



Hygienisch optimierte Sammlung von Bioabfällen mit ecovio-Bioabfalltüten

Dr. Klaus Hoppenheidt
Jadranka Grganovic
Susanne Nischwitz
Francesca Mayrhofer

Impressum

Alle Rechte (insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung) sind vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Kein Teil der bifa-Texte darf in irgendeiner Form ohne Genehmigung der Herausgeber reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Herausgeber
bifa Umweltinstitut GmbH
Am Mittleren Moos 46
86167 Augsburg

Verfasser
Dr. Klaus Hoppenheidt
Jadranka Grganovic
Susanne Nischwitz
Francesca Mayrhofer

Auftraggeber
BASF SE
Global Strategy & Innovation Management
GBU Speciality Plastics, Ludwigshafen (Germany)

Druck
Klicks GmbH

1. Auflage 2014
© bifa Umweltinstitut GmbH

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
2	Untersuchungsgang und Ergebnisse.....	2
2.1	Hygienestatus bei der Bioabfallsammlung in Haushalten	2
2.1.1	Vorbemerkung zum Untersuchungsrahmen.....	2
2.1.2	Mikrobiologische Untersuchungsparameter	4
2.1.3	Herstellung definierter Bioabfälle	4
2.1.4	Bioabfallsammelbehälter und Bioabfalltüten.....	5
2.1.5	Lebendkeimzahlen von Bioabfällen.....	6
2.1.6	Lebendkeimzahlen von Oberflächen mit Bioabfall-Kontakt.....	10
2.2	Vergleichende Untersuchung zum Hygienestatus bei der Bioabfallsammlung in Biotonnen	18
2.2.1	Untersuchungsgang.....	18
2.2.2	Untersuchungsergebnisse	21
3	Fazit.....	25

1 Einleitung

Die aus landwirtschaftlichen Produkten gefertigten, genusstauglichen Nahrungsmittel enthalten keine gesundheitlich relevanten Mengen an humanpathogenen Krankheitserregern. Viele Nahrungsmittel werden bis zur Zubereitung meist gekühlt gelagert, damit die Keimvermehrung unterbleibt. Abfälle entsprechender Nahrungsmittel verderben bei Raumtemperaturen jedoch sehr schnell. Bei der Handhabung gelangen auch opportunistische und/oder obligate Infektionserreger von erkrankten Personen in die Bioabfälle und können sich dort bei typischen Wohnraumtemperaturen rasch vermehren. Demzufolge gelten die in Bioabfallbehandlungsanlagen angelieferten Bioabfälle als seuchen- und phytohygienisch bedenklich. Die Einhaltung von verfahrenstechnischen Mindestanforderungen bei der Bioabfallbehandlung (Kompostierung, Vergärung) stellt sicher, dass hygienisch bedenkliche Bioabfälle zu seuchen- und phytohygienisch unbedenklichen Produkten verwertet werden können¹.

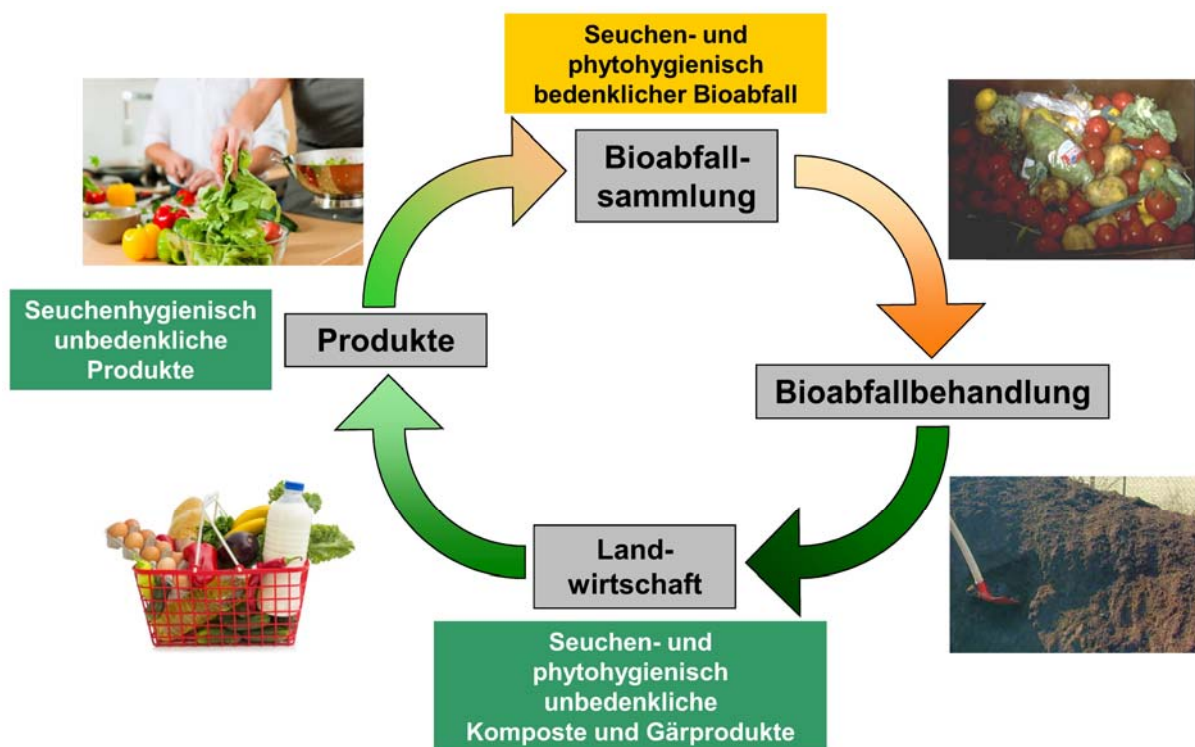


Abbildung 1: Hygienestatus von Biomassen bei der Kreislaufführung

Restabfälle, Bioabfälle, DSD-Wertstoffe sowie Altpapier und -glas haben zum Zeitpunkt der Anlieferung in Abfallbehandlungsanlagen bereits sehr hohe Gehalte an Bakterien und Pilzen, darunter auch

¹ Hoppenheidt, K. (2012): Hygieneaspekte bei der getrennten Erfassung und Behandlung von Bioabfällen. 6. Biomasseforum, 21./22. November 2012, Bad Hersfeld

diverse humanpathogene Erreger². Die in der Abfallwirtschaft tätigen Personen werden im Rahmen von arbeitsplatzbezogenen Einweisungen über Hygienrisiken und geeignete Schutzmaßnahmen informiert.

In den Privathaushalten sind die Bewohner selbst für die Einhaltung hygienischer Vorsorgemaßnahmen verantwortlich. Daten des Robert Koch-Institutes (RKI) deuten jedoch auf erhebliche Kenntnislücken hin, da Privathaushalte Ausgangspunkt für mehr als 64 % der Nahrungsmittel-bedingten Infektionen sein sollen³. Dementsprechend könnten hygienische Optimierungseffekte vor allem beim Umgang von Privatpersonen mit Abfällen erzielbar sein.

Es war jedoch unbekannt, ob die in Haushalten anfallenden Abfälle bereits bei Lagerzeiten von wenigen Tagen eine entsprechend hohe Verkeimung mit Bakterien und Pilzen entwickeln. In diesem Fall wären Abfälle bereits zum Zeitpunkt der Sammlung in den Wohnräumen hygienisch bedenklich. Beim Umgang mit Abfällen sollten dann - in Analogie zu den an Arbeitsplätzen der Abfallwirtschaft zu beachtenden Arbeitsschutzmaßnahmen - hygienische Vorsorgemaßnahmen Anwendung finden. In erster Linie sollten ein direkter Hautkontakt mit Abfällen und die Einatmung von Aerosolen vermieden werden.

