu einer Verdünnung der vorhandenen Erregermenge kommen, was eine schnellere Reduktion der Keimzahl zur Folge hätte, andererseits können auf diese Weise auch ständig neue Erreger in den Fermenter gelangen, was eine langsamere Reduktion bewirken würde.

6.2.3 Ergebnisse der Untersuchungen unter hohen thermophilen Bedingungen

In weiteren Versuchen wurde untersucht, ob eine Erhöhung der Temperatur über 55 °C einen verbesserten hygienisierenden Effekt auf das Substrat hat als Temperaturen unter 53 °C. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 4 und 5 sowie den Abbildungen 7 und 8 dargestellt. *S. Typhimurium* wurde innerhalb der ersten 4 h bereits um fünf Log₁₀ Stufen reduziert. Nach spätestens 12 h war eine weitere Abnahme der Keimzahl um eine Log₁₀ Stufe zu verzeichnen und nach 24 h waren keine Erreger mehr nachweisbar. Bei *L. monocytogenes* und *E. coli* waren nach 4 h Reduktionen um drei bis vier Log₁₀ Stufen festzustellen. Nach 8 h kam es zu einer weiteren Reduktion der Keimzahl um eine Log₁₀ Stufe. Nach 12 h konnte keine signifikante weitere Abnahme der Keimzahlen festgestellt werden. Nach 24 h waren weder *L. monocytogenes* noch *E. coli* in den Gärresten nachweisbar.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse des ersten Durchgangs bei hohen thermophilen Bedingungen in KbE/ml³

	Temperatur	Testkeim	Ausgangskonzentration	4 h	8 h	12 h	24 h
Fermenter 1	57,4 °C	<i>S. Typhimurium</i>	$5,7 \times 10^6$	$4,6 \times 10^1$	$2,9 \times 10^1$	$2,1 \times 10^0$	n.n.
		<i>L. monocytogenes</i>	$1,3 \times 10^6$	$2,3 \times 10^2$	$9,3 \times 10^1$	$3,6 \times 10^1$	n.n.
		<i>E. coli</i>	9×10^6	$6,2 \times 10^2$	$2,3 \times 10^2$	$9,3 \times 10^1$	n.n.
Fermenter 2	57,4 °C	<i>S. Typhimurium</i>	$5,7 \times 10^6$	$2,4 \times 10^1$	$1,1 \times 10^1$	$1,2 \times 10^0$	n.n.
		<i>L. monocytogenes</i>	$1,3 \times 10^6$	$2,4 \times 10^2$	$7,2 \times 10^1$	$2,4 \times 10^1$	n.n.
		<i>E. coli</i>	9×10^6	$9,3 \times 10^2$	$4,6 \times 10^2$	$1,1 \times 10^2$	n.n.

n.n. = nicht nachweisbar

³ Kolonie-bildende Einheiten pro ml untersuchtes Gärsubstrat

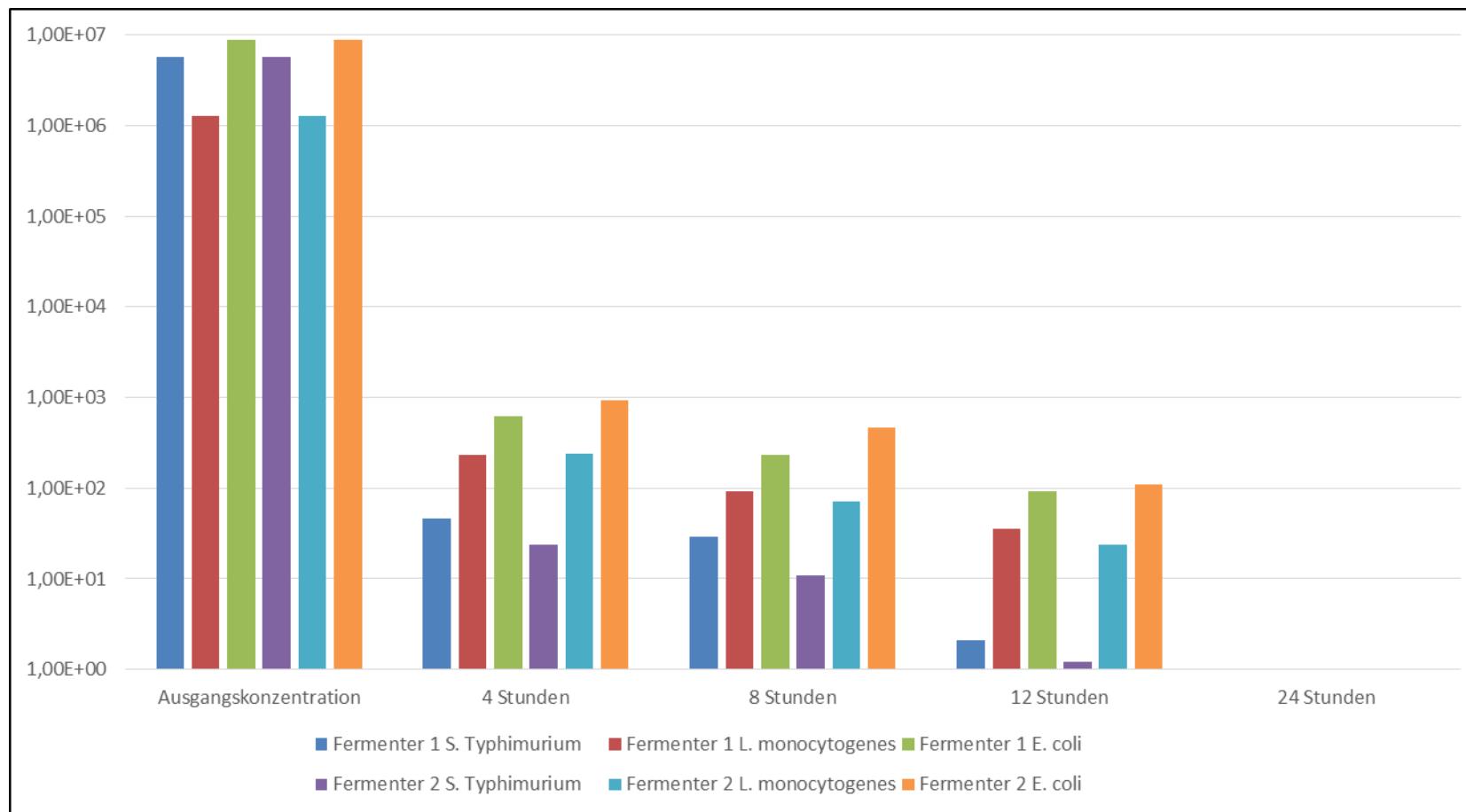


Abbildung 7: Zusammenfassung der Ergebnisse des ersten Durchgangs bei hohen thermophilen Bedingungen (57,4 °C)

Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse des zweiten Durchgangs bei hohen thermophilen Bedingungen in KbE/ml⁴

⁴ Kolonie-bildende Einheiten pro ml untersuchtes Gärsubstrat

	Temperatur	Testkeim	Ausgangskonzentration	4 h	8 h	12 h	24 h
Fermenter 1	57,2 °C	<i>S. Typhimurium</i>	$7,9 \times 10^6$		$2,4 \times 10^1$	$4,6 \times 10^0$	$1,1 \times 10^0$
		<i>L. monocytogenes</i>	$1,7 \times 10^6$		$1,5 \times 10^2$	$9,2 \times 10^1$	$2,1 \times 10^1$
		<i>E. coli</i>	$6,4 \times 10^6$		$4,6 \times 10^2$	$9,3 \times 10^1$	$4,6 \times 10^1$
Fermenter 2	57,2 °C	<i>S. Typhimurium</i>	$7,9 \times 10^6$		$2,4 \times 10^1$	$4,3 \times 10^0$	$1,1 \times 10^0$
		<i>L. monocytogenes</i>	$1,7 \times 10^6$		$2,4 \times 10^2$	$2,7 \times 10^2$	$2,1 \times 10^1$
		<i>E. coli</i>	$6,4 \times 10^6$		$1,1 \times 10^3$	$4,3 \times 10^2$	$2,4 \times 10^2$

n.n. = nicht nachweisbar

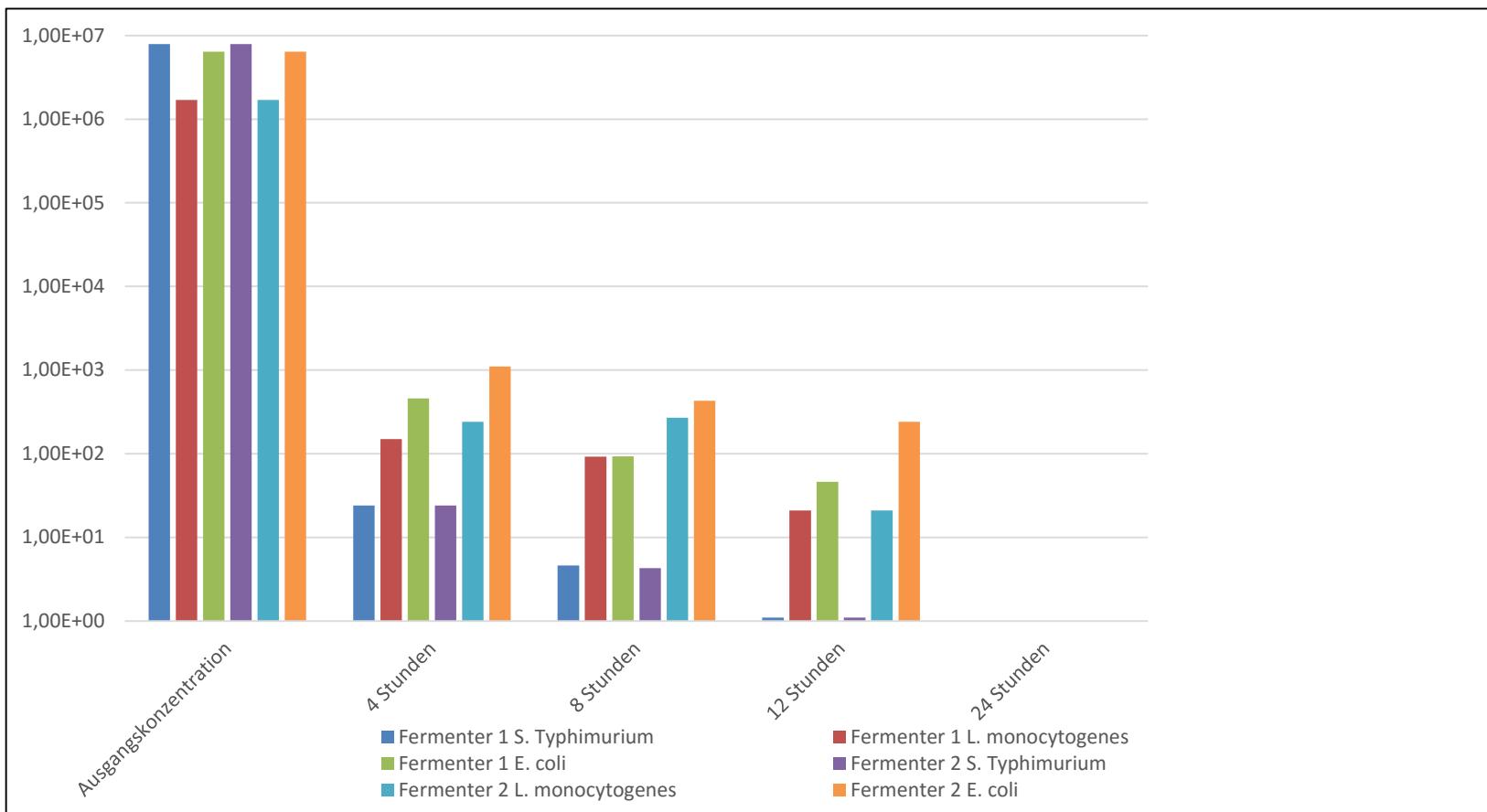


Abbildung 8: Zusammenfassung der Ergebnisse des zweiten Durchgangs bei hohen thermophilen Bedingungen (57,2 °C)

Die Versuche zeigten, dass im Temperaturbereich um 57 °C eine Hygienisierung im Sinne einer Verringerung der Keimzahl um mehr als vier Log10 Stufen für *S. Typhimurium* nach vier Stunden und für *L. monocytogenes* nach acht Stunden erreicht werden kann. Für *E. coli* war dies in einer Probe nach 8 h und in einer Probe nach 12 h nachweisbar, in den anderen beiden Proben erst nach 24 Stunden. Es zeigt sich allerdings, dass bei den Temperaturen im Versuch nach 24 Stunden alle eingebrachten Erreger nicht mehr nachweisbar waren. Auch hier wurden die Fermenter nur einmal täglich vor Beginn des Versuchs und nach dessen Ende beschickt. Auch hier kann es durch kontinuierliche Beschickung einerseits zu einer Verdünnung der Erreger kommen andererseits zu einer beständigen Rekontamination des Fermenters.

6.2.4 Verhalten von viralen Pathogenen im Laborfermenter

Für die Simulation von Fermenterbedingungen zur Untersuchung der Inaktivierung von Viren wurde der Hohenheimer Biogasertragstest (Batch-Versuch) verwendet (Helffrich und Oechsner, 2003)⁵. Dabei werden Glasspritzen mit frischem Fermentermaterial eines thermophil betriebenen Laborfermenters sowie einem geringen Anteil frischer Rindergülle und Silage beschickt, um einen stabilen Biogasprozess zu erreichen. Das in diesem Versuch verwendete ERAV diente als Surrogatvirus für das MKS-Virus, das BVD Virus als Surrogatvirus für das KSP-Virus.