Diese Fragestellung wurde im Auftrag der BASF SE in einem Untersuchungsprogramm am Beispiel der haushaltsnahen Sammlung von Bioabfällen aufgegriffen. Zunächst wurde untersucht, wie stark sich Bakterien und Pilze in frischen Bioabfällen während einer bis zu 5 Tage andauernden Lagerung bei Temperaturen von 25 °C vermehren. Vergleichbare Bedingungen liegen in Haushalten bei sommerlicher Witterung vor. Neben der Keimvermehrung in den Bioabfällen wurde die Verkeimung von Oberflächen untersucht, mit denen Nutzer bei der Handhabung der Bioabfälle in Kontakt kommen können. Hierbei wurde die Sammlung der Bioabfälle ohne Abfalltüten mit Sammlungen in Papier-, PE- und ecovio-Biokunststoff-Tüten verglichen (2.1). Ergänzend wurde untersucht, ob sich bei der Sammlung der Bioabfälle ohne Tüten bzw. in ecovio-Biokunststoff-Tüten Unterschiede hinsichtlich der Luftkeimbelastung beim Einwurf der in Haushalten gesammelten Bioabfälle in kommunale Biotonnen ergeben (2.2).

2 Untersuchungsgang und Ergebnisse

2.1 Hygienestatus bei der Bioabfallsammlung in Haushalten

2.1.1 Vorbemerkung zum Untersuchungsrahmen

In den in Haushalten anfallenden, feuchten Bioabfällen vermehren sich Bakterien und Pilze besonders rasch. Das Ausmaß der Verkeimung der in den Haushalten gesammelten Bioabfälle hängt maßgeblich von folgenden Einflussfaktoren ab:

- Ausgangsverkeimung der Bioabfälle
- Aufenthaltszeit im Bioabfallbehälter
- Lagertemperatur
- Wassergehalt der Bioabfälle

² Krist, H.; Hoppenheidt, K.; Mücke, W. (2005): Hygiene der Abfallentsorgung im Gesundheitswesen. München

³ Bernard, H.; Stark, K. (2011): Lebensmittelbedingte Infektionen und Ausbrüche in Deutschland, RKI, Präsentation, Rostock, 21.9.2011; www.lalif.de/fileadmin/media/PDF/Veroeffentlichungen/Veranstaltungen/BELA3.pdf

Für die Konzeption der Versuche dienten deshalb folgende Vorüberlegungen: In Haushalten fallen ca. 81 kg Bioabfälle pro Einwohner und Jahr bzw. täglich ca. 220 Gramm pro Person an. In Bayern sind 51 % aller 6,1 Mio. Privathaushalte 1- und 2-Personenhaushalte; die mittlere Haushaltsgröße erreicht statistisch eine Personenzahl von 2,1 Personen pro Haushalt. Mit diesen Daten wurde ein mittleres Aufkommen von Bioabfällen von ca. 460 Gramm pro Haushalt und Tag in Bayern abgeleitet. Für unbehandelte Bioabfälle wurde eine Schüttdichte von 0,7 kg/L bzw. ein spezifisches Volumen von 1,4 L/kg angenommen. Demnach sollten in einem mittleren Haushalt täglich etwa 0,65 Liter Bioabfall anfallen. Häufig im Einsatz befindliche Gefäße für die Sammlung von Bioabfällen in Haushalten haben maximale Füllvolumina von 5-10 Litern. Damit wäre eine Maximalfüllung der Gefäße nach spätestens 10 Tagen erreicht. Geht man von einem gleichbleibenden täglichen Aufkommen von Bioabfällen aus, liegt die mittlere Verweilzeit der Bioabfälle bei einer bis zu 10-tägigen Nutzung eines Behältervolumens bei 5 Tagen. Die zuletzt eingefüllten Abfälle würden nur einen Tag im Abfallbehälter lagern; Anteile von 10 % würden bis zu 10 Tage im Abfallbehälter vorhanden sein. Auch wenn in der Praxis zu erwarten ist, dass eine Gefäßleerung oft vor dem Erreichen der Maximalfüllung erfolgt, bot die Abschätzung hilfreiche Rahmendaten für die Konzeption der durchzuführenden Prüfungen. Als Aufenthaltszeit der Bioabfälle in den Haushalten wurden somit bis zu 5 Tage in 7 L-Haushaltssammelbehältern angenommen und über diesen Zeitraum wurde die Keimvermehrung beobachtet.

Um möglichst gut miteinander vergleichbare Ausgangsbedingungen zu schaffen, kam eine definierte Bioabfallmischung zum Einsatz. Während viele Nahrungsmittel gekühlt aufbewahrt werden, lagern Bioabfälle bei vergleichsweise hohen Temperaturen. Für Küchen kann ganzjährig eine Mindesttemperatur von 20 °C angenommen werden. In der Nähe von Wärmequellen (Beleuchtung, Haushaltsgeräten) können deutlich höhere Temperaturen vorkommen. In Küchenzeilen befinden sich Abfallbehälter oft neben Geschirrspülern oder Kochherden, sodass zumindest über Stunden Temperaturen auftreten, die deutlich über der Raumtemperatur liegen. Im Sommer kann die Raumtemperatur über weite Tageszeiträume deutlich über der 20 °C-Marke liegen. Dem worst-case-Ansatz folgend wurde die Keimentwicklung bei 25 °C geprüft. Bei dieser Temperatur vermehren sich die in Umweltproben vorkommenden Bakterien und Pilze bereits sehr schnell.

Bioabfälle aus Haushalten haben in der Regel mittlere Wassergehalte von mehr als 70 %. Einzelne Bioabfallbestandteile können jedoch stark abweichende Wassergehalte haben: Tomaten, Weintrauben und ähnliche Produkte haben Wassergehalte von mehr als 95 %, während z. B. Brot Wassergehalte von < 40 % hat. Bei der Herstellung der untersuchten Bioabfallmischung sollte sichergestellt werden, dass der Wassergehalt im Mittel bei > 70 % lag.

Die Ausgangsverkeimung von Nahrungsabfällen kann über einen weiten Bereich streuen. Nahrungsmittel sind häufig leicht verderblich; deshalb versucht man, ihre Haltbarkeit durch Konservierung und/oder Kühlung zu verlängern. Abfälle konservierter und gekochter Nahrungsmittel haben anfangs niedrige Ausgangskeimgehalte. Abfälle gekochter Nahrungsmittel verkeimen jedoch schnell, da das Kochen einen Aufschluss vieler Nahrungsbestandteile eingeleitet hat. Abfälle von kühl oder gekühlt gelagerten, naturbelassenen Nahrungsmitteln weisen bereits hohe, natürliche Keimgehalte auf (z. B. die Besiedler der Oberfläche von Salatblättern oder die Keime in den Erdanhaftungen bei Kartoffeln, Möhren, etc.). Oft gelangen auch mikrobiell verdorbene Nahrungsmittel in die Bioabfallsammelbehälter (z. B. verschimmeltes Brot, Obst und Gemüse). Für die aktuelle Untersuchung sind neue Behälter und noch genusstaugliche Bioabfallbestandteile verwendet worden. Für länger in Haushalten benutzte Behälter ist eine erhöhte Grundverkeimung anzunehmen. Außerdem werden in Haushalten auch überlagerte, bereits verdorbene Nahrungsmittel im Rahmen der Bioabfallsammlung erfasst. Um diese erhöhte Ausgangsverkeimung bei der Untersuchung nachstellen zu können, wurden einige Bioabfallmischungen

mit kommunalem Bioabfall angeimpft. Hierzu wurden 20 Gramm von frisch angeliefertem, kommunalen Bioabfall (Kompostierungsanlage Augsburg) in 200 mL Reinstwasser suspendiert. 25 mL der Suspension wurden dann zu einem Ansatz mit 2,7 kg frisch hergestelltem Bioabfall dosiert. Somit wurde der hergestellte Bioabfall mit einem Promille der in kommunalen Bioabfällen vorhandenen Mikroorganismen angereichert.⁴

2.1.2 Mikrobiologische Untersuchungsparameter

Die hygienischen Untersuchungen umfassten Bestimmungen der Lebendkeimzahlen an Bakterien und Pilzen (Tabelle 1); Aliquote der Proben wurden für ergänzende Untersuchungen tiefgefroren konserviert.

Tabelle 1: Hygienische Untersuchungsparameter

Parameter	Medium, Kulturbedingungen	Anwendungsbereich
Lebendkeimzahl Bakterien	CASO-Agarplatten (mit 50 mg/L Nystatin- und 25 mg/L Actidionzusatz), 37 °C	Nachweis anspruchsvoller heterotropher Bakterien (TRBA 9430)
Lebendkeimzahl Schimmelpilze	DG-18-Agarplatten (mit 100 mg/L Chloramphenicolzusatz), 25 °C	Nachweis xerophiler Schimmelpilze (TRBA 9420)

2.1.3 Herstellung definierter Bioabfälle

Für die Füllung der 7-L-Bioabfallsammelgefäße wurde eine Mischung der in Tabelle 2 aufgeführten Komponenten hergestellt.

Tabelle 2: Komponenten für Herstellung definierter Bioabfälle

Bestandteil	Einwaage in g/Ansatz	Herkunft und Vorbereitung
Blattsalat	550	Aldi, Eisbergsalat, vorzerkleinert
Weißkohl	275	Fegro, Weißkohl, vorzerkleinert
Tomaten	275	Aldi, Tomaten, vorzerkleinert
Gurken	275	Aldi, Salatgurken, vorzerkleinert
Kartoffeln (roh)	275	Fegro, Kartoffeln, vorzerkleinert
Kartoffeln (gekocht)	275	Fegro, Kartoffeln, vorzerkleinert
Sojaschrot	275	Baywa; Marke Sojagold; unverändert
Vollkornschrot	140	Landwirt; Mischung aus Weizen und Gerste
Gemüsemais	275	Fegro, Mais-Konserve, abgegossen
Gekochtes Fleisch	140	Fegro, „JA“-Hundefutter (Geflügel mit Reis)
Gesamt	2.755	

⁴ Im Rahmen der Untersuchung zeigte sich, dass die Ausgangskeimzahl der Bioabfälle durch die Animpfung nur gering verändert wurde. Deshalb wurden die Bioabfälle für weitere Untersuchungen (2.2) nicht mehr zusätzlich beimpf.

Die auf < 5 cm vorzerkleinerten, lose aufgeschütteten Bioabfälle hatten eine Lagerdichte von 0,4 kg/Liter. Der definierte Bioabfall hatte zum Zeitpunkt der Befüllung der Abfallbehälter einen Wassergehalt von 76,7 %; der Gehalt an organischer Substanz oTS lag bei 94,6 %. Diese Werte liegen in einem typischen Wertebereich für die in Haushalten anfallenden Bioabfälle⁵.

2.1.4 Bioabfallsammelbehälter und Bioabfalltüten

Als Sammelbehälter dienten die in Abbildung 2 dargestellten neuwertigen Gefäße. Die Kunststoffbox (Fegro) wurde ohne Sammeltüte genutzt; da der Deckel nicht perforiert war, wurde er zur Gewährleistung eines Luftaustausches nach der Befüllung mit Bioabfall nur locker aufgelegt.

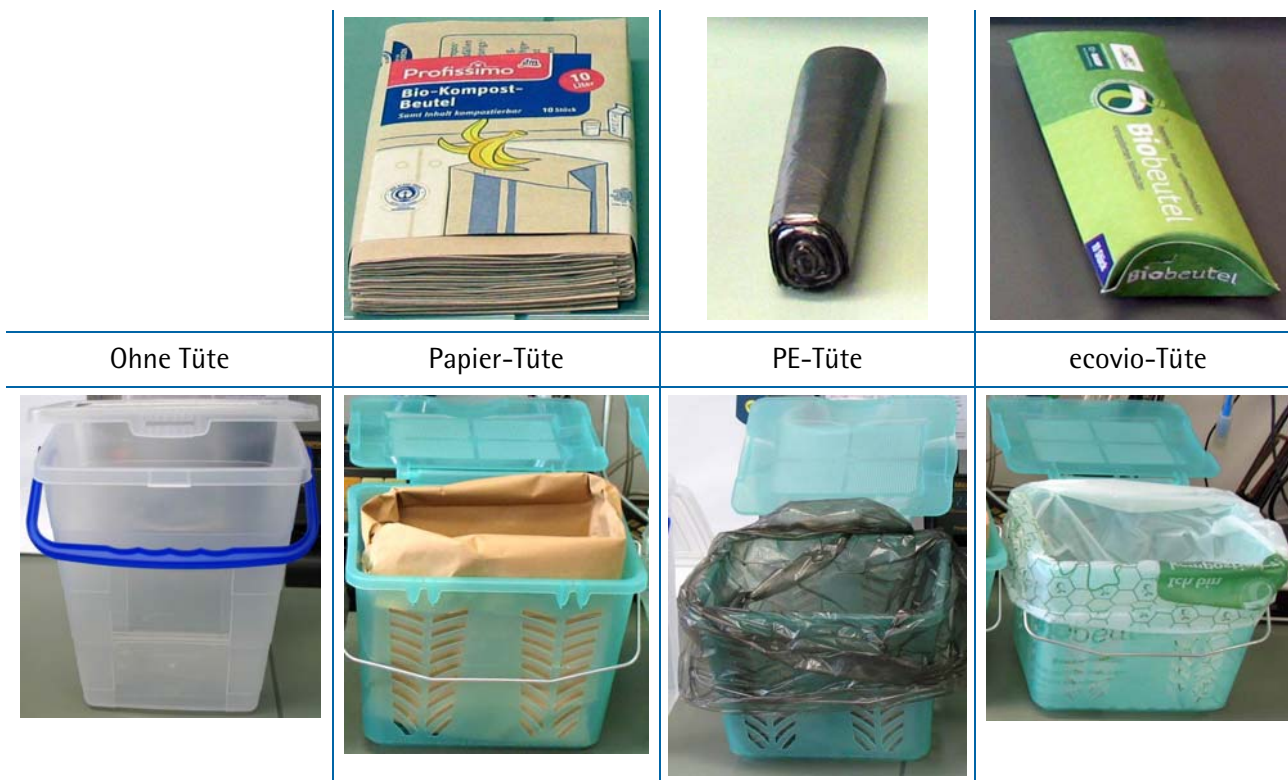


Abbildung 2: Benutzte Varianten an Abfallbehältern und Bioabfalltüten

Die mit Belüftungsschlitzen ausgestatteten Bioabfallsammelbehälter (Stelo - Bio-Abfalleimer; Biomasse GmbH) wurden mit einem der nachfolgend genannten Bioabfalltüten bestückt:

- Papiertüte: dm Profissimo Bio-Kompostbeutel 10 L
- PE-Tüte: 10 L-Beutel, geschwärzt⁶
- ecovio-Tüte: in Bad Dürkheim eingesetzte 10 L-Biobeutel

⁵ Die in Bioabfallbehandlungsanlagen angelieferten Abfälle enthalten größere Anteile an Grüngut; dieses enthält Holzige Bestandteile sowie Erd- und Sandanhaftungen. Dementsprechend haben kommunale Bioabfälle niedrigere Wassergehalte (60 – 70 %) und Anteile an organischer Trockensubstanz (60 – 80 %).