Um mit geringen Virusmengen arbeiten zu können, wurde eine „Keimträgermethode“ benutzt. Hierbei wurden die Viren auf eine Virosorb-Membran aufgebracht und in Polycarbonatfolien eingeschweißt. Durch die Semipermeabilität dieser Folien ist ein Stoffaustausch mit der Umgebung gewährleistet; das Virus wird allerdings nicht in die Umgebung abgegeben. Diese Versuche wurden im Dreifachansatz durchgeführt, um eine hohe Genauigkeit zu gewährleisten. Jeweils drei Keimträger wurden zu jedem Beprobungszeitpunkt aus den Glasspritzen entnommen und titriert, um den Virustiter zu bestimmen. Als Zeitpunkte für die Beprobung wurden 15, 30, 60, 120 min und 24 h gewählt. Es wurden drei technische Replikate im Abstand von drei Tagen durchgeführt, um eine statistisch gesicherte Aussage treffen zu können. Der Ausgangstiter der Virussuspension betrug 10^7 Viren pro Milliliter.

Dabei zeigte sich, dass bei den Versuchen mit dem BVD Virus ein zu hoher Titerverlust durch die Keimträgermethode entstand, so dass diese Ergebnisse nicht gewertet werden konnten. Im Folgenden sind nur die Ergebnisse für das ERAV dargestellt.

Die Gesamtdauer der thermischen Inaktivierungsperiode betrug 24 Stunden. Dazwischen wurden in regelmäßigen Abständen Proben entnommen. Der Ausgangstiter der Virussuspension lag bei $1,6 \times 10^9$ Viren pro Milliliter. Zu sehen ist eine Reduktion um 7-8 Log10 Stufen nach 24 Stunden (Abb. 9).

⁵ Helffrich D, Oechsner H (2003): Hohenheimer Biogasertragstest - Vergleich verschiedener Tab. 1: Spezifische Methan- Laborverfahren zur Vergärung von Biomasse. Landtechnik 58 H. 3, S. 148 - 149 und Agrartechnische Forschung 9, H. 1, S. 27- 30

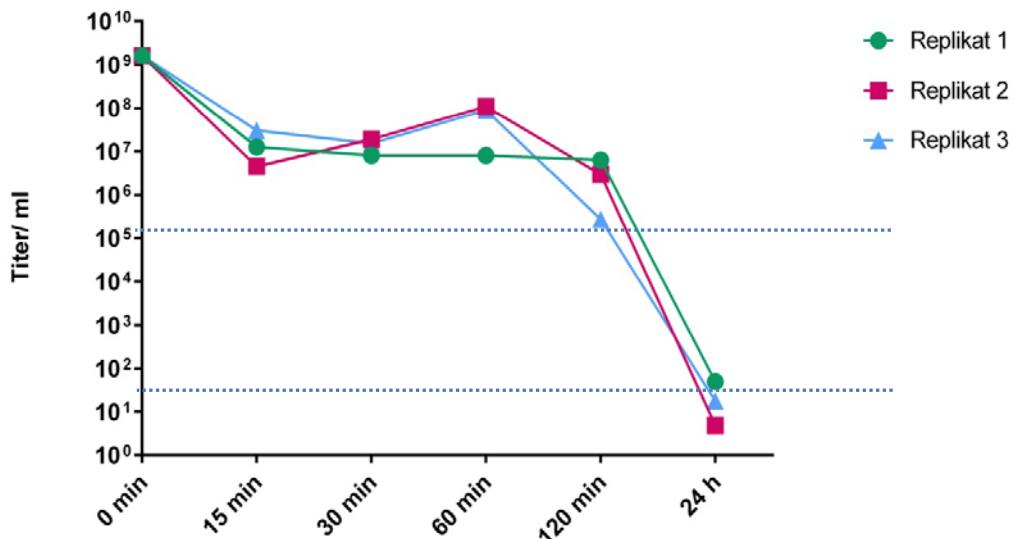


Abbildung 9: Batch-Versuch. Verlauf des Virustiters des Equinen Rhinitis A Virus über 24 Stunden. Die Temperatur betrug während des Versuches $53\text{ }^{\circ}\text{C} (+/- 1.5)\text{ }^{\circ}\text{C}$. Für jede Beprobung wurde mit jeweils drei Keimträgern pro Glasspritze gearbeitet (Hölzle et al., 2015).

6.2.5 Fazit der mikrobiologischen Untersuchungen zur Reduktion und möglichen Vermehrung der ausgewählten Pathogene in Biogasanlagen im Labormaßstab (Laborfermenter)

Die Untersuchungen zeigten, dass es bei keinem der untersuchten bakteriellen Erreger unter keiner der verfahrenstechnischen Voraussetzungen zu einer Vermehrung kam. Es zeigte sich jedoch, dass es unter mesophilen Bedingungen nur zu einer sehr geringen Reduktion der Keimzahlen kam. Bei Temperaturen zwischen 50 bis $53\text{ }^{\circ}\text{C}$ kam es zu deutlichen Reduktionen, wobei auch nach 24 Stunden alle Erreger nachgewiesen werden konnten. Eine Hygienisierung im Sinne einer Keimreduktion um mehr als vier Log₁₀ Stufen für alle verwendeten Erreger wurde erst nach 24 h erreicht. Bei Temperaturen über $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ wurde eine Hygienisierung auch erst nach 24 h erreicht mit dem Unterschied, dass zu diesem Zeitpunkt alle eingebrachten Erreger nicht mehr nachweisbar waren. Es wird aufgrund der vorliegenden Ergebnisse daher empfohlen Biogasanlagen thermophil bei einer Temperatur $>55\text{ }^{\circ}\text{C}$ und einer Verweilzeit von 24 h zu betreiben. Für unbehüllte Viren konnte nachgewiesen werden, dass bei einer Temperatur von $53\text{ }^{\circ}\text{C}$ und einer Verweildauer von 24 h ein eindeutiger Hygienisierungseffekt erzielt werden kann (Hölzle et al., 2015).

7 Spezielle Probleme in Kofermentationsanlagen mit Verwertung von Wirtschaftsdüngern

Vorgehen bei Salmonellenbefund

Bei Anlagen zur Kovergärung von Bioabfällen besteht entsprechend den Vorgaben der BioAbfV nur für mesophile Anlagen die Pflicht zur Vorbehandlung der Bioabfälle (Pasteurisierung $\geq 70\text{ }^{\circ}\text{C} / 1\text{ h}$), nicht jedoch für die Wirtschaftsdünger (Gülle, Jauche, Festmist). Werden in solchen Fällen im Gärrest im Einzelfall Salmonellen nachgewiesen, ist zu prüfen, ob die positiven Salmonellenfunde durch die nicht richtig vorbehandelten Bioabfälle oder durch die unbehandelten Wirtschaftsdünger verursacht wurden. Werden sie eindeutig von Wirtschaftsdüngern beeinflusst, können sie nach jetzigem Kenntnisstand nur dann toleriert werden, wenn die Konzentration bei solchen sporadischen Befunden weniger als $10^2\text{ KBE/g Substrat}$ beträgt.

Als geeignete Maßnahmen für Wirtschaftsdünger oder für das gesamte Endprodukt wäre in diesen Fällen folgende Vorgehensweise als sog. Lagerung zur „Selbstentseuchung“ zu empfehlen.

- a) Mindestens dreimonatige Gärrestlagerung vor der landwirtschaftlichen Verwertung.
- b) Bei anschließender Ausbringung auf Grünland zur Mäh- und Weidenutzung ist eine zusätzliche einmonatige Wartezeit einzuhalten.
- c) Bei Ausbringung auf Ackerland (zu empfehlen Getreide und Hackfrüchte) soll bei nicht bestellten Flächen eine Einarbeitung erfolgen.

Ist die Konzentration an Salmonellen höher als $10^2\text{ KBE/g Substrat}$, sind im Einzelfall geeignete Maßnahmen für Wirtschaftsdünger (z.B. Pasteurisierung $\geq 70\text{ }^{\circ}\text{C} / 1\text{ h}$) oder für das gesamte Endprodukt zu bestimmen.

Darüber hinaus ist zu prüfen, ob tierseuchenrechtliche Konsequenzen resultieren. Dies ist von besonderer Bedeutung bei Salmonellenfunden in Gärresten von rinderhaltenden Betrieben. In diesen Fällen greift das Tiergesundheitsgesetz (TierGesG, 2013).

8 Umwelthygienische Gesichtspunkte bei der anaeroben biologischen Abfallbehandlung

ATV-Merkblatt 365

Diese Problematik nimmt nach wie vor einen breiten Raum in der öffentlichen und fachlichen Diskussion ein. Nicht zuletzt deshalb hat sich ein ATV-Arbeitskreis ein Merkblatt „Hygiene bei der biologischen Abfallbehandlung - Hinweise zu baulichen und organisatorischen Maßnahmen - ATV-M 365“ erarbeitet, in welchem auf die entsprechenden Risiken hingewiesen wird und Vermeidungsstrategien aufgezeigt werden.

Die Gliederung des Merkblattes gibt zunächst einen Überblick über den gesetzlichen Rahmen, in dem die Sammlung, Behandlung und Verwertung biologischer Abfälle stattfindet. Danach werden die

Anforderungen an den Standort unter den Aspekten der Umwelt- und Seuchenhygiene gegeben. Die Empfehlungen zur Gestaltung der Betriebsanlagen und des Betriebes unter Berücksichtigung der Umwelt- und Betriebshygiene sowie des Arbeitsschutzes werden umfangreich dargestellt, ebenso der Teil des Merkblattes, der sich mit den Anforderungen an die Verfahren aus der Sicht der Seuchen- und Phytohygiene nach dem zur Drucklegung gültigen Stand des Wissens und der Technik beschäftigt (ATV-1999; zit. nach BÖHM et al., 2000 [15]).

Darüber hinaus erstellt die DWA für die Bereiche Wasserwirtschaft, Kulturbau, Bodenschutz, Abwasser- und Abfalltechnik einheitliche technische Regeln auf und gibt sie im DWA-Regelwerk heraus. Das Regelwerk enthält Aussagen zu Planung, Bau, Betrieb, Unterhaltung und Überprüfung von Anlagen sowie zur nachhaltigen Nutzung von Wasser und Boden. Nachfolgend sind einige DWA-Merkblätter im Zusammenhang der anaeroben Verwertung von Stoffen in Biogasanlagen dargestellt:

- Merkblatt DWA-M 376 - Sicherheitsregeln für Biogasbehälter mit Membrandichtung - Oktober 2006
- DWA-M 380 - Co-Vergärung in kommunalen Klärschlammfaulbehältern, Abfallvergärungsanlagen und landwirtschaftlichen Biogasanlagen - Juni 2009
- Merkblatt DWA-M 907 - Erzeugung von Biomasse für die Biogasgewinnung unter Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes - April 2010
- Merkblatt DWA-M 363 - Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen - korrigierte Fassung Januar 2011
- Merkblatt DWA-M 361 - Aufbereitung von Biogas - Oktober 2011

Kriterien zur Akzeptanz
Zur Akzeptanz einer Abfallbehandlungsanlage tragen wichtige Kriterien hinsichtlich

- der Auswahl des Standortes,
 - die Gestaltung der Betriebsanlagen und des Betriebes sowie
 - die Anforderungen an die Verfahren (Kompostierung und Anaerobbehandlung)
- bei.

umwelthygienische Gesichtspunkte

Unter umwelthygienischen Gesichtspunkten sind Aspekte wie Emissionen von Lärm, Gerüchen, Staub und Mikroorganismen von besonderer Bedeutung, letztere insbesondere bei aerogener Verbreitung oder bei Übertragung durch unbelebte Vektoren. Eine ausführliche Darstellung zu dieser Problematik gibt BÖHM et al. (2000 [15]).

Klimaschutz

Hinsichtlich des Klimaschutzes leisten Biogasanlagen einen wertvollen Beitrag, indem durch die zielorientierte Vergärung in den Anaerobanlagen diffuse Methangasfreisetzung aus der unbe-

handelten Biomasse in die Atmosphäre vermieden und durch die Überführung des gewonnenen Biogases in Strom und Heizenergie fossile Brennstoffe substituiert werden. Dabei können ca. 1,6 bis 1,8 Tonnen Kohlendioxid fossilen Ursprungs pro Tonne abgebauter organischer Trockenmasse in der Biogasanlage eingespart werden.

Geruchsemissionen senken

Die Vergärung von Gülle und organischen Abfällen kann außerdem durch den Abbau geruchsintensiver Substanzen um 40 bis 60 % zu einer deutlichen Entlastung der Geruchsproblematik bei der anschließenden landwirtschaftlichen Verwertung der Gärreste beitragen (OECHSNER, 2000 [65]).