⁶ Untersuchungen der BASF SE zeigten, dass die PE-Tüte eine Dicke von 5–6 µm hatte und aus Recycling-Kunststoff bestand. Einschlüsse von kleinen Fremdstoffpartikeln können bei Recycling-Kunststoffen die Durchlässigkeit erhöhen. Im Unterschied dazu haben die ecovio-Beutel eine Dicke von ca. 25 µm und sind aus einer neuen, homogenen Polymermischung hergestellt worden.

2.1.5 Lebendkeimzahlen von Bioabfällen

Die frisch hergestellten Bioabfälle wurden vor und nach dem Beimpfen mit Bioabfalleluat auf vermehrungsfähige Bakterien und Pilze untersucht. Die in die verschiedenen Abfallbehälter gefüllten Bioabfälle wurden 5 Tage bei 25 °C gelagert. Anschließend wurden die Inhalte der Abfallbehälter bzw. Bioabfalltüten auf die Gehalte an vermehrungsfähigen Bakterien und Pilzen untersucht. Die Bioabfallproben wurden in saubere, bei 70 °C entkeimend vorbehandelte Kunststoffeimer gefüllt. Anschließend wurden 2 Liter sterile, 0,01-molare Natriumpyrophosphat-Lösung (pH 7,0) hinzugefügt. Die Eimer wurden mit einem dicht schließenden Deckel versehen und 60 Minuten bei 25 °C auf einem Horizontalschüttler mit 70 Umdrehungen pro Minute inkubiert.

Die in Abbildung 3 zusammengestellten Fotos der frischen und der 5 Tage bei 25 °C gelagerten Bioabfälle verdeutlichen die visuell erkennbaren Veränderungen: Die Bioabfälle waren nach 5 Tagen stärker verdichtet, da einzelne Bioabfallbestandteile einen Strukturverlust zeigten. Auffällig war – neben dem intensiven Geruch – die bereits deutliche Ausprägung eines Pilzmyzels auf der Oberfläche der Bioabfälle.

			
Ohne Tüte	Papier-Tüte	PE-Tüte	ecovio-Tüte
			
Intensiver Geruch, Schimmelbewuchs gering ausgeprägt	Intensiver Geruch, Schimmelbewuchs sehr stark ausgeprägt	Intensiver Geruch; Schimmelbewuchs stark ausge- prägt	Intensiver Geruch; Schimmelbewuchs stark ausgeprägt

Abbildung 3: Visuelle Beurteilung der frisch eingefüllten (oben) und 5 Tage bei 25 °C gelagerten Bioabfälle

Die Eluate der Bioabfälle wurden in Verdünnungsreihen mit bis zu 9 dekadischen Stufen verdünnt und aus jeder Verdünnung wurden je 2 Nährgarschalen der beiden in Tabelle 1 aufgeführten Nährmedien beimpft. Rückstellproben der Abfalleluate wurden bei -70 °C zwischengelagert.

Nach Abschluss der Bebrütung wurden Kulturschalen mit auswertbaren Koloniezahlen (Grenzverdünnungen, vergl. Abbildung 4) ausgewählt und die Anzahlen der Kolonie-bildenden Einheiten (KBE) ermittelt. Unter Berücksichtigung der Einwaagen an Bioabfällen und der Volumina an Elutionsmedien wurden die Anzahlen an Kolonie-bildenden Einheiten pro Gramm Bioabfall-Frischmasse bestimmt.

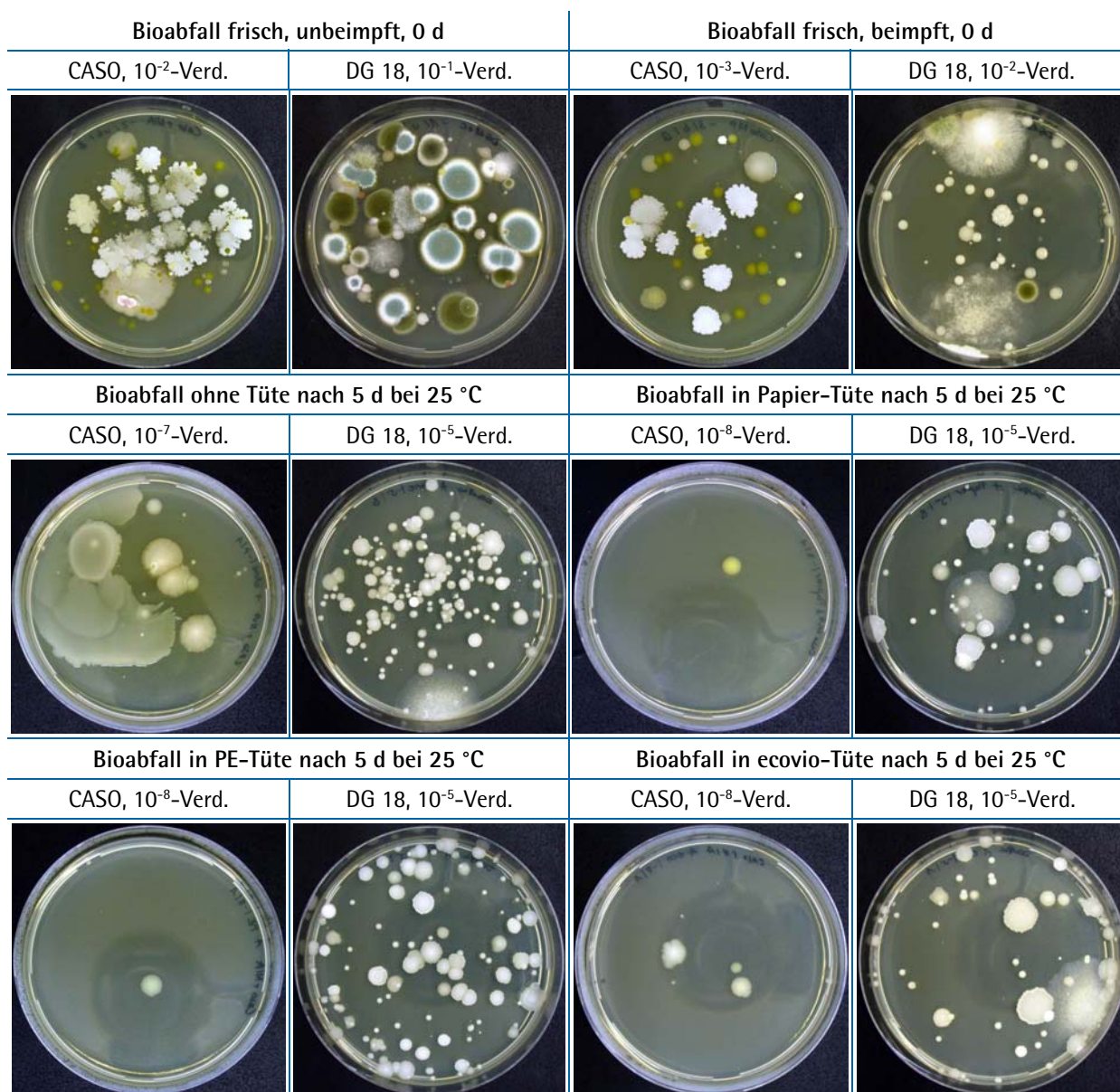


Abbildung 4: Koloniebilder auf Grenzverdünnungen mit auswertbaren Koloniezahlen

Hinweis: Platten mit wenigen Kolonien waren die einzigen, die nicht völlig überwachsen waren.

Die Koloniebilder zeigen, dass in den Bioabfällen ein breites Spektrum an Bakterien, Hefen und Schimmelpilzen vorhanden waren. Die 5 d bei 25 °C gelagerten Bioabfälle mussten aufgrund der massiv erhöhten Keimzahlen um Faktor 1.000 (Pilze) bzw. um Faktor 10.000 bis 100.000 stärker verdünnt werden, bevor auf den Kulturschalen auswertbare, einzeln stehende Kolonien der Bakterien und Pilze vorlagen. Hierbei ist auffällig, dass auf den DG 18-Medien Hefen häufiger zu finden waren als Schimmelpilze. Offenbar fördern die hohen Gehalte an biologisch leicht verwertbaren Bestandteilen im frischen Bioabfall besonders das Wachstum von Bakterien und Hefen. Bei Untersuchungen von ausgereiften Komposten dominieren dagegen meist die Schimmelpilze gegenüber den Hefen.