Annex 1

Bioabfallverordnung

Anhang 2 (zu § 2 Nummer 2, § 3 Absatz 2 bis 7) Version 02/2012

Anforderungen an die hygienisierende Behandlung von Bioabfällen zur Gewährleistung der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeine Anmerkungen

2 Hygienisierende Behandlung

2.1 Behandlungsverfahren zur Hygienisierung (zu § 2 Nummer 2)

2.2 Anforderungen an die hygienisierende Behandlung

2.2.1 Pasteurisierung

2.2.1.1 Anforderungen an die Prozessführung

2.2.1.2 Prozessprüfung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 i. V. m. Absatz 5)

2.2.1.3 Prozessüberwachung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 2 i. V. m. Absatz 6)

2.2.1.4 Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 i. V. m. Absatz 7 und 7a)

2.2.2 Aerobe hygienisierende Behandlung (thermophile Kompostierung)

2.2.2.1 Anforderungen an die Prozessführung

2.2.2.2 Prozessprüfung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 i. V. m. Absatz 5)

2.2.2.3 Prozessüberwachung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 2 i. V. m. Absatz 6)

2.2.2.4 Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 i. V. m. Absatz 7 und 7a)

2.2.3 Anaerobe hygienisierende Behandlung (thermophile Vergärung)

2.2.3.1 Anforderungen an die Prozessführung

2.2.3.2 Ermittlung der Mindestverweilzeit

2.2.3.3 Prozessprüfung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 i. V. m. Absatz 5)

2.2.3.4 Prozessüberwachung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 2 i. V. m. Absatz 6)

2.2.3.5 Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 i. V. m. Absatz 7 und 7a)

2.2.4 Anderweitige hygienisierende Behandlung

2.2.4.1 Anforderungen an die Prozessführung

2.2.4.2 Prozessprüfung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 i. V. m. Absatz 5)

2.2.4.3 Prozessüberwachung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 2 i. V. m. Absatz 6)

2.2.4.4 Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 i. V. m. Absatz 7 und 7a)

3 Prüfungen der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit

3.1 Prozessprüfung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 i. V. m. Absatz 5)

3.1.1 Allgemeine Anforderungen

3.1.2 Anlagen zur aeroben hygienisierenden Behandlung (thermophile Kompostierungsanlagen)

3.1.2.1 Mietenkompostierung

3.1.2.2 Andere Kompostierungsverfahren

3.1.3 Anlagen zur anaeroben hygienisierenden Behandlung (thermophile Vergärungsanlagen)

3.2 Prozessüberwachung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 2 i. V. m. Absatz 6)

3.3 Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 i. V. m. Absatz 7 und 7a) AbfR 2.2.18

4 Methoden zur Prüfung der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit

4.1 Traceruntersuchungen zur Ermittlung der Mindestverweilzeit bei anaeroben hygienisierenden Behandlungsverfahren (thermophile Vergärung)

4.1.1 Traceruntersuchung mit Sporen von *Bacillus globigii*

4.1.1.1 Vorbereitung

4.1.1.2 Durchführung der Untersuchung

4.1.1.3 Nachweismethode

4.1.1.4 Mindestverweilzeit

4.1.2 Traceruntersuchung mit Lithium

4.1.2.1 Vorbereitung

4.1.2.2 Durchführung der Untersuchung

4.1.2.3 Nachweismethode

4.1.2.4 Mindestverweilzeit

4.2 Prüfungen der Seuchenhygiene

4.2.1 Prozessprüfung

4.2.1.1 Testorganismus und Grenzwert

4.2.1.2 Einlageproben für aerobe hygienisierende Verfahren (thermophile Kompostierung)

4.2.1.3 Einlageproben für anaerobe hygienisierende Verfahren (thermophile Vergärung)

4.2.1.4 Nachweismethode

4.2.2 Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle

4.3 Prüfungen der Phytohygiene

4.3.1 Prozessprüfung

4.3.1.1 Testorganismen und Grenzwerte

4.3.1.2 Testorganismus *Plasmodiophora brassicae*

4.3.1.2.1 Herstellung der Einlageproben für aerobe hygienisierende Behandlungsverfahren (thermophile Kompostierung)

4.3.1.2.2 Herstellung der Einlageproben für anaerobe hygienisierende Behandlungsverfahren (thermophile Vergärung)

4.3.1.2.3 Nachweis der Infektiosität durch einen Biotest

4.3.1.3 Testorganismus Tomatensamen

4.3.1.3.1 Herstellung der Einlageprobe

4.3.1.3.2 Bestimmung der Keimrate durch einen Biotest

4.3.1.4 Testorganismus Tabakmosaikvirus bei aeroben hygienisierenden Behandlungsverfahren (thermophile Kompostierung)

4.3.1.4.1 Herstellung der Einlageproben

4.3.1.4.2 Nachweis der Infektiosität durch einen Biotest

4.3.2 Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle

1. Allgemeine Anmerkungen

In diesem Anhang sind die Anforderungen und die Vorgaben an die hygienisierende Behandlung (Anlagen und Verfahren) und Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle beschrieben.

Werden Bioabfälle einer Behandlung zugeführt, die den Anforderungen an die Hygienisierung nicht entspricht (z. B. mesophile Vergärung), ist die hygienisierende Behandlung der Bioabfälle nach den Vorgaben dieses Anhangs zusätzlich durchzuführen.

Die Anlage ist so zu führen und die Behandlung ist so durchzuführen, daß eine Rekontamination der hygienisierend behandelten Materialien vermieden wird.

2 Hygienisierende Behandlung

2.1 Behandlungsverfahren zur Hygienisierung (zu § 2 Nummer 2)

Die hygienisierende Behandlung der Bioabfälle erfolgt durch

- a) Pasteurisierung (Nummer 2.2.1),
- b) aerobe hygienisierende Behandlung (thermophile Kompostierung) (Nummer 2.2.2),
- c) anaerobe hygienisierende Behandlung (thermophile Vergärung) (Nummer 2.2.3) oder
- d) anderweitige Hygienisierungsbehandlung (Nummer 2.2.4).

2.2 Anforderungen an die hygienisierende Behandlung

2.2.1 Pasteurisierung

Die Pasteurisierung kann vor oder nach einer zusätzlichen, insbesondere biologisch stabilisierenden Behandlung (z. B. mesophile Vergärung) durchgeführt werden.

2.2.1.1 Anforderungen an die Prozessführung

Vor der Pasteurisierung sind die Bioabfälle auf eine Teilchengröße mit einer Kantenlänge (zweidimensional) von jeweils maximal 12 mm zu zerkleinern. Das Material ist bei der Erhitzung zu homogenisieren und muß einen Wassergehalt aufweisen, der einen hinreichenden Wärmeübergang zwischen und innerhalb der Teilchen gewährleistet.

Die Prozesssteuerung in Pasteurisierungsanlagen muß für die Hygienisierung der Bioabfälle so vorgenommen werden, daß eine Temperatur von mindestens 70 °C über einen zusammenhängenden Zeitraum von mindestens 1 Stunde auf das gesamte Material einwirkt.

2.2.1.2 Prozessprüfung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 i. V. m. Absatz 5)

Für Pasteurisierungsanlagen ist keine Prozessprüfung gemäß Nummer 3.1 erforderlich; stattdessen sind Pasteurisierungsanlagen vor der Inbetriebnahme durch die zuständige Behörde, ggf. unter Hinzuziehung eines Sachverständigen, technisch abzunehmen (§ 3 Absatz 5 Satz 3). Die zuständige Behörde stellt eine Abnahmebescheinigung aus, wenn sie festgestellt hat, daß die Pasteurisierungsanlage die Anforderungen an die Prozessführung nach Nummer 2.2.1.1 erfüllt und mit den erforderlichen Einrichtungen und Geräten ausgestattet ist, insbesondere mit

- a) Geräten zur Überwachung der Temperatur,
- b) Geräten zur ständigen Aufzeichnung der Messergebnisse und
- c) einem angemessenen Sicherheitssystem zur Vermeidung einer unzulänglichen Erhitzung.

2.2.1.3 Prozessüberwachung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 2 i. V. m. Absatz 6)

Die Prozessüberwachung ist nach den Vorgaben der Nummer 3.2 durchzuführen.

2.2.1.4 Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 i. V. m. Absatz 7 und 7a)

Die Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle sind nach den Vorgaben der Nummer 3.3 und den Methoden gemäß Nummer 4.2.2 (Seuchenhygiene) und Nummer 4.3.2 (Phytohygiene) durchzuführen.

2.2.2 Aerobe hygienisierende Behandlung (thermophile Kompostierung)

2.2.2.1 Anforderungen an die Prozessführung

Die Prozesssteuerung in Kompostierungsanlagen muß für die Hygienisierung der Bioabfälle so vorgenommen werden, daß über mehrere Wochen ein thermphiler Temperaturbereich und eine hohe

biologische Aktivität bei günstigen Feuchte- und Nährstoffverhältnissen sowie eine optimale Struktur und Luftführung gewährleistet sind. Der Wassergehalt soll mindestens 40 % betragen und der pH-Wert um 7 liegen. Im Verlauf der aeroben hygienisierenden Behandlung muß eine Temperatur von mindestens 55 °C über einen möglichst zusammenhängenden Zeitraum von 2 Wochen, von 60 °C über 6 Tage oder von 65 °C über 3 Tage auf das gesamte Rottematerial einwirken.

2.2.2.2 Prozessprüfung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 i. V. m. Absatz 5)

Für Kompostierungsanlagen zur Hygienisierung ist die Prozessprüfung nach den Vorgaben der Nummer 3.1.1 und der Nummer 3.1.2 durchzuführen. Zur Verwendung von Testorganismen (Test- und Indikatorkeime) und zur Prüfung ihrer Abtötung oder Inaktivierung sind folgende Methoden anzuwenden:

- a) für die Seuchenhygiene die Methoden gemäß Nummer 4.2.1 (außer Nummer 4.2.1.3) und
- b) für die Phytohygiene die Methoden gemäß Nummer 4.3.1 (außer Nummer 4.3.1.2).

2.2.2.3 Prozessüberwachung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 2 i. V. m. Absatz 6)

Die Prozessüberwachung ist nach den Vorgaben der Nummer 3.2 durchzuführen.

2.2.2.4 Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 i. V. m. Absatz 7 und 7a)

Die Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle sind nach den Vorgaben der Nummer 3.3 und den Methoden gemäß Nummer 4.2.2 (Seuchenhygiene) und Nummer 4.3.2 (Phytohygiene) durchzuführen.

2.2.3 Anaerobe hygienisierende Behandlung (thermophile Vergärung)

2.2.3.1 Anforderungen an die Prozessführung

Die Prozesssteuerung in Vergärungsanlagen muß für die Hygienisierung der Bioabfälle so vorgenommen werden, daß über den zusammenhängenden Zeitraum der Mindestverweilzeit die Behandlungstemperatur im thermophilen Bereich (mindestens 50 °C) auf das gesamte Material einwirkt. Hierbei dürfen die bei der bestandenen Prozessprüfung (s. Nummer 2.2.3.3) verwendete technisch vorgegebene oder nachgewiesene Mindestverweilzeit (s. Nummer 2.2.3.2) und die verwendete Behandlungstemperatur nicht unterschritten werden.

2.2.3.2 Ermittlung der Mindestverweilzeit

Sofern die Mindestverweilzeit im Fermenter nicht technisch mittels einer hydraulischen Absperrung innerhalb der Beschickungs- und Entnahmeverintervalle vorgegeben ist, muß sie durch eine Traceruntersuchung nach einer Methode gemäß Nummer 4.1 vor der Prozessprüfung (s. Nummer 2.2.3.3) nachgewiesen werden.

Mit der Traceruntersuchung wird diejenige Zeitspanne an der Vergärungsanlage zur Hygienisierung ermittelt, die alle Substratanteile (fest und flüssig) als kürzeste Aufenthaltszeit im Fermenter haben. Dabei wird das zu vergärende Substrat vor der Zugabe in den Fermenter mit Indikatoren (Tracer) markiert. Die Mindestverweilzeit des zu vergärenden Materials im Fermenter ist die Zeitspanne, die bis zur letzten Probe ohne Befund vor erstmaligem Nachweis des Tracers ermittelt wurde.

Bis zum Vorliegen der Ergebnisse der Traceruntersuchung darf bei der Anlage die vom Anlagenhersteller und -planer berechnete Mindestverweildauer nicht unterschritten werden. Damit die Mindestverweildauer nicht unterschritten wird, darf nach Erreichen des Sollfüllstandes in dem für die Hygienisierung relevanten Fermenter die vom Anlagenhersteller und -planer ermittelte maximale tägliche Inputmenge nicht dauerhaft überschritten werden. Liegt eine entsprechende Berechnung nicht vor, ist sie in Abstimmung mit der zuständigen Behörde zu erstellen, ggf. unter Hinzuziehung eines Sachverständigen.

2.2.3.3 Prozessprüfung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 i. V. m. Absatz 5)

Für Vergärungsanlagen zur Hygienisierung ist die Prozessprüfung nach den Vorgaben der Nummer 3.1.1 und der Nummer 3.1.3 durchzuführen.

Bei der Prozessprüfung ist eine im thermophilen Temperaturbereich (mindestens 50 °C) erforderliche Behandlungstemperatur zu verwenden. Die Prozessprüfung ist mit der technisch vorgegebenen oder nachgewiesenen Mindestverweilzeit (s. Nummer 2.2.3.2) durchzuführen.

Zur Verwendung von Testorganismen (Test- und Indikatorkeime) und zur Prüfung ihrer Abtötung oder Inaktivierung sind folgende Methoden anzuwenden:

- a) für die Seuchenhygiene die Methoden gemäß Nummer 4.2.1 (außer Nummer 4.2.1.2) sowie
 - b) für die Phytohygiene die Methoden gemäß Nummer 4.3.1.1 (außer Testorganismus Tabakmosaikvirus gemäß Buchstabe c), Nummer 4.3.1.2 (außer Nummer 4.3.1.2.1) und Nummer 4.3.1.3.
- Wird die Prozessprüfung nicht bestanden, ist sie mit einer höheren Behandlungstemperatur oder verlängerten Mindestverweilzeit zu wiederholen.

2.2.3.4 Prozessüberwachung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 2 i. V. m. Absatz 6)

Die Prozessüberwachung ist nach den Vorgaben der Nummer 3.2 durchzuführen.

2.2.3.5 Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 i. V. m. Absatz 7 und 7a)

Die Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle sind nach den Vorgaben der Nummer 3.3 und den Methoden gemäß Nummer 4.2.2 (Seuchenhygiene) und Nummer 4.3.2 (Phytohygiene) durchzuführen.

2.2.4 Anderweitige hygienisierende Behandlung

Für ein anderweitiges hygienisierendes Behandlungsverfahren ist, ggf. unter Hinzuziehung eines Sachverständigen, die gleichwertige Wirksamkeit der Hygienisierung gemessen an den Anforderungen dieses Anhangs nachzuweisen (§ 3 Absatz 3 Satz 4).

2.2.4.1 Anforderungen an die Prozessführung

Die Anforderungen an die Prozessführung zur hygienisierenden Behandlung der Bioabfälle sind in Abstimmung mit der zuständigen Behörde, ggf. unter Hinzuziehung eines Sachverständigen, so zu bestimmen und zu beschreiben, daß ein gleichwertiges Hygienisierungsniveau erreicht wird.

2.2.4.2 Prozessprüfung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 i. V. m. Absatz 5)

Die Anforderungen an die Prozessprüfung sind in Abstimmung mit der zuständigen Behörde, ggf. unter Hinzuziehung eines Sachverständigen, so zu bestimmen und zu beschreiben, daß ein gleichwertiges Hygienisierungsniveau unter Berücksichtigung der Vorgaben der Nummer 3.1.1 sowie der Methoden gemäß Nummer 4.2.1 (Seuchenhygiene) und Nummer 4.3.1 (Phytohygiene) erreicht wird.

2.2.4.3 Prozessüberwachung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 2 i. V. m. Absatz 6)

Die Anforderungen an die Prozessüberwachung sind in Abstimmung mit der zuständigen Behörde, ggf. unter Hinzuziehung eines Sachverständigen, so zu bestimmen und zu beschreiben, daß ein gleichwertiges Hygienisierungsniveau unter Berücksichtigung der Vorgaben der Nummer 3.2 erreicht wird.

2.2.4.4 Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 i. V. m. Absatz 7 und 7a)

Die Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle sind nach den Vorgaben der Nummer 3.3 und den Methoden gemäß Nummer 4.2.2 (Seuchenhygiene) und Nummer 4.3.2 (Phytohygiene) durchzuführen.

3 Prüfungen der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit

Die hygienische Unbedenklichkeit der Bioabfälle wird festgestellt mit Hilfe der

- a) Prozessprüfung gemäß § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 i. V. m. Absatz 5 und nach Maßgabe der Beschreibungen in Nummer 3.1,
- b) Prozessüberwachung gemäß § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 2 i. V. m. Absatz 6 und nach Maßgabe der Beschreibungen in Nummer 3.2 und
- c) Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle gemäß § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 i. V. m. Absatz 7 und 7a und nach Maßgabe der Beschreibungen in Nummer 3.3.

Die seuchen- und phytohygienischen Untersuchungen sind nach Möglichkeit gleichzeitig durchzuführen.

Die behandelten Bioabfälle sind erst dann als hygienisch unbedenklich einzustufen, wenn alle Prüfungen gemäß den Nummern 3.1 bis 3.3 bestanden sind.

3.1 Prozessprüfung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 i. V. m. Absatz 5)

3.1.1 Allgemeine Anforderungen

Die Prozessprüfung ist eine Untersuchung der einzelnen Behandlungsanlage zur Hygienisierung, die jeweils einmalig bei Neuerrichtung der Anlage und bei wesentlicher Änderung des Verfahrens durchzuführen ist. Hiermit wird die Wirksamkeit des Hygienisierungsverfahrens ermittelt. Dazu werden mit dem Bioabfall seuchen- und phytohygienisch relevante Test- oder Indikatororganismen in die Anlage

eingebracht; anhand von Untersuchungen der behandelten Materialien wird dann überprüft, ob durch die Hygienisierung die Testorganismen abgetötet oder inaktiviert worden sind.

Für eine anderweitige hygienisierende Behandlung (Nummer 2.2.4) sind die Anforderungen an die Prozessprüfung in Abstimmung mit der zuständigen Behörde, ggf. unter Hinzuziehung eines Sachverständigen, so zu bestimmen und zu beschreiben, daß ein gleichwertiges Hygienisierungsniveau unter Berücksichtigung der Vorgaben dieses Abschnitts sowie der Methoden gemäß Nummer 4.2.1 (Seuchenhygiene) und Nummer 4.3.1 (Phytohygiene) erreicht wird.

Für die Prozessprüfung sind die Methoden (Probenahme, -vorbereitung, Untersuchungen und einzuhaltende höchstzulässige Grenzwerte) in der Seuchenhygiene gemäß Nummer 4.2.1 und in der Phytohygiene gemäß Nummer 4.3.1 und nach Maßgabe der nachfolgend für die jeweilige Anlage näheren Beschreibungen (s. Nummer 3.1.2 und 3.1.3) anzuwenden (§ 3 Absatz 4 Satz 2).

Die Prozessprüfung ist erfolgreich abgeschlossen, wenn die Grenzwerte gemäß Nummer 4.2.1.1 (Seuchenhygiene) und Nummer 4.3.1.1 (Phytohygiene) in den zwei aufeinanderfolgenden Untersuchungsgängen jeweils nach dem für die Hygienisierung relevanten Verfahrensschritt nicht überschritten werden.

3.1.2 Anlagen zur aeroben hygienisierenden Behandlung (thermophile Kompostieranlagen)

Die Prozessprüfung umfasst zwei zeitlich getrennte Untersuchungsgänge in einem Mindestabstand von 3 Monaten, wovon einer im Winter statzufinden hat.

Die Testorganismen werden in charakteristische Rottebereiche oder in die für die thermische Inaktivierung der Testorganismen repräsentativen Prozessabschnitte eingebracht und nach der Entnahme auf überlebende oder infektiöse Testorganismen geprüft.

3.1.2.1 Mietenkompostierung

Bei jedem Untersuchungsgang werden insgesamt 60 Einzelproben untersucht, wovon 24 Proben auf die Prüfung der Seuchenhygiene und 36 Proben auf die Prüfung der Phytohygiene entfallen. Die Anzahl der Einzelproben ergibt sich dabei wie folgt:

- Bei der Prüfung der Seuchenhygiene wird 1 Testorganismus (s. Nummer 4.2.1) in Doppelproben in drei verschiedene Rottezonen (Rand-, Kern- und Basis-Bereich) sowie an vier verschiedenen Stellen der Miete eingebracht.
- Bei der Prüfung der Phytohygiene werden 3 Testorganismen (s. Nummer 4.3.1) als Einzelproben in drei verschiedene Rottezonen (Rand-, Kern- und Basis-Bereich) sowie an vier verschiedenen Stellen der Miete eingebracht.

Die Proben am Rand dürfen mit ca. 10 cm Rottegut überdeckt werden. Die Proben bleiben bis zum Ende der Prüfung in den jeweiligen Bereichen.

Für kleine Anlagen mit einer jährlichen Kapazität von bis zu 3 000 Tonnen Einsatzmaterialien ist nur ein reduzierter Untersuchungsumfang mit einer Halbierung der zu untersuchenden Einzelproben erforderlich. Dabei werden die Testorganismen nur an zwei verschiedenen Stellen der Miete eingebracht.

3.1.2.2 Andere Kompostierungsverfahren

Bei jedem Untersuchungsgang werden insgesamt 60 Einzelproben untersucht, wovon 24 Proben auf die Prüfung der Seuchenhygiene (1 Testorganismus, s. Nummer 4.2.1) und 36 Proben auf die Prüfung der Phytohygiene (3 Testorganismen, s. Nummer 4.3.1) entfallen. Die Testorganismen werden in charakteristische Bereiche des Rottekörpers eingelegt oder bei dynamischen Verfahren in geeigneten Probebehältern mit dem Materialstrom durch den praxisüblichen Rotte- und Verfahrensprozess geschleust. Die eingesetzten Probenbehälter müssen eine ausreichende Perforation aufweisen, so daß die Stoffumsetzungsbedingungen innerhalb der Probenbehälter denen des zu prüfenden Kompostierungsprozesses zur Hygienisierung entsprechen.

Bei dynamischen Verfahren ist darauf zu achten, daß alle Prüforganismen während des gesamten Einbringvorgangs zeitlich möglichst gleichmäßig zugegeben werden, so daß sie sich möglichst homogen im Rotteaggregat verteilen. Zusätzlich muß die Form der verwendeten Probenbehälter sicherstellen, daß sie bezüglich des Verhaltens im Materialstrom und der Verweilzeit dem zu kompostierenden Material entsprechen.

Sofern die spezifische Anlagentechnik die Größe der Probenbehälter nicht begrenzt (z. B. freie Durchgänge bei Schnecken usw.), werden insgesamt 12 Probenbehälter in das Rotteaggregat eingebracht (durchgeschleust); jeder Probenbehälter enthält

- a) einen Testorganismus in Doppelproben zur Prüfung der Seuchenhygiene (s. Nummer 4.2.1) und
- b) drei Testorganismen als Einzelproben zur Prüfung der Phytohygiene (s. Nummer 4.3.1).

Ist die Einbringung (Durchschleusung) entsprechend großer Probenbehälter nicht möglich, müssen die Einzelproben auf eine entsprechend größere Anzahl kleinerer Probenbehälter verteilt werden.

Für kleine Anlagen mit einer jährlichen Kapazität von bis zu 3 000 Tonnen Einsatzmaterialien ist nur ein reduzierter Untersuchungsumfang mit einer Halbierung der zu untersuchenden Einzelproben erforderlich. Dabei werden statt der 12 nur 6 Probenbehälter eingebracht und durchgeschleust.

3.1.3 Anlagen zur anaeroben hygienisierenden Behandlung (thermophile Vergärungsanlagen)

Die Prozessprüfung umfasst zwei zeitlich getrennte Untersuchungsgänge in einem Mindestabstand von 3 Monaten.

Bei jedem Untersuchungsgang werden insgesamt 24 Einzelproben untersucht, wovon 8 Proben auf die Prüfung der Seuchenhygiene und 16 Proben auf die Prüfung der Phytohygiene entfallen. Die Anzahl der Einzelproben ergibt sich dabei wie folgt:

- a) Bei der Prüfung der Seuchenhygiene wird 1 Testorganismus (s. Nummer 4.2.1) in Doppelproben sowie an vier verschiedenen Stellen im Fermenter (bei stehenden Fermentern in vertikaler und bei liegenden Fermentern in horizontaler Richtung) eingebracht.
- b) Bei der Prüfung der Phytohygiene werden 2 Testorganismen (s. Nummer 4.3.1 mit Ausnahme des Tabakmosaikvirus) in Doppelproben sowie an vier verschiedenen Stellen im Fermenter (bei stehenden Fermentern in vertikaler und bei liegenden Fermentern in horizontaler Richtung) eingebracht.

Für kleine Anlagen mit einer jährlichen Kapazität von bis zu 3 000 Tonnen Einsatzmaterialien ist nur ein reduzierter Untersuchungsumfang mit einer Halbierung der zu untersuchenden Einzelproben erforderlich. Dabei werden die Testorganismen nur an zwei verschiedenen Stellen im Fermenter eingebracht.

Die Testorganismen werden für die technisch vorgegebene oder nachgewiesene Mindestverweil-zeit (s. Nummer 2.2.3.2) in den Fermenter eingebracht und nach Entnahme untersucht.

Für die Durchführung der Prozessprüfung müssen für die Einlage und Entnahme von Proben geeignete Öffnungen in den Gärbehältern vorhanden sein.

3.2 Prozessüberwachung (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 2 i. V. m. Absatz 6)

Die Prozessüberwachung ist eine kontinuierliche Prüfung und Aufzeichnung der Temperatur während der Behandlung zur Hygienisierung. Hiermit wird nachgewiesen, ob während der Behandlung die für die Hygienisierung erforderliche Temperatur und die notwendige Einwirkungsdauer eingehalten wird.

Für eine anderweitige hygienisierende Behandlung (Nummer 2.2.4) sind die Anforderungen an die Prozessüberwachung in Abstimmung mit der zuständigen Behörde, ggf. unter Hinzuziehung eines Sachverständigen, so zu bestimmen und zu beschreiben, daß ein gleichwertiges Hygienisierungsniveau unter Berücksichtigung der Vorgaben dieses Abschnitts erreicht wird.

Wird in einer geschlossenen Kompostierungsanlage zur Hygienisierung die Temperatur im Abluftstrom der Kompostmiete gemessen und aufgezeichnet (§ 3 Absatz 6 Satz 3), ist die Behandlungstemperatur über einen anlagenspezifischen Korrekturfaktor gegenüber der direkten Temperaturmessung im Rottegut zu ermitteln. Der anlagenspezifische Korrekturfaktor ist regelmäßig durch parallele direkte Temperaturmessungen im Rottegut zu überprüfen. Für die Temperaturmessung im Abluftstrom sind die Anforderungen in Abstimmung mit der zuständigen Behörde, ggf. unter Hinzuziehung eines Sachverständigen, festzulegen.

Die Temperaturmessungen sind in repräsentativen Zonen der für die Hygienisierung relevanten Prozessabschnitte oder Anlageteile vorzunehmen.

Die Prozessüberwachung ist erfolgreich durchlaufen, wenn die für das jeweilige Verfahren vorgegebene Temperatur und Einwirkungsdauer (vgl. Nummer 2.2.1.1, 2.2.2.1, 2.2.3.1 und 2.2.4.1) bei der hygienisierenden Behandlung des Materials eingehalten wurden.

3.3 Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle (zu § 3 Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 i. V. m. Absatz 7 und 7a) Die Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle sind regelmäßige Untersuchungen der Materialien nach der Behandlung zur Hygienisierung auf Krankheitserreger, keimfähige Samen und austriebsfähige Pflanzenteile.

Die Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle erfolgen nach der Hygienisierungsbehandlung (s. Nummer 2) am abgabefertigen Material. Bei jeder Prüfung der hygienisierten Bioabfälle ist je-weils eine Probe in der Seuchenhygiene und in der Phytohygiene zu untersuchen.

Für die Prüfungen sind die Methoden (Probenahme, -vorbereitung, Untersuchungen und einzuhaltende höchstzulässige Grenzwerte) in der Seuchenhygiene gemäß Nummer 4.2.2 und in der Phytohygiene gemäß Nummer 4.3.2 anzuwenden (§ 3 Absatz 4 Satz 2).

Die Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle sind erfolgreich abgeschlossen, wenn die Grenzwerte gemäß Nummer 4.2.2 letzter Absatz (Seuchenhygiene) und Nummer 4.3.2 letzter Absatz (Phytohygiene) in keiner der entnommenen Proben überschritten werden.