Tabelle 3: Resultate der Lebendkeimzahlen an Bakterien auf CASO-Agar bei 37 °C

Bioabfall	LKZ A pro g FS	LKZ B pro g FS	LKZ MW pro g FS	LKZ MW Gesamt-Bioabfall
Unbeimpft, 0 d	$5,8 \times 10^4$	$8,3 \times 10^4$	$7,1 \times 10^4$	$1,9 \times 10^8$
Beimpft, 0 d	$3,1 \times 10^5$	$3,9 \times 10^5$	$3,5 \times 10^5$	$9,6 \times 10^8$
Ohne Tüte, 5 d	$9,8 \times 10^8$	$1,0 \times 10^9$	$9,9 \times 10^8$	$2,5 \times 10^{12}$
Papier-Tüte, 5 d	$1,3 \times 10^9$	$9,5 \times 10^8$	$1,1 \times 10^9$	$2,8 \times 10^{12}$
PE-Tüte, 5 d	$3,7 \times 10^8$	$5,9 \times 10^8$	$4,8 \times 10^8$	$1,2 \times 10^{12}$
ecovio-Tüte, 5 d	$6,5 \times 10^8$	$4,9 \times 10^8$	$5,7 \times 10^8$	$1,4 \times 10^{12}$

Tabelle 4: Resultate der Lebendkeimzahlen an Pilzen auf DG 18-Agar bei 25 °C

Bioabfall	LKZ A pro g FS	LKZ B pro g FS	LKZ MW pro g FS	LKZ MW Gesamt-Bioabfall
Unbeimpft, 0 d	$7,4 \times 10^3$	$6,9 \times 10^3$	$7,2 \times 10^3$	$2,0 \times 10^7$
Beimpft, 0 d	$3,4 \times 10^4$	$4,0 \times 10^4$	$3,7 \times 10^4$	$1,0 \times 10^8$
Ohne Tüte, 5 d	$1,3 \times 10^8$	$1,6 \times 10^8$	$1,4 \times 10^8$	$3,6 \times 10^{11}$
Papier-Tüte, 5 d	$1,0 \times 10^8$	$8,1 \times 10^7$	$9,1 \times 10^7$	$2,3 \times 10^{11}$
PE-Tüte, 5 d	$8,5 \times 10^7$	$8,1 \times 10^7$	$8,3 \times 10^7$	$2,1 \times 10^{11}$
ecovio-Tüte, 5 d	$1,2 \times 10^8$	$7,6 \times 10^7$	$9,6 \times 10^7$	$2,4 \times 10^{11}$

In Tabelle 3 und Tabelle 4 sind die Ergebnisse der quantitativen Auswertungen für die untersuchten Bioabfälle zusammengestellt. In Abbildung 5 sind die Mittelwerte grafisch dargestellt. Die frisch hergestellten Bioabfälle enthielten pro Gramm $7,1 \times 10^4$ Kolonie-bildende Einheiten (KBE) an Bakterien und $7,2 \times 10^3$ KBE an Pilzen. Durch die Beimpfung erhöhten sich die Ausgangsgehalte nur um jeweils Faktor 5.

Die 5 d bei 25 °C gelagerten Bioabfälle enthielten $5,7 \times 10^8$ – $1,1 \times 10^9$ KBE an Bakterien bzw. $8,3 \times 10^7$ – $1,4 \times 10^8$ KBE Pilze pro Gramm. Diese Ergebnisse belegen die Ausgangshypothese, dass Bioabfälle bereits während der wenige Tage dauernden Lagerung im Haushalt stark erhöhte, hygienisch bedenkliche Keimgehalte entwickeln.

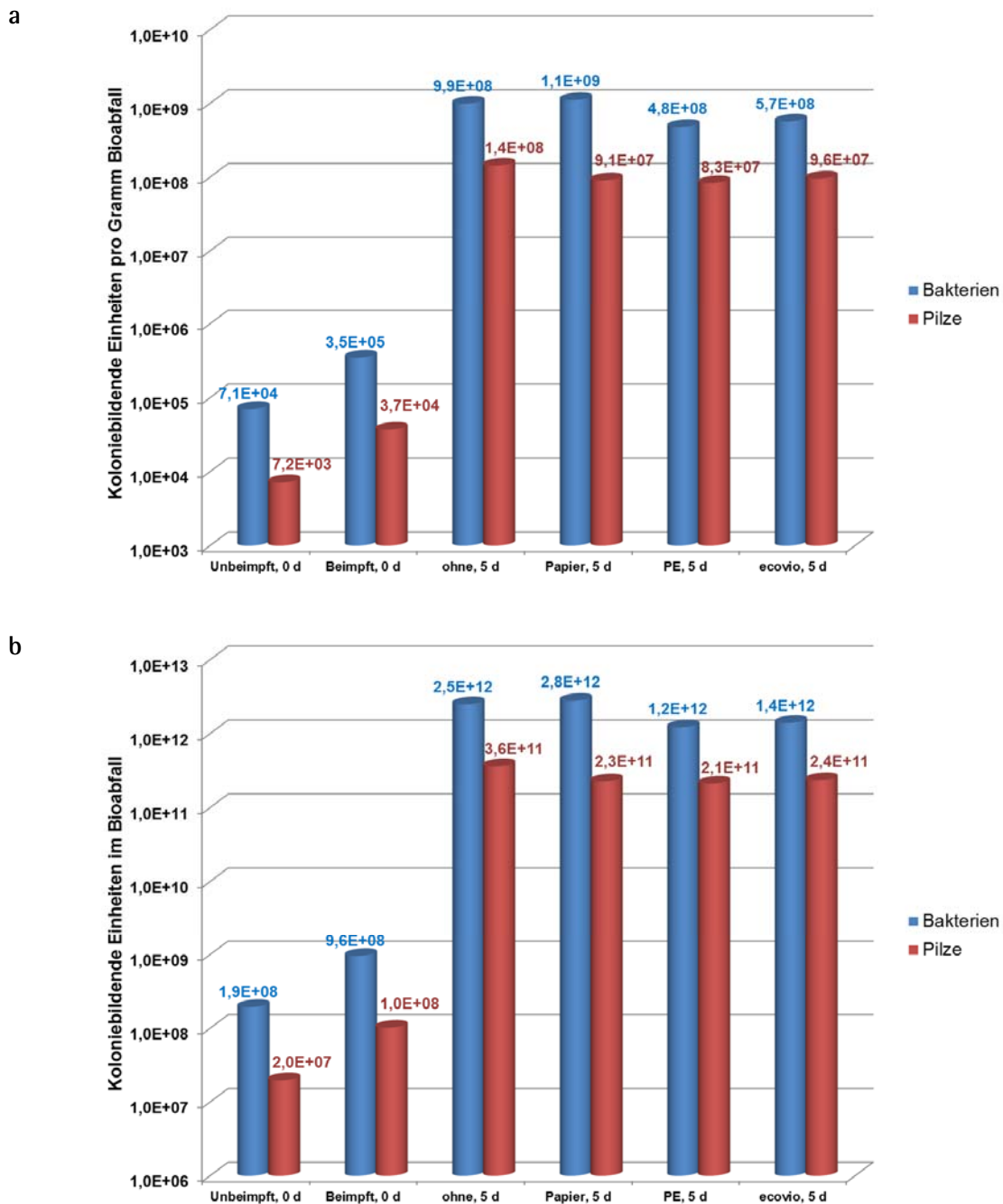


Abbildung 5: Resultate der Lebendkeimzahl-Bestimmungen bezogen auf ein Gramm Bioabfall (a) bzw. den Gesamt-Bioabfall (b)

Die insgesamt in den Füllungen der Bioabfallbehälter vorhandenen Zahlen an vermehrungsfähigen Bakterien und Pilzen wurden zusätzlich berechnet. Die Daten dienen in erster Linie für die Auswertung jener Keimzahlen, die auf den jeweiligen Kontaktflächen der Bioabfallbehälter bzw. Bioabfalltüten bestimmt wurden (s. 2.1.6). Bezogen auf die anfangs in den beimpften, frischen Bioabfällen vorhande-

nen Anzahlen an Keimen enthielten die 5 d bei 25 °C gelagerten Bioabfälle um Faktor 1.268 bis 2.902 erhöhte Anzahlen an Bakterien und um Faktor 2.065 bis 3.552 erhöhte Anzahlen an Pilzen.