4 Methoden zur Prüfung der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit

4.1 Traceruntersuchungen zur Ermittlung der Mindestverweilzeit bei anaeroben hygienisierenden Behandlungsverfahren (thermophile Vergärung)

Um die hygienisierende Wirkungsweise von anaeroben Behandlungsverfahren beurteilen zu können, ist die Kenntnis der Mindestverweilzeit der Abfallsuspension im Fermenter von Bedeutung. Muß die Mindestverweilzeit ermittelt werden, ist hierfür eine Traceruntersuchung durchzuführen (s. Nummer 2.2.3.2). Bei der Traceruntersuchung wird die Abfallsuspension vor dem Eintritt in den Fermenter mit Indikatoren (Tracern) markiert und deren erstmaliges Auftreten am Auslauf erfasst.

Für die Traceruntersuchung in anaeroben Behandlungsanlagen zur Hygienisierung biologisch abbaubarer Abfälle sind biologische Tracer mit den Sporen von *Bacillus globigii* (s. Nummer 4.1.1) oder chemische Tracer mit Lithium (s. Nummer 4.1.2) geeignet.

4.1.1 Traceruntersuchung mit Sporen von *Bacillus globigii*

Als biologischer Tracer werden die Sporen von *Bacillus globigii* verwendet. Sporen dieses Testbakteriums kommen natürlicherweise nicht in den biologischen Substraten vor, sie sind apathogen für Mensch und Tier, überstehen die Prozesseinwirkungen in anaeroben Behandlungsanlagen und sind problemlos nachweisbar.

4.1.1.1 Vorbereitung

Benötigte Materialien und Reagenzien

- Trypton-Glucose-Bouillon (TGB),
zur Herstellung der Impfkultur von *Bacillus globigii*-Sporen:
Hefeextrakt: 2,5 g,
Trypton: 5,0 g,
Glucose: 1,0 g,
Wasser (destilliert): 1 000 ml;
- Hefeextrakt-Agar (MYA),
zur Herstellung von *Bacillus globigii*-Sporen:
Pepton aus Fleisch: 10,0 g,
Hefeextrakt: 2,0 g,
Mangansulfat-Monohydrat: 0,04 g,
Agar: 15 g,
Wasser (destilliert): 1 000 ml;
- *Bacillus globigii* Stammkultur,

zur Herstellung der *Bacillus globigii* Stammkulturen-Sporensuspension:

Bacillus globigii (DSM₁) No. 675 [*Bac. Atrophaeus*] oder

¹⁾ DSM: Deutsche Stammsammlung für Mikroorganismen, Marscheroder Weg 1b, 38124 Braunschweig. AbfR 2.2.18

Version 02/2012 Vorschriftensammlung der Gewerbeaufsicht Baden-Württemberg 45

²⁾ Universität Hohenheim, Institut für Umwelt- und Tierhygiene, Garbenstraße 30, 70599 Stuttgart.

Bacillus globigii (DSM₁) No. 2277 [*Bac. Atrophaeus*] oder

Bacillus globigii (Stammsammlung der Universität Hohenheim²⁾);

– Zentrifuge mit einer Beschleunigung von 10 000 g.

Probenherstellung

Trypton-Glucose-Bouillon (TGB):

Die Bouillon wird in Portionen von je 10 oder 100 ml in Prüfröhrchen gegeben. Es wird im Autoklaven sterilisiert. Nach der Sterilisation muß der pH-Wert des Mediums 7,2 ($\pm 0,2$), gemessen bei 20 °C, betragen.

Hefeextrakt-Agar (MYA):

Der Agar wird in Roux-Flaschen oder Petrischalen gegeben. Es wird im Autoklaven sterilisiert. Nach der Sterilisation muß der pH-Wert des Mediums 7,0 ($\pm 0,2$), gemessen bei 20 °C, betragen.

Bacillus globigii Stammkulturen:

Die *Bacillus globigii*-Stammkulturen (Glycerinkultur, Lagerungstemperatur –80 °C) werden aufgetaut und in Trypton-Glucose-Bouillon (TGB) bei 37 °C über 24 Stunden bebrütet.

Aus der TGB-Bouillon werden 6 ml auf MYA-Platten übertragen; der Überstand wird abpipettiert. Die MYA-Platten werden bei 37 (± 1) °C bebrütet. Nach dem dritten Bebrütungstag wird der Zu-stand der Kulturen mit Hilfe einer Sporenfärbung (z. B. Racket-Färbung) beurteilt. Anschließend erfolgt eine weitere Inkubation der MYA-Platten bei 30 °C über 7 bis 10 Tage. Danach werden die Kolonien von den MYA-Platten mit 3 ml sterilem destillierten Wasser (aqua dest.) abgeschwemmt.

Die gewonnene Sporensuspension wird zentrifugiert (3 000 Umdrehungen/min über 10 Minuten), der Überstand wird verworfen und das Pellet wird mit aqua dest. resuspendiert.

Zur Ermittlung der Anzahl der Sporen wird die Suspension zuerst bei 75 (± 1) °C über 10 Minuten erhitzt, anschließend wird mit dem Koch'schen Oberflächenverfahren die Sporeanzahl pro Milliliter Suspension festgestellt.

4.1.1.2 Durchführung der Untersuchung

Der biologische Tracer wird einmalig in Form einer Sporensuspension gleichmäßig während eines Beschickungsintervalls dem Fermenter zugegeben. Es wird einer Beschickungscharge soviel Sporensuspension beigemischt, daß pro Gramm Fermenterinhalt mindestens 10₆ Sporen vorhanden sind.

Die Konzentration der *Bacillus globigii*-Sporen in der Suspension ist zu kontrollieren.

Nach der Zuführung der Sporensuspension erfolgt die Probennahme (Einzelprobe von ca. 1 kg) im Austrag so lange, bis der Tracer erstmals in einer Probe nachgewiesen wird, und zwar mindestens

- a) jede Stunde bis einschließlich der 24. Stunde,
- b) darauf folgend alle zwei Stunden bis einschließlich der 36. Stunde,
- c) darauf folgend alle 4 Stunden bis einschließlich der 48. Stunde,
- d) darauf folgend alle 6 Stunden.

4.1.1.3 Nachweismethode

Aus den zu untersuchenden Proben werden zur Vorverdünnung 20 g in 180 ml Natriumchlorid (0,9 %-ige Kochsalzlösung) eingewogen und ca. 20 Stunden bei 4 °C auf dem Schüttler durch-mischt. Nach einer ausreichenden Durchmischung wird je 1 ml der Probe in geometrischer Reihe bis zur Verdünnungsstufe 10⁻⁸ in jeweils 9 ml NaCl-Lösung pipettiert. Anschließend werden jeweils 0,1 ml jeder Verdünnungsstufe auf zwei parallele Standard-I-Agarplatten pipettiert und mit einem ausgeglühten Drahtspatel gleichmäßig verteilt (Inkubation 37 °C/24 Stunden).

Ausgezählt werden auf den Nährbodenplatten nur jene Kolonien, die ein typisches orange-rot Wachstum zeigen.

4.1.1.4 Mindestverweilzeit

Die Mindestverweilzeit ergibt sich aus dem Zeitraum zwischen der Zugabe der *Bacillus globigii*-Sporensuspension und der letzten Probe ohne Befund vor dem erstmaligen Nachweis des biologischen Tracers im Austrag des Fermenters.

³⁾ Veröffentlicht in der Beuth-Verlag GmbH, Berlin; archivmäßig gesichert niedergelegt beim Deutschen Patent- und Markenamt in München.

4.1.2 Traceruntersuchung mit Lithium

4.1.2.1 Vorbereitung

Bestimmung der Lithium-Grundbelastung in der Abfallsuspension

Zunächst ist die natürliche Lithium-Grundbelastung in der Abfallsuspension zu bestimmen. Hierzu wird vor Prüfungsbeginn mindestens 5 Tage lang täglich eine repräsentative Probe am Austrag des Fermenters entnommen und der Lithiumgehalt bestimmt. Je nach Bioabfallzusammensetzung beträgt die Grundbelastung an Lithium in der Regel zwischen 1 und 5 mg je kg Trockenmasse.

Benötigte Materialien

Tracer: *Lithiumhydroxid-Monohydrat*

4.1.2.2 Durchführung der Untersuchung

Für die Untersuchung ist die Lithiumkonzentration von 50 mg/kg Trockenmasse bezogen auf den gesamten Fermenterinhalt (vollständige Durchmischung) einzustellen. Die erforderliche Lithiummenge ist abhängig vom Fermenternutzvolumen der zu überprüfenden Vergärungsanlage zur Hygienisierung. Der Tracer wird in gelöster Form während eines Beschickungsintervalls gleichmäßig dem Fermenter zugegeben.

Von dieser Lithiumsuspension ist eine Rückstellprobe bis zum Vorliegen der Ergebnisse aufzubewahren.

Nach der Zuführung des Tracers erfolgt die Probennahme (Einzelprobe von ca. 1 kg) im Austrag so lange, bis der Tracer erstmals in einer Probe nachgewiesen wird (Lithiumkonzentration > Grundbelastung), und zwar mindestens

- a) jede Stunde bis einschließlich der 24. Stunde,
- b) darauf folgend alle 2 Stunden bis einschließlich der 36. Stunde,
- c) darauf folgend alle 4 Stunden bis einschließlich der 48. Stunde,
- d) darauf folgend alle 6 Stunden.

4.1.2.3 Nachweismethode

Zur Ermittlung der Lithiumkonzentration werden die Proben nach DIN EN ISO 11885:2009³⁾ analysiert.

4.1.2.4 Mindestverweilzeit

Die Mindestverweilzeit ergibt sich aus dem Zeitraum zwischen der Zugabe des Lithiumtracers und der letzten Probe ohne Konzentrationserhöhung vor dem erstmaligen Nachweis des Tracers im Austrag des Fermenters. Der Tracer ist nachgewiesen, wenn die festgestellte Konzentration von Lithium die ermittelte Grundbelastung um die doppelte Standardabweichung übersteigt, die bei den gemäß Nummer 4.1.2.1 entnommenen Proben ermittelt wird.

4.2 Prüfungen der Seuchenhygiene

4.2.1 Prozessprüfung

4.2.1.1 Testorganismus und Grenzwert

Die Prozessprüfung in der Seuchenhygiene wird mit dem Testkeim *Salmonella senftenberg W775 (H2S-negativ)* durchgeführt.

Die Prozessprüfung ist in der Seuchenhygiene erfolgreich abgeschlossen, wenn in den zwei aufeinanderfolgenden Untersuchungsgängen jeweils nach dem für die Hygienisierung relevanten Verfahrensschritt in keiner Probe Salmonellen nachweisbar sind.

4.2.1.2 Einlageproben für aerobe hygienisierende Verfahren (thermophile Kompostierung)

Der Testkeim *Salmonella senftenberg W₇₇₅ (H₂S-negativ)* wird in Standard-I-Bouillon bei 37 °C über 18 bis 24 Stunden inkubiert. Die so erzeugte Keimsuspension soll eine Mikroorganismenkonzentration von mindestens 10⁷ bis 10⁸ KBE/ml enthalten. Die Konzentration ist durch Vergleich mit einem Standard (z. B. McFarland) oder dem Oberflächenverfahren oder MPN-Verfahren (Most Probable Number) zu bestimmen. AbfR 2.2.18 Version 02/2012 Vorschriftensammlung der Gewerbeaufsicht Baden-Württemberg 47

⁴¹ Methode nach Schwarz, Michael, Vergleichende seuchenhygienisch-mikrobiologische Untersuchungen an horizontal und vertikal beschickten, bewachsenen Bodenfiltern mit vorgeschalteter Mehrkammerausfaulgrube bzw. einem als Grobstoff-Fang dienenden Rottebehälter (Rottefilter), S. 45, veterinärmedizinische Dissertation, FU Berlin, 2003; archivmäßig gesichert niedergelegt bei der Deutschen Nationalbibliothek in Leipzig.

Bei der Kompostierung zur Hygienisierung wird pro Probe ca. 225 g frisches, homogenisiertes und zerkleinertes Bioabfallmaterial aus der zu überprüfenden Anlage mit 25 ml dieser Keimsuspension getränkt und anschließend in sterile Zwiebel- oder Kunststoffsäckchen verpackt. Die Einlage der Proben in das Kompostiergut erfolgt entweder in dieser Form oder in grob perforierten stabilen Probenbehältern, die für den jeweiligen Prozess geeignet sind. Nachdem der für die Hygienisierung relevante Verfahrensabschnitt durchlaufen ist, werden die Probenbehälter wieder entnommen und jeweils 50 g des homogenisierten Inhalts eines Probensäckchens in 450 ml gepuffertem Peptonwasser mit Novobiocin über 30 Minuten bei 4 °C langsam ausgeschüttelt (150 rpm) und anschließend über 22 (± 2) Stunden bei 36 (± 2) °C inkubiert. Die so erhaltene Suspensionslösung wird für die Identifizierung von Salmonellen benutzt.

4.2.1.3 Einlageproben für anaerobe hygienisierende Verfahren (thermophile Vergärung)

Die Keimsuspension mit dem Testkeim *Salmonella senftenberg W₇₇₅ (H₂S-negativ)* wird hergestellt wie in Nummer 4.2.1.2 Absatz 1 beschrieben.

In Vergärungsanlagen zur Hygienisierung wird jeweils 1 ml der Keimsuspension von *Salmonella senftenberg W₇₇₅ (H₂S-negativ)* mit Diffusionskeimträgern⁴¹ in den Prozess eingeschleust. Die Diffusionskeimträger werden außer mit 1 ml der Keimsuspension auch mit 9 ml Gärückstand angefüllt und in die für die thermische Inaktivierung relevanten Prozessabschnitte oder Anlageteile jeweils für die ermittelte Mindestverweilzeit (s. Nummer 4.1) und Hygienisierungstemperatur eingebracht. Nachdem das Verfahren durchlaufen ist, wird der jeweilige Gesamtinhalt der Diffusionskeimträger (10 ml) in 90 ml gepuffertes Peptonwasser mit Novobiocin (Voranreicherung) gegeben, kurz geschüttelt (150 rpm) und über 22 (± 2) Stunden bei 36 (± 2) °C inkubiert. Die so erhaltene Suspensionslösung wird für die Identifizierung von Salmonellen benutzt.

4.2.1.4 Nachweismethode

Vorhandene Salmonellen werden mit den Suspensionslösungen identifiziert, die nach den oben beschriebenen Methoden hergestellt worden sind (s. Nummer 4.2.1.2 und 4.2.1.3). Hierzu werden jeweils 0,1 ml aus der gut durchmischten Voranreicherung in 10 ml Anreicherungsbouillon nach Rappaport bei 36 (± 2) °C und bei 42 (± 1) °C über 22 (± 2) Stunden inkubiert. Anschließend werden Parallelausstriche auf Xylose-Lysin-Desoxycholat-Agar (XLD) und einem weiteren *Salmonella*-Differenzial-Nährboden mit der Nachweismöglichkeit anderer biochemischer Eigenschaften als XLD-Agar angelegt. Salmonellenverdächtige Kolonien werden auf Nutrient-Agar überimpft und bei 36 (± 2) °C für 22 (± 2) Stunden inkubiert. Die Identifizierung erfolgt biochemisch oder serologisch auf Grund der Körper- und Geißelantigene (O- und H-Antigene).

Zur Kontrolle der Überlebensfähigkeit (Tenazität) des Teststammes werden parallel zur Prozessprüfung vier Kontrollproben hergestellt. Diese Kontrollproben werden nicht in das Hygienisierungsverfahren eingebracht, sondern während des Prüfungszeitraums in feuchtem Sand (z. B. Eimer mit Quarzsand, Befeuchtung mit deionisiertem Wasser) bei Raumtemperatur (20 bis 25 °C) gelagert und nach Abbruch der Prozessprüfung aufgearbeitet. Mindestens drei der vier Kontrollproben sollen positive Salmonellenbefunde liefern; anderenfalls ist die Tenazität des Teststammes nicht als ausreichend anzusehen.

4.2.2 Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle

Für die Prüfung der hygienisierten Bioabfälle in der Seuchenhygiene werden aus einer gut durchmischten Sammelprobe (ca. 3 kg) jeweils 50 g Material nach der oben angegebenen Methode (s. Nummer 4.2.1.2) auf das Vorhandensein von Salmonellen untersucht. Die Sammelmischprobe setzt sich

aus mindestens fünf verschiedenen Teilproben einer Charge des hygienisierend behandelten, gemäß Nummer 3.3 zu untersuchenden Materials zusammen.

Die Prüfung der hygienisierten Bioabfälle ist in der Seuchenhygiene erfolgreich abgeschlossen, wenn in jeweils 50 g der entnommenen Sammelproben keine Salmonellen nachweisbar sind.

4.3 Prüfungen der Phytohygiene

4.3.1 Prozessprüfung

4.3.1.1 Testorganismen und Grenzwerte Aus der Vielzahl von Phytopathogenen und Pflanzensamen, die im Ausgangsmaterial von Bioabfallbehandlungsanlagen vorkommen, werden folgende Leit- oder Indikatororganismen in Prozess-prüfungen in der Phytohygiene verwendet:

- a) *Plasmodiophora brassicae* (Kohlhernie) mit einer einwöchigen Wärmetoleranz von 50 °C, Grenzwert im Biotest: Befallsindex ≤ 0,5 je Prüfbereich,
- b) Tomatensamen, Grenzwert im Biotest: ≤ 2 % keimfähige Samen je Prüfbereich,
- c) zusätzlich bei aerober hygienisierender Behandlung (thermophile Kompostierung) gemäß Nummer 2.2.2:
Tabakmosaikvirus (TMV), Grenzwert im Biotest: ≤ 4 % Restinfektiosität (Relativwert zur Positivkontrolle) je Prüfbereich.

Die Prozessprüfung ist in der Phytohygiene erfolgreich abgeschlossen, wenn in den zwei aufeinanderfolgenden Untersuchungsgängen jeweils nach dem für die Hygienisierung relevanten Verfahrensschritt in den Proben je Prüfbereich die angegebenen Grenzwerte

- bei den Parametern *Plasmodiophora brassicae* und Tomatensamen nicht überschritten sowie
- bei dem Parameter Tabakmosaikvirus um nicht mehr als maximal 30 % überschritten werden.

4.3.1.2 Testorganismus *Plasmodiophora brassicae*

Die Prozessprüfung in der Phytohygiene mit dem Testorganismus *Plasmodiophora brassicae* wird nach folgender beschriebener Methodik durchgeführt.

4.3.1.2.1 Herstellung der Einlageproben für aerobe hygienisierende Behandlungsverfahren (thermophile Kompostierung)

Das Gallenmaterial (Infektionsmaterial mit dem Erreger *Plasmodiophora brassicae*) wird bis zur Herstellung der Einlageproben bei -25 °C tiefgefroren. Es ist nachweislich infektiöses, wärmetolerantes Gallenmaterial mit dem Erreger *Plasmodiophora brassicae* von befallenen Kohlplanten zu verwenden. Die Wärmetoleranz ist nachgewiesen, wenn das Gallenmaterial bei Bebrütung von 50 °C über 7 Tage eine hohe Infektiosität (Befallsgrad ≥ 2) aufweist.

Jede in den Kompostierungsprozess zur Hygienisierung eingesetzte Probe enthält 30 g Gallenmaterial, 430 g Boden und 200 g des jeweiligen Kompostrohmaterials. Dies entspricht einem Verhältnis von ca. 5 % Gallenmaterial zu 65 % Boden und 30 % Kompost. Die einzelnen Probenanteile werden intensiv gemischt und in rottebeständige Beutel (Maschenweite max. 1 x 1 mm) eingefüllt; dabei ist sicherzustellen, daß nichts von der Probe in den umgebenden Kompost ausgetragen wird.

Entsprechend hergestellte Kontrollproben werden während des Versuchszeitraums in feuchtem, sterilisiertem Sand bei Zimmertemperatur gelagert.

4.3.1.2.2 Herstellung der Einlageproben für anaerobe hygienisierende Behandlungsverfahren (thermophile Vergärung)

Für das zu verwendende Gallenmaterial (Infektionsmaterial mit dem Erreger *Plasmodiophora brassicae*) gilt Nummer 4.3.1.2.1 Absatz 1 entsprechend.

Bei Vergärungsanlagen zur Hygienisierung werden 30 g Gallenmaterial in Gazebeutel (Maschenweite max. 1 x 1 mm) in die für die thermische Inaktivierung relevanten Prozessabschnitte oder Anlageteile eingebracht.

Entsprechend hergestellte Kontrollproben werden während des Versuchszeitraums in feuchtem, sterilisiertem Sand bei Zimmertemperatur gelagert.

4.3.1.2.3 Nachweis der Infektiosität durch einen Biotest

Eine vorhandene Restinfektion von *Plasmodiophora brassicae* in den Einlageproben wird durch die nachfolgend beschriebene Prüfung festgestellt.

Benötigte Materialien

- Mischwanne,
- Messbecher (1 000 ml),
- Kunststofftöpfe (13 x 13 x 13 cm, ca. 1 l), passende Untersetzer,
- zertifiziertes Saatgut von Sarepta-Senf (*Brassica juncea*),
- Substratdämpfer,
- Sand, Körnung 0,8 - 1,2 mm (z. B. Buntsandstein mit guter Pufferkapazität, pH-Wert ca. 6,5),
- Weißtorf (pH-Wert ca. 3,5),
- pH-Meter,
- Einmalhandschuhe (für jede Probe ein Paar),
- wasserlöslicher Volldünger (fest oder flüssig).

Probenaufbereitung

Nach Rückgewinnung aus dem geprüften Hygienisierungsverfahren werden die Einlageproben mit dem Erreger *Plasmodiophora brassicae* sorgfältig zerkleinert und mit einem Sand-Torfgemisch (5 Stunden bei 80 °C gedämpft) auf ein Volumen von 1 000 ml aufgefüllt und gut homogenisiert.

Da der pH-Wert einen starken Einfluss auf die Infektiosität von *Plasmodiophora brassicae* ausübt (Optimum: pH-Wert 6,0 ± 0,2), ist der pH-Wert der hergestellten Substratmischung zu überprüfen und gegebenenfalls durch Erhöhung des Torfanteils zu korrigieren.

Biotest

Als Versuchsgefäß werden 13 x 13 x 13 cm große Kunststofftöpfe verwendet. Für jede reisolierte Erregerprobe, die mit dem Sand-Torf-Gemisch auf je 1 000 ml aufgefüllt wurde, wird ein Gefäß mit 16 Nachweispflanzen Sarepta-Senf (*Brassica juncea*) angelegt; dabei werden in jedes Gefäß vorgezogene Keimpflanzen (1. Laubblattbildung) einpikiert. Der Biotest wird als randomisierter Versuch im Gewächshaus oder in einer Klimakammer bei 6 000 bis 9 000 Lux und einer Temperatur von mindestens 20 °C aufgestellt. Die Pflanzen werden ab der dritten Woche wöchentlich einmal gedüngt. Die Vegetationszeit des Biotests bis zur Bonitur der Nachweispflanzen beträgt 4 bis 5 Wochen.

Nach Beendigung des Biotests wird zum einen die Anzahl der befallenen Pflanzen gezählt und zum anderen die Wurzelgallenbildung nach einer Boniturskala von 0 bis 3 bewertet: Befallsklasse	Beschreibung der Symptome
0	Keine sichtbaren Symptome
1	Leichte Gallenbildung an Haupt- und Nebenwurzeln
2	Mittlere Gallenbildung an Haupt- und Nebenwurzeln
3	Starke Gallenbildung am gesamten Wurzelsystem

5) Boniturskala 1, 2 bzw. 3.

6) Einlagebereich bei Prozessprüfungen, z. B. Kompostierung: Rand, Kern, Basis; Vergärung: unterschiedliche Bereiche des Fermen-ters.

Anhang 2

Tabelle : Übersicht über die in unbehandelten Abfällen, Gülle und Gärprodukten vorkommende pathogenen Krankheitserreger

	Pathogen	Nachweismethode	Referenzen
Bakterien	<i>Salmonella</i> spp.	PCR Kultur, quantitativ,	Brooks et al., 2014; McLaughlin et al., 2009; Gantzer et al., 2001; Guzman et al., 2007
	Pathogene <i>E. coli</i> und ESBL- <i>E. coli</i>	qPCR ¹ Kultur, quantitativ	Klein et al., 2010; Haack et al., 2015 Schauss et al., 2015
	<i>Enterococcus</i> spp.	qPCR Kultur, quantitativ	Klein et al., 2010 McLaughlin et al., 2009; Gantzer et al., 2001
	<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	16S rDNA PCR und Sequenzierung	Han et al., 2011
	<i>Staphylococcus aureus</i>	16S rDNA PCR und Sequenzierung	Han et al., 2011
	<i>Listeria monocytogenes</i>	16S rDNA PCR und Sequenzierung qPCR	Han et al., 2011; Klein et al., 2010
	thermophile <i>Campylobacter</i> spp.	PCR und Sequenzierung qPCR	Brooks et al., 2014; Han et al., 2011; Klein et al., 2010
	<i>Clostridium perfringens</i>	Kultur, quantitativ 16S rDNA PCR und Sequenzierung	McLaughlin et al., 2009; Bagge et al., 2010
	<i>Clostridium botulinum</i>	16S rDNA PCR und Sequenzierung	Bagge et al., 2010
	<i>Mycobacterium avium</i> ssp. <i>paratuberculosis</i>	qPCR	Slana et al., 2011
	<i>Coxiella burnetti</i> Europäisches Schweinepestvirus	PCR Zellkultur, qPCR Zellkultur, ELISA Zellkultur	Roest et al., 2012 Weesendorp et al., 2008; Bötner und Belsham, 2012 Turner et al., 2000

	Zellkultur, ELISA	Bøtner und Belsham, 2012
	Zellkultur	Turner et al., 2000
Afrikanische Schweinepestvirus	Zellkultur	Turner et al., 1999
Vesikuläre Schweinekrankheit-Virus	Zellkultur	Turner et al., 1999
Aujeszky Virus	Zellkultur	Turner et al., 2000
Adenoviren	qPCR	Hundesa et al., 2009; Fongaro et al., 2013; Haack et al., 2015
Circovirus	Zellkultur, qPCR qPCR	Viancelli et al., 2012b Viancelli et al., 2012b
PRRS-Virus	Zellkultur	Linhares et al., 2012
Parvovirus	qPCR	Viancelli et al., 2013
Enterovirus	qPCR	Haack et al., 2015
Hepatitis E-Virus	qPCR Zellkultur, PCR	Haack et al., 2015; Gentry-Shields et al., 2015; Garcia et al., 2013 Yugo & Meng, 2013
MKS-Virus	Zellkultur Zellkultur, ELISA	Turner et al., 2000 Bøtner und Belsham, 2012
BVD-Virus	Zellkultur, ELISA	Bøtner und Belsham, 2012
Influenzaviren	Zellkultur, ELISA Zellkultur	Bøtner und Belsham, 2012 Lu et al., 2003

Parasiten	<i>Giardia</i> spp.	qPCR	Klein et al., 2010
	<i>Cryptosporidium</i> spp.	qPCR	Klein et al., 2010
		direkte Immunfluoreszenz	Guzman et al., 2007
	Nematoden-Eier	Flotation	McLaughlin et al., 2009
	Helminthen-Eier	Flotation	Guzman et al., 2007