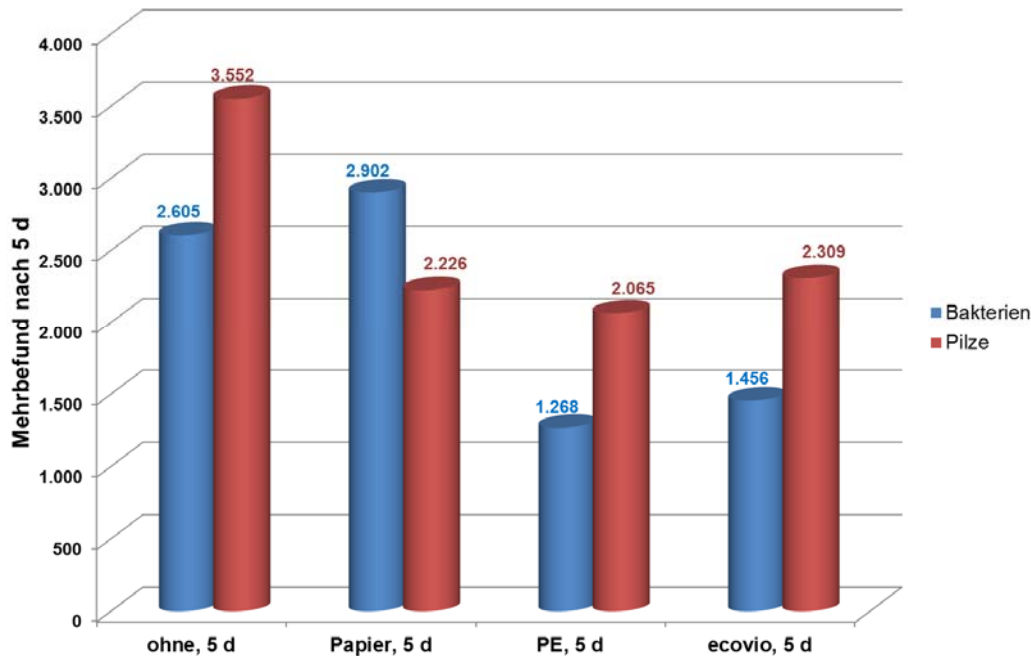


Abbildung 6: Mehrbefunde der Lebendkeimzahlen von 5 Tage bei 25 °C gelagerten Bioabfällen im Vergleich zum Ausgangswert (Bioabfall beimpft); (berechnet aus Daten für die jeweilige Gesamtabfallmengen)

2.1.6 Lebendkeimzahlen von Oberflächen mit Bioabfall-Kontakt

Neue Bioabfall-Tüten sowie eine neue Abfallbox, in der Bioabfälle ohne Tüten gelagert werden sollten, sind hinsichtlich der Ausgangskeimgehalte untersucht worden. In die Abfallbox wurden 100 mL sterile, 0,01-molare Natriumpyrophosphat-Lösung (pH 7,0) gefüllt; anschließend wurde die Box verschlossen und durch intensives Schütteln wurden sämtliche inneren Oberflächen benetzt. Die Öffnung der Bioabfalltüten wurde mehrfach gefalzt und anschließend wurde der Falz geheftet. Die Tüten wurden mit 100 mL steriler, 0,01-molare Natriumpyrophosphat-Lösung (pH 7,0) in neue PP-Kunststoffbeutel (Autoklavierbeutel) gegeben. Der PP-Kunststoffbeutel wurde verschlossen kräftig geschüttelt, damit die Oberflächen der zu untersuchenden Beutel benetzt und vorhandene Keime in die Elutionsflüssigkeit eingetragen wurden. Die Eluate wurden für Lebendkeimzahlbestimmungen mit den in Tabelle 1 aufgeführten Nährmedien genutzt.

Um auch niedrige Ausgangsgehalte erfassen zu können, sind 10 mL der Eluate auf sterilen Membranfiltern abgeschieden und die Filter anschließend auf den Agaroberflächen abgelegt worden. Trotz dieser starken Anreicherung wurden maximal 1 bzw. 2 Kolonie-bildende Einheiten an Bakterien auf den Filtern gefunden. Auf DG 18-Agar aufgelegte Filter blieben unbewachsen. Deshalb wurde für die untersuchten Oberflächen der Abfallbox und der Bioabfalltüten eine Ausgangsverkeimung von < 15 Koloniebildende Einheiten bezogen auf die jeweilige Gesamtoberfläche⁷ abgeleitet. Damit waren auf den Oberflächen rechnerisch weniger als 0,003 bis 0,006 KBE/cm² an Bakterien und Pilzen vorhanden.

⁷ Abfallbox: ~ 2.500 cm²; Papier-Tüte: ~ 2.500 cm²; PE-Tüte: ~ 5.400 cm²; ecovio-Tüte: ~ 4.000 cm²

Abbildung 7 bis Abbildung 11 enthalten die Fotodokumentationen der 5 d bei 25 °C gelagerten Bioabfall-Behälter. Die Zusammenstellungen enthalten zudem ergänzende Hinweise auf besondere Beobachtungen.



Intensiver Geruch.

Bioabfall hat innerhalb von 5 Tagen stark Struktur verloren und war deutlich verdichtet. Im Bodenbereich hatte er fast eine breiige Konsistenz. Auf der Oberfläche waren vereinzelt Schimmelpilze sichtbar.

Nach der Entleerung blieben geringe Mengen Bioabfall auf der inneren Oberfläche zurück. Vor dem nächsten Einsatz wäre somit eine Reinigung der Innenflächen notwendig.

Abbildung 7: Fotodokumentation des ohne Tüten 5 d bei 25 °C gelagerten Bioabfalls

Nach dem Entleeren der Bioabfälle wies die ohne Tüten genutzte Abfallbox eine intensiv riechende Verschmutzung an den inneren Oberflächen auf. Da diese Verschmutzung vor der weiteren Nutzung zu entfernen war, wurde die innere Oberfläche als mögliche Kontaktfläche eingestuft. In Analogie zur Untersuchung der Ausgangsverkeimung wurden deshalb 100 mL sterile, 0,01-molare Natriumpyrophosphat-Lösung (pH 7,0) in die Abfallbox gefüllt. Die verschlossene Box wurde zum Schutz vor austretendem Spritzwasser in eine PP-Kunststofftüte gegeben. Zur Elution der auf der Innenseite der Abfallbox anhaftenden Keime wurde die Box auf einem Horizontalschüttler intensiv 60 Minuten geschüttelt (s. Abbildung 12).



Intensiver Geruch.

Sehr starker Schimmelbefall auf der Oberfläche; Flüssigkeitsaustritt im Bodenbereich; Papiertüte im Bodenbereich außen bewachsen und Papier völlig aufgeweicht; bereits beim Anheben trat Bioabfall aus.

Für Elution der Kontaktflächen wurden Risse mit Paketklebeband verklebt, doch das Papier löste sich teilweise auf.

Handhabung problematischer als bei Sammlung ohne Tüten.

Abbildung 8: Fotodokumentation des in Papier-Tüten 5 d bei 25 °C gelagerten Bioabfalls

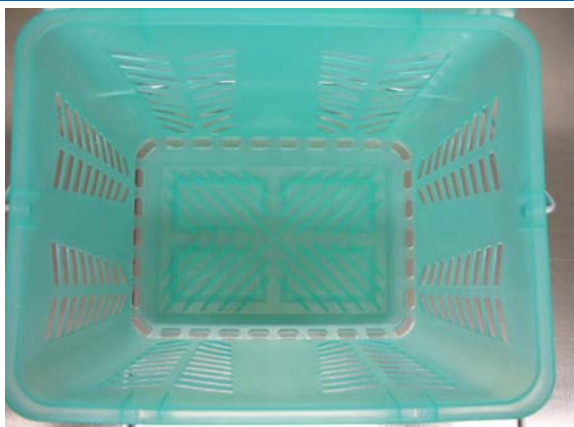
Die mit Bioabfällen gefüllte Papier-Tüte zeigte nach der Lagerung über 5 d bei 25 °C an den Seitenflächen keine erkennbare Durchnässung. Beim Anheben der Tüte wurde allerdings ein massiver mikrobieller Bewuchs auf der Außenfläche des Tütenbodens entdeckt. Es war zudem bräunlich verfärbte Flüssigkeit ausgetreten und hatte den Bodenbereich des Abfallbehälters verunreinigt. Bei einem Vorversuch war eine Papiertüte nach 10 Tagen Lagerung in Reinstwasser noch strukturstabil (Abbildung 9). Die mit Bioabfall befüllte Papiertüte war im Bodenbereich jedoch bereits sehr instabil. Beim Entleeren des Bioabfalls riss der Bodenbereich ein und musste für die anschließende Elution der Außenflächen mit einem Klebeband stabilisiert werden. In Analogie zur Vorgehensweise bei der Bestimmung der Ausgangsverkeimung wurde die Tütenöffnung wiederum mehrfach gefalzt und der Falz geheftet. Anschließend wurde die Tüte mit 100 mL steriler, 0,01-molare Natriumpyrophosphat-Lösung (pH 7,0) in eine neue PP-Tüte gegeben. Die verschlossene PP-Tüte wurde liegend auf einem Horizontalschüttler 60 Minuten geschüttelt.



In einem Vorversuch wurde die Nass-Stabilität der Bioabfallsammeltüte aus Papier überprüft. Nach einer Lagerung über 10 Tage in Leitungswasser war sie zwar durchweicht, aber noch immer intakt.

Die 5 Tage mit Bioabfall gefüllte Tüte war im Bodenbereich aufgeweicht und instabil. Die Oberfläche war von einem weißen Belag aus Mikroorganismen überzogen. Dementsprechend war das Eluat der äußeren Tütenoberfläche massiv getrübt.

Abbildung 9: Foto einer 10 Tage in Leitungswasser gelagerten Bioabfalltüte aus Papier (links) und einer 5 Tage mit Bioabfallfüllung gelagerten Bioabfalltüte aus Papier (rechts)



Intensiver Geruch.

Starker Schimmelbewuchs auf der Oberfläche. Tüte dicht und außen trocken. Der Sammelbehälter war unverschmutzt.

Abbildung 10: Fotodokumentation des in PE-Tüten 5 d bei 25 °C gelagerten Bioabfalls



Intensiver Geruch.

Starker Schimmelbewuchs auf der Oberfläche. Tüte dicht und außen trocken. Der Sammelbehälter war unverschmutzt.

Abbildung 11: Fotodokumentation des in ecovio-Tüten 5 d bei 25 °C gelagerten Bioabfalls

Nach 5 d bei 25 °C waren die PE-Tüte und die ecovio-Tüte auf den Außenflächen unverschmutzt und trocken. Im Abfallsammelgefäß war kein Austritt von Bioabfallflüssigkeit vorhanden. In Analogie zur Ermittlung der Ausgangsverkeimung wurden die Öffnungen der Tüten nach dem Entleeren gefalzt und der Falz geheftet. Die Bioabfalltüten wurden mit 100 mL steriler, 0,01-molare Natriumpyrophosphat-Lösung (pH 7,0) in eine neue PP-Tüte gegeben. Die verschlossene PP-Tüte wurde liegend auf einem Horizontalschüttler 60 Minuten geschüttelt.



Elution Tüten: Tüten wurden verschlossen mit 100 mL Elutionsmedium in neuen PP-Tüten liegend 60 Minuten geschüttelt.

Elution Box: Elutionsmedium wurde in die Box gefüllt und innere Kontaktflächen eluiert

Abbildung 12: Fotodokumentation der Oberflächenelution

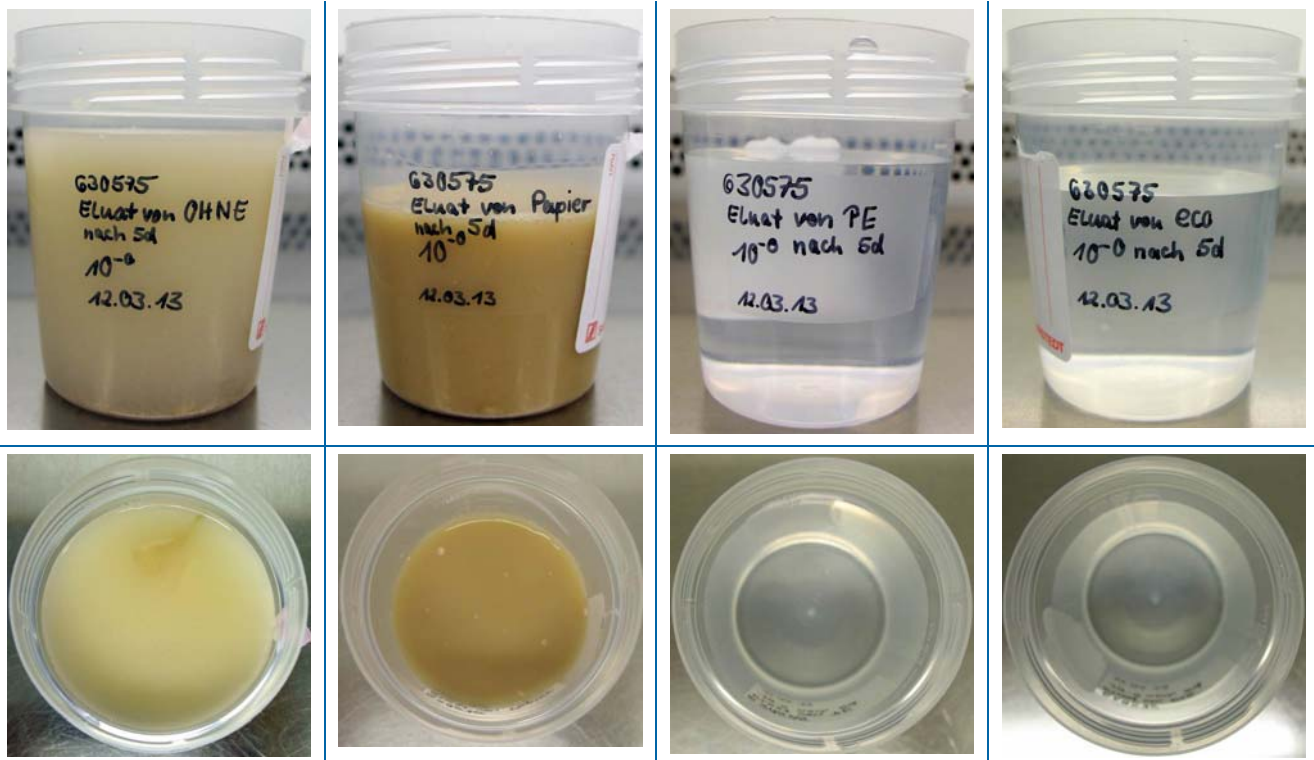


Abbildung 13: Fotodokumentation der Kontaktflächen-Eluate

Die Eluate der Innenfläche der Abfallbox und der Außenfläche der Papiertüte waren intensiv getrübt und gelb-bräunlich verfärbt. Die Eluate der Außenflächen der PE-Tüte und der ecovio-Tüte waren ungetrübt und nicht verfärbt (Abbildung 13).