¹ quantitative PCR

Literaturverzeichnis

- [1] Abwassertechnische Vereinigung (ATV) e.V. (Hrsg.). Entseuchung von Klärschlamm. *Korrespondenz Abwasser*, 33. Jhrg. (Heft 11), Seiten 1141 – 1142, 1986. Erster Arbeitsbericht der ATV/VKS-Arbeitsgruppe 3.2.2.
- [2] Abwassertechnische Vereinigung (ATV) e.V. (Hrsg.). Entseuchung von Klärschlamm. *Korrespondenz Abwasser*, 35. Jhrg. (Heft 1), Seiten 71 – 74, 1988. Zweiter Arbeitsbericht der ATV/VKS-Arbeitsgruppe 3.2.2.
- [3] Abwassertechnische Vereinigung (ATV) e.V. (Hrsg.). Entseuchung von Klärschlamm. *Korrespondenz Abwasser*, 35. Jhrg. (Heft 12), Seiten 1325 – 1333, 1988. Dritter Arbeitsbericht der ATV/VKS-Arbeitsgruppe 3.2.2.
- [4] S.W. ANDREE et al. *Composting and using by-products from blue crab and calico scallop processing plants in Florida*. Woods End Res. Lab., Old Rome Road, Route No. 2, Box 1850, Mt. Vernon, Maine 04352, USA, 1992.
- [5] Arbeitskreis zur Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen (ANS) e.V. 53. Informationsgespräch "Hygieneaspekte bei der biologischen Abfallbehandlung". In *Schriftenreihe ANS*, Heft 32, Mettmann, 1996.
- [6] K.-J. BÄTZA. persönliche Mitteilung, 2000.
- [7] U. BECKELMANN und D. FASSBENDER. Umweltverträglichkeitsstudien für Kompostierungs- und Methanisierungsanlagen. In *RHINO-Fachkongreß "Bioabfall-Management '94"*, Seiten 238 – 243. Rheinisches Institut für Ökologie, Köln, 1994.
- [8] H.J. BENDIXEN und S. AMMENDRUP. *Safeguards against pathogens in biogas plants*. Danish Veterinary Service, Ministry of Agriculture, Copenhagen, 1992.
- [9] M. DE BERTOLDI, F. ZUCCONI und M. CIVILINI. Temperature, pathogen control and product quality. In de Bertoldi et al. (Hrsg.), *BioCycle*, Seiten 43 – 50, Februar 1988.
- [10] BioAbfV. Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung – BioAbfV vom 4. April 2013 (BGBl. I S. 658), zuletzt geändert durch Artikel 5 der Verordnung vom 5. Dezember 2013 (BGBl. I S. 4043) "
- [11] R. BÖHM. Hygieneaspekte bei der getrennten Sammlung sowie der Handhabung von Bioabfällen. In *Bioabfall-Management '93*, Seiten 98 – 110. Rheinisches Institut für Ökologie, Köln, 1993.
- [12] R. BÖHM. Die Problematik der Festsetzung mikrobiologischer Grenz- und Richtwerte in der Umwelthygiene. In A. Arndt, R. Böcker, A. Kohler (Hrsg.), *Grenzwerte und Grenzwertproblematik im Umweltbereich*, Seiten 75 – 86. Verlag Günter Heimbach, Ostfildern, 1995.

- [13] R. BÖHM. Keimemissionen bei der Kompostierung. In K.J. Thom e-Kozmiensky (Hrsg.), *Biologische Abfallbehandlung*. E.F.-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Neuruppin, 1995.
- [14] R. BÖHM. Begründung der Hygieneregelungen und vergleichbare Regelungen in anderen Ländern. In *7. Hohenheimer Seminar - Biologische Abfallbehandlung - Erste Erfahrungen mit der Bioabfallverordnung*, Bd. I, Seiten 31 – 47. Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft (DVG) e. V., Giessen, 1999. ISBN 3-930511-62-2.
- [15] R. BÖHM, P. BRAUMILLER, M. HOFERER, W. MARTENS und W. PHILIPP. Aerobe und anaerobe Behandlung von Bio- und Küchenabfällen sowie anderen Rest- und Abfallstoffen tierischer Herkunft unter den Aspekten der Seuchenhygiene. Abschlussbericht, Institut für Umwelt- und Tierhygiene der Universität Hohenheim, 2000.
- [16] R. BÖHM, T. FACK und W. PHILIPP. Anforderungen an die biologische Abfallbehandlung aus der Sicht des Arbeitsschutzes. In M. Kern K. Wiemer (Hrsg.), *Biologische Abfallbehandlung III*, Abfall-Wirtschaft. Neues aus Forschung und Praxis, Seiten 281 – 296. M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen, 1996. Veröffentlichungen des Witzenhausen-Institutes für Abfall, Umwelt und Energie.
- [17] R. BÖHM, W. MARTENS und P.M. BITTIGHOFER. Aktuelle Bewertung der Luftkeimbelastung in Abfallbehandlungsanlagen. In M. Kern K. Wiemer (Hrsg.), *Abfall-Wirtschaft. Neues aus Forschung und Praxis*. M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen, 1998.
- [18] R. BÖHM, W. PHILIPP und R. HAUSMACHER. Untersuchungen zur Hygiene. In Becker Gallenkemper (Hrsg.), *Einfluß des Behältersystems und der Abfuhrintervalle auf die Hygiene und die Geruchsemissionen bei der Sammlung kompostierbarer Stoffe*, Bd. 9, Seiten 4–1 – 4–9. Labor für Abfallwirtschaft, Siedlungswirtschaft und Umweltchemie (LASU) der Fachhochschule Münster, 1995.
- [19] G.J. BOLLEN und D. VOLKER. Phytohygienic Aspects of Composting. Symposium "The Science of Composting", Bologna, Mai 1995. Vortrag.
- [20] P. BOUTIN, M. TORRE und J. MOLINE. Bacterial and fungal atmospheric contamination at refuse composting plants: A preliminary study. In P. L'Hermite M. de Bertoldi, M.P. Ferranti (Hrsg.), *Compost: Production, Quality and Use*, Seiten 266 – 275. Elsevier Applied Science, London, 1987.
- [21] R. BRINTON. Low cost options for fish waste. *BioCycle*, Seiten 68 – 70, März 1994.
- [22] W.F. BRINTON und M.D. SEEKINS. *Composting fish by-products*. Time + Tide, RC + D, Route No. 1, Waldodoro, Maine 04572, USA, 1988.
- [23] C. BRUNS. Phytosanitäre Wirkungen von Komposten. In *Kompostierung und landwirtschaftliche Kompostverwertung*, KTBL-Arbeitspapier 191, Seiten 115 – 117. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Landwirtschaftsverlag Münster, 1993.
- [24] Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) e.V. (Hrsg.). *Hygiene-Baumusterprüfsystem für Kompostieranlagen*, Köln, 1996.
- [25] F. DASCHNER, R. STEEB und M. SCHERRER. *Bewertung der hygienischen Situation von Abfallwirtschaftsanlagen im Hinblick auf luftgetragene Keime*. Entsorga GmbH, Köln, 1995.

- [26] A.J. DRIESEL. Grenzwerte für biologische Arbeitstoffe? In *5. Hohenheimer Seminar - Nachweis und Bewertung von Keimemissionen bei der Entsorgung von kommunalen Abfällen sowie spezielle Hygieneprobleme der Bioabfallkompostierung*, Nr. 6/95, CHEManager, Seiten 5 – 6. Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft (DVG) e. V., Giessen, 1995.
- [27] DÜMG (Düngemittelgesetz). Vom 15. November 1977. Bundesgesetzblatt (BGBl) Teil I, Seite 2134, geändert am 12. Juli 1989, BGBl. Teil I, Seite 1435 und am 27. September 1994, BGBl. Teil I, Seite 2705, 1994.
- [28] E. MÜLLER und W. LOEFFLER (Hrsg.). *Mykologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 4. Auflage, 1982. S. 157-158.
- [29] Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft (DVG) e. V. 5. Hohenheimer Seminar - Nachweis und Bewertung von Keimemissionen bei der Entsorgung von kommunalen Abfällen sowie spezielle Hygieneprobleme der Bioabfallkompostierung. Giessen, 1994.
- [30] M. EGGER, A. PFISTER und H. SCHÖTTL. Stand und Perspektiven der Bioabfallvergärung. In M. Kern K. Wiemer (Hrsg.), *Biologische Abfallbehandlung II*, Abfall-Wirtschaft. Neues aus Forschung und Praxis, Seiten 519 – 528. M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen, 1995.
- [31] ERCO. *Monitoring of Aspergillus fumigatus associated with municipal sewage sludge composting operations in the state of Maine*. Energy resources Co., Inc., 1980.
- [32] H. ERHARD. Aus der Geschichte der Städtereinigung. In *Müll-Handbuch*, Lieferung 1/1964, Kennzahl 0110. Erich Schmidt Verlag, Berlin, Januar 1964.
- [33] H. ERHARD. Aus der Geschichte der Städtereinigung. In *Unser Abfall aller Zeiten*. Kommunalschriften-Verlag J. Jehle, München, 1987. Zitat nach G. Hösel.
- [34] Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV). Lebensmittel - eine Gefahr für die Gesundheit? *Deutsche tierärztliche Wochenschrift (DTW)*, 102. Jhrg., Seiten 213 – 214, 1995. Mitteilung des BgVV.
- [35] B. GALLENKEMPER und G. BECKER. Untersuchungen zum Abfuhrhythmus aus Sicht der Hygiene, des Geruchs und der Wirtschaftlichkeit. In *53. Informationsgespräch "Hygieneaspekte bei der biologischen Abfallbehandlung"*, Heft 32, Schriftenreihe ANS, Seiten 123 – 138. Arbeitskreis zur Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen (ANS) e.V., Mettmann, 1996.
- [36] S. GERBL-RIEGER, D. FANTA, R. THELEN, G. DANNEBERG, C. VON HAUSTEIN, F. ZÄNGL, J. RUF, A.J. DRIESEL, R. SIMON, J.B. ZECH, K. HOPPENHEIDT, A. KOTTMAIR, A. FARNY, W. MÜCKE, U. RITTER, W. HUBER et al. Keimemissionen aus Kompostierungs- und Vergärungsanlagen - Vergleichende Messungen zur Bestimmung von Emissionen biologischer Agenzien und Immissionen an Standorten von aeroben und anaeroben biologischen Abfallbehandlungsanlagen, 1999. ISBN 3-932108-06-X.
- [37] C. GRÜNER. Arbeitsschutz in Biomüllkompostierungsanlagen. In *5. Hohenheimer Seminar - Nachweis und Bewertung von Keimemissionen bei der Entsorgung von kommunalen Abfällen sowie spezielle Hygieneprobleme der Bioabfallkompostierung*, Seiten 148 – 158. DVG (Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V.), 1994.

- [38] C. GRÜNER. Arbeitsschutzmaßnahmen für Mitarbeiter in biologischen Behandlungsanlagen. In 53. *Informationsgespräch "Hygieneaspekte bei der biologischen Abfallbehandlung"*, Heft 32, Schriftenreihe ANS, Seiten 241 – 252. ANS e.V. (Arbeitskreis zur Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen e.V.), 1996.
- [39] C. GRÜNER. Gesundheitszustand und Belastung von Beschäftigten im Abfallbereich. Erste Ergebnisse und Schlußfolgerungen für die Praxis. In M. Kern K. Wiemer (Hrsg.), *Biologische Abfallbehandlung*, Bd. III, Seiten 315 – 334. M.I.C. Baeza-Verlag, Kirchstr. 8, D-37213 Witzenhausen, 1996.
- [40] B. HAAS und S. MOSS. *Abschlussbericht zur Inaktivierung von ausgewählten potentiellen Tierseuchenerregern in der Kompostierung und in Anaerobanlagen (Arbeitstitel)*. Bundesforschungsanstalt für Viruskrankheiten der Tiere in Tübingen, 2000.
- [41] C. HERR, P.-M. BITTIGHOFER, T. EIKMANN, A.B. FISCHER, C. GRÜNER, H. IDEL, A. ZUR NIEDEN, U. PALMGREN, H.-J. SEIDEL und H.-G. VELCOVSKY. Wirkung von mikrobiellen Aerosolen auf den Menschen. In *VDI/DIN Statusseminar vom 30.8 - 01.9.1999*. Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN - Normenausschuß, Langen, 1999. ISBN 3-932 816.
- [42] I. HERRMANN. Untersuchungen zum Überleben von *Sclerotinia sclerotiorum* und *Agrobacterium tumefaciens* während des Rotteverlaufs von Biomüll. Agrarwissenschaftliche diplomarbeit, Institut für Phytomedizin der Universität Hohenheim - 360, Stuttgart, 1992.
- [43] I. HERRMANN, S. MEISSNER, E. BÄCHLE, E. RUPP, G. MENKE und F. GROSSMANN. Einfluß des Rotteprozesses von Bioabfall auf das Überleben von phytopathogenen Organismen und von Tomatensamen. *Zeitschrift Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Nr. 101, Seiten 48 – 65, 1994.
- [44] R. HOFMANN, E.M. BECK, R. BÖHM, G. DANNEBERG, S. GERBL-RIEGER, E. GÖTTLICH, A. KOCH, M. KÜHNER, V. KUMMER, K. LIEBL, W. MARTENS, T. MISSEL, A. NEEF, U. PALMGREN, R. RABE, B. SCHILLING et al. Erfassung von luftgetragenen kultivierbaren Mikroorganismen aus Kompostieranlagen - Emissionen und Immissionen. In *VDI/DIN Statusseminar vom 30.8 - 01.9.1999*. Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN - Normenausschuß, Langen, 1999. ISBN 3-932 816.
- [45] R. HOFMANN und R. SZEWZYK. Hygieneprobleme bei der Einsammlung von Siedlungsabfällen. In *Wasser, Luft und Boden (WLB)*, Heft 5, 6, Berlin, 1996. Umweltbundesamt (UBA). Protokoll des Arbeitsgesprächs vom 7.11.1995 im Umweltbundesamt.
- Hölzle, L.E.; Hartmann, Nadja; Philipp, W. und T. Schilling: Einfluss der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung auf die Qualität von Gärresten: Bewertung des Einflusses des Biogasprozesses auf die Inaktivierung von Erregern von Bestandserkrankungen (BIOGAS-SANITATION): Teilvorhaben 2
Universität Hohenheim, Institut für Nutztierwissenschaften, Fachgebiet Infektions- und Umwelthygiene bei Nutztieren, Emil-Wolff-Str. 14, 70599 Stuttgart
- [46] E. JOHANNING. persönliche Mitteilung, 2000.
- [47] P. KÄMPFER. persönliche Mitteilung, 2000.
- [48] KNOLL. Bewertung der Kompostierung von Abfällen in hygienischer Sicht. In *Müllhandbuch*, Kennzahl 5075, Seiten 1 – 9. Ernst Schmidt Verlag, Berlin, 1986.