Tabelle 5: Lebendkeimzahlen an Bakterien für die Eluate der untersuchten Oberflächen

Bioabfall	LKZ A im Eluat	LKZ B im Eluat	LKZ MW im Eluat	LKZ MW* pro cm ²
Ohne Tüte, 5 d	$9,8 \times 10^9$	$8,9 \times 10^9$	$9,3 \times 10^9$	$3,7 \times 10^6$
Papier-Tüte, 5 d	$2,1 \times 10^{11}$	$4,0 \times 10^{11}$	$3,1 \times 10^{11}$	$1,2 \times 10^8$
PE-Tüte, 5 d	$1,3 \times 10^7$	$1,3 \times 10^7$	$1,3 \times 10^7$	$2,4 \times 10^3$
ecovio-Tüte, 5 d	$1,1 \times 10^6$	$6,9 \times 10^5$	$8,8 \times 10^5$	$2,2 \times 10^2$

* berechnet aus den Keimgehalten der Eluate und den eluierten Flächen

Tabelle 6: Lebendkeimzahlen an Pilzen für die Eluate der untersuchten Oberflächen

Bioabfall	LKZ A im Eluat	LKZ B im Eluat	LKZ MW im Eluat	LKZ MW* pro cm ²
Ohne Tüte, 5 d	$2,5 \times 10^9$	$2,9 \times 10^9$	$2,7 \times 10^9$	$1,1 \times 10^6$
Papier-Tüte, 5 d	$2,5 \times 10^{10}$	$2,4 \times 10^{10}$	$2,4 \times 10^{10}$	$9,7 \times 10^6$
PE-Tüte, 5 d	$7,3 \times 10^5$	$8,8 \times 10^5$	$8,0 \times 10^5$	$1,5 \times 10^2$
ecovio-Tüte, 5 d	$1,1 \times 10^5$	$1,0 \times 10^5$	$1,0 \times 10^5$	$2,6 \times 10^1$

* berechnet aus den Keimgehalten der Eluate und den eluierten Flächen

Dem optischen Eindruck entsprechend ergaben die Bestimmungen der Lebendkeimzahlen stark erhöhte Befunde für die Eluate des Ansatzes ohne Tüte und des Ansatzes mit Papiertüte (Tabelle 5, Tabelle 6, Abbildung 14).

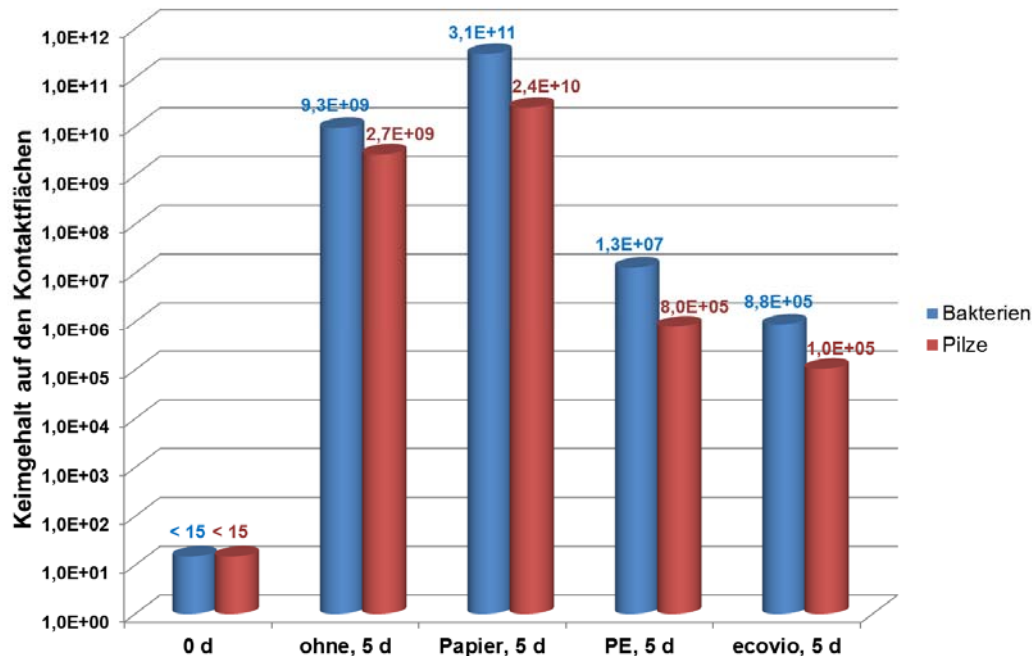


Abbildung 14: Resultate der Lebendkeimzahl-Bestimmungen für die Eluate der Kontaktflächen

Vor der Nutzung wiesen die untersuchten Oberflächen lediglich Lebendkeimzahlen unterhalb der Nachweisgrenze von 15 Kolonie-bildenden Einheiten (KBE) auf. Nach der Nutzung wurden auf der Innenfläche der Abfallbox ohne Tüte $9,3 \times 10^9$ KBE an Bakterien und $2,7 \times 10^9$ KBE an Pilzen erfasst. Die Nutzung erhöhte die mikrobielle Verschmutzung somit um mehr als Faktor $6,2 \times 10^8$ (Bakterien) bzw. $1,8 \times 10^8$ (Pilze). Bezogen auf einen Quadratzentimeter der untersuchten Oberfläche wurden $3,7 \times 10^6$ KBE an Bakterien und $1,1 \times 10^6$ KBE an Pilzen gefunden.

Bei der Papiertüte wurden nach der Nutzung auf den Oberflächen noch höhere mikrobielle Verunreinigungen ermittelt: Insgesamt wurden $3,1 \times 10^{11}$ KBE Bakterien und $2,4 \times 10^{10}$ KBE Pilze ermittelt. Durch die Nutzung erhöhte sich die mikrobielle Verschmutzung somit um mehr als Faktor $2,0 \times 10^{10}$ (Bakterien) bzw. $1,6 \times 10^9$ (Pilze). Bezogen auf einen Quadratzentimeter der untersuchten Oberfläche wurden $1,2 \times 10^8$ KBE an Bakterien und $9,7 \times 10^6$ KBE an Pilzen gefunden (Anmerkung: Der Tütenboden war sichtbar bewachsen und sein Flächenanteil wird eine deutlich höhere Besiedlungsdichte gehabt haben).

Auf den untersuchten Flächen der PE- und der ecovio-Tüten wurden nur gering erhöhte Gehalte an vermehrungsfähigen Bakterien und Pilzen gefunden. Die Oberfläche der PE-Tüte wies nach der Nutzung $1,3 \times 10^7$ KBE an Bakterien und $8,0 \times 10^5$ KBE an Pilzen auf. Durch die Nutzung erhöhte sich die mikrobielle Verschmutzung der Außenfläche der PE-Tüte damit zwar um mehr als Faktor $8,7 \times 10^5$ (Bakterien) bzw. $5,4 \times 10^4$ (Pilze). Auf der PE-Tütenoberfläche wurden jedoch nur $2,4 \times 10^3$ KBE Bakte-

rien und $1,5 \times 10^2$ KBE Pilze pro cm