- [49] KNOLL, STRAUCH und HOLST. Standardisierung von Hygieneuntersuchungen für Kompostierungsverfahren. Forschungsbericht 79 - 103 02 403, Umweltbundesamt (UBA), Dezember 1980.
- [50] K.-K. KÖHLER. Methodik der Luftkeimsammlung. Technik, Repräsentativität, Stand der Diskussion. In M. Kern K. Wiemer (Hrsg.), *Biologische Abfallbehandlung III*, Abfall-Wirtschaft. Neues aus Forschung und Praxis, Seiten 297 – 314. M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen, 1996.
- [51] M.H. KOTHARY und T. CHASE. Levels of Aspergillus fumigatus in air and in compost at a sewage sludge composting site. In *Environ. Poll.* 34, Series A, Seiten 1 – 14, 1984.
- [52] R. KOWALD und W. MÜLLER. Behälter zur Sammlung von Bioabfällen. *Forum Städte-Hygiene*, 42. Jhrg., Seiten 373 – 379, 1991.
- [53] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) (Hrsg.). *Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost*, Merkblatt 10, Februar 1995.
- [54] J. LUKASSOWITZ. Hygienefragen beim Umgang mit (Bio-)Abfall. In *Bundesgesundheitsblatt* 35, Seiten 413 – 414, 1992.
- [55] M. LUNDHOLM und R. RYLANDER. Occupational symptoms among compost workers. *J. Occup. Med.* 22, Seiten 256 – 257, 1980.
- [56] H. MAHNEL. Möglichkeiten und Grenzen der Virusinaktivierung im Haushalt. *Zentralblatt Bakt. Hygiene*, Bd. 187, Seiten 414 – 421, 1989.
- [57] P. MALMROS. Occupational health problems owing to recycling of waste. In *Bericht des 5. Hohenheimer Seminars: Nachweis und Bewertung von Keimemissionen bei der Entsorgung von kommunalen Abfällen sowie spezielle Hygieneprobleme der Bioabfallkompostierung*, 1995.
- [58] P. MALMROS, T. SIGISGAARD und B. BACH. Occupational health problems due to garbage sorting. *Waste Management & Research* 10, Seiten 227 – 234, 1992.
- [59] W. MARTENS und R. BÖHM. Hygienische Relevanz von Keimemissionen bei Sammlung und Behandlung von Biobfällen. In M. Kern K. Wiemer (Hrsg.), *9. Kasseler Abfallforum*, Tagungsband, 1997.
- [60] W. MARTENS, A. FRANK-FINK, W. PHILIPP, D. WINTER und R. BÖHM. Seuchenhygienische Bewertung von Anaerobverfahren. In *7. Hohenheimer Seminar - Biologische Abfallbehandlung - Erste Erfahrungen mit der Bioabfallverordnung*, Bd. I, Seiten 150 – 163. Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft (DVG) e.V., Giessen, 1999. ISBN 3-930511-62-2.
- [61] W. MARTENS, W. PHILIPP und R. BÖHM. Seuchenhygienische Bewertung von Anaerobverfahren unter besonderer Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Kofermentation. In M. Kern K. Wiemer (Hrsg.), *Bio- und Restabfallbehandlung IV*, Seiten 965 – 985. Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, Witzenhausen, 2000.
- [62] G. MENKE. Hygienische Aspekte der Bioabfallkompostierung - Teil 1: Phytohygiene. In LG-Stiftung "Natur und Umwelt" im Hause Landesgirokasse (Hrsg.), *Bioabfallkompostierung - Chance der Abfallverwertung oder Risiko der Bodenbelastung?*, Symposium des Umweltministeriums Baden-Württemberg und der LG-Stiftung "Natur und Umwelt" am 26. März 1991 in Stuttgart, Stuttgart, 1992.

- [63] P.D. MILLNER, P.B. MARSH, R.B. DOWNDON und J.F. PARR. Occurrence of *Aspergillus fumigatus* during composting of sewage sludge. *Appl. Environ. Microbiol.* 34, Seiten 723 – 764, 1977.
- [64] P.D. MILLNER, S.A. OLENSCHOK, E. EPSTEIN, R. RYLANDER, J. HAINER, J. WALKER, B.L. OOI, E. HORNE und M. MARITATO. Bioaerosols associated with composting facilities. *Compost Science + Utilization*, 2. Jhrg. (Nr. 4), Seiten 6 – 57, 1994.
- [65] H. OECHSNER. Strom aus Biogas. *BW-agrar. Landwirtschaftliches Wochenblatt, Stuttgart*, 167. Jhrg. (Heft 17), Seite 18, 2000.
- [66] K.H. PEHL und G. GOLDMANN. Untersuchungen über die Abtötung des Schweinepestvirus durch die Aerobenkompostierung. *Arch. exper. Vet. Med.*, Nr. 9, Seiten 633 – 638, 1955.
- [67] A. PFIRRMANN. *Untersuchungen zum Vorkommen von luftgetragenen Viren an Arbeitsplätzen in der Müllentsorgung und -verwertung*. Agrarwissenschaftliche dissertation, Universität Hohenheim, 1994.
- [68] A. PFIRRMANN und G. VANDEN BOSSCHE. Vorkommen und Isolierung von humanen Enteroviren aus der Luft von Abfallbeseitigungs- und -verwertungsanlagen. *Zentralblatt Hygiene*, 196. Jhrg., Seiten 38 – 51, 1994.
- [69] B.R. POLLMANN und A.M. STEINER. A standardized method for testing the decay of plant diaspores in biowaste composts by using tomato seed. *Agrobiol. Res.*, 47. Jhrg. (Nr. 1), Seiten 24 – 31, 1994.
- [70] O.M. POULSEN, N.O. BREUM, N. EBBEHJ, A.M. HANSEN, U.I. IVENS, D. VAN LELIEVELD, P. MALMROS, L. MATTHIASSEN, B.H. NIELSEN, E. MÖLLER-NIELSEN, B. SCHIBYE, T. SKOV, E.I. STENBAEK und K.C. WILKINS. Sorting and recycling of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. *Sci. Tot. Env.*, 168. Jhrg., Seiten 33 – 56, 1995.
- [71] S. ROTH. *Mikrobiologisch-hygienische Untersuchungen zur Bioabfallkompostierung in Mieten und in Kleinkompostern*. Agrarwissenschaftliche dissertation, Universität Hohenheim, 1994.
- [72] H. RÜDEN. Hygienische Aspekte bei der Wertstoffsortierung. In 4. *Münsteraner Abfallwirtschaftstage vom 16.-18. Januar 1995*, Seiten 408 – 410. Labor für Abfallwirtschaft, Siedlungswirtschaft und Umweltchemie (LASU) der Fachhochschule Münster, Münster, 1995.
- [73] R. SACKENHEIM. *Untersuchungen über Wirkungen von wässrigen, mikrobiologisch aktiven Extrakten aus kompostierten Substraten auf den Befall der Weinrebe (*Vitis vinifera*) mit *Plasmopara viticola*, *Uncinula necator*, *Botrytis cinerea* und *Pseudopezicula tracheiphila**. Agrarwissenschaftliche dissertation, Universität Bonn, 1993.
- [74] B. SCHAPPLER-SCHEELE. Arbeitsschutz in Kompostierungsanlagen aus gewerbeärztlicher Sicht. In M. Kern K. Wiemer (Hrsg.), *Bio- und Restabfallbehandlung*, Seiten 305 – 312. M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen, 1997.
- [75] B. SCHAPPLER-SCHEELE. Untersuchung der gesundheitlichen Gefährdung von Arbeitnehmern der Abfallwirtschaft in Kompostierungsanlagen. *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin*, 1999.

- [76] P.A. SCHERER. Hygienische Aspekte bei der getrennten Abfallsammlung. In K.J. Thom e-Kozmiensky, P.A. Scherer (Hrsg.), *Getrennte Wertstofferfassung und Biokompostierung*, Seiten 135 – 161. EF-Verlag für Energie und Umwelttechnik, Neuruppin, 1992.
- [77] B. SCHILLING, D. HELLER, Y. GRAULICH und E. GÖTTLICH. Emissionen und Immissionen luftgetragener kultivierbarer Mikroorganismen aus und im Umfeld von Kompostieranlagen. In *VDI/DIN Statusseminar vom 30.8 - 01.9.1999*. Kommission Reinhaltung der Luft (KrdL) im VDI und DIN - Normenausschuß, Langen, 1999. ISBN 3-932 816.
- [78] B. SCHMIDT. *Bakteriologische Untersuchungen zur Keimemission an Arbeitsplätzen in der Müllentsorgung und -verwertung*. Agrarwissenschaftliche dissertation, Universität Hohenheim, 1994.
- [79] J.T. SIMS, D.W. MURPHY und T.S. HANDWERKER. Composting of poultry wastesimplications for dead poultry disposal and manure management. *J. Sustainable Agric.*, 2. Jhrg. (Nr. 4), 1992.
- [80] D. STRAUCH. Veterinärhygienische Untersuchungen bei der Verwertung fester und flüssiger Siedlungsabfälle. In *Schriftenreihe a.d. Geb. des öffentlichen Gesundheitswesens*, Heft 18. G. Thieme Verlag, Stuttgart, 1964.
- [81] D. STRAUCH. Internationaler Erkenntnisstand in den Fragen der Hygiene der Müllbeseitigung. In *Zum Stand der Aufbereitung und schadlosen Beseitigung häuslicher und industrieller Abfälle*, Band 27, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Seiten 141 – 209. R. Oldenbourg Verlag, München, 1967.
- [82] D. STRAUCH. Hygienische Aspekte der Bioabfallkompostierung aus veterinärmedizinischer Sicht. In *5. Hohenheimer Seminar - Nachweis und Bewertung von Keimemissionen bei der Entsorgung von kommunalen Abfällen sowie spezielle Hygieneprobleme der Bioabfallkompostierung*, Seiten 328 – 343. Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft (DVG) e. V., Giessen, 1994.
- [83] Hessisches Umweltministerium (Hrsg.). *Umweltmedizinische Relevanz von Emissionen aus Kompostieranlagen für die Anwohner*, 1999. Immissionsmessungen und epidemiologische Daten und Befunde im Umfeld von drei Kompostieranlagen in Hessen.
- [84] K. STALDER und C. VERKOYEN (Hrsg.). *Gesundheitsrisiken bei der Entsorgung kommunaler Abfälle. Mikrobiologische und medizinische Grundlagen der Primär- und Sekundärprävention von Gesundheitsstörungen bei der Sammlung und Aufbereitung von kommunalen Abfällen, insbesondere Bioabfällen*, Göttingen, 1994. Die Werkstatt GmbH.
- [85] B. GALLENKEMPER und G. BECKER (Hrsg.). *Einfluß des Behältersystems und der Abfuhrintervalle auf die Hygiene und die Geruchsemisionen bei der Sammlung kompostierbarer Stoffe*, Bd. 9. Labor für Abfallwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft, Umweltchemie (LASU) der Fachhochschule Münster, 1995.
- [86] U. WIEGEL. Eigenkompostierung in Kleinkompostern. In *Müllhandbuch*, Lieferung 6/88, Kennzahl 5640. Erich Schmidt Verlag, Berlin, Juni 1988.

[87] U. WIEGEL. Eigenkompostierung von Hausgartenabfällen. In *Müllhandbuch*, Lieferung 2/93, Kennzahl 5630. Erich Schmidt Verlag, Berlin, Februar 1993.

Gesetze und Verordnungen

Betriebssicherheitsverordnung vom 3. Februar 2015 (BGBl. I S. 49), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Juli 2015 (BGBl. I S. 1187)

VERORDNUNG (EG) Nr. 2003/2003 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 13. Oktober 2003 über Düngemittel (ABl. L 304 vom 21.11.2003, S. 1)

TierGesG - Gesetz zur Vorbeugung vor und Bekämpfung von Tierseuchen – (Tiergesundheitsgesetz) vom 22. Mai 2013, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013 Teil I Nr. 25, S.1324, geändert am 3. Dezember 2015 durch Bundesgesetzblatt Jahrgang 2015 Teil I Nr. 49, S.2178, Art.8 (12) vom 9. Dezember 2015

Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 4. April 2016 (BGBl. I S. 569)

KTBL: Überregionale Verwertung von flüssigen Wirtschaftsdüngern. Bericht für das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2016

Anwendung von organischen Düngern und organischen Reststoffen in der Landwirtschaft. Standpunkt des Wissenschaftlichen Beirats für Düngungsfragen; BML; Referat 314 – Agrarforschung. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Deichmanns Aue 29 in 53179 Bonn

Düngeverordnung, Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV) vom 10. Januar 2006 (BGBl. I S. 20), zuletzt geändert am 24.12.2012.

Düngemittelverordnung, Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (DüMV) vom 27. Mai 2015 (BGBl. I S. 886)

Bundesratsdrucksache 143/16 vom 22.03.16 - EU - AV – U Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates mit Vorschriften für die Bereitstellung von Düngeprodukten mit CE-Kennzeichnung auf dem Markt und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1069/2009 und (EG) Nr. 1107/2009 COM(2016) 157 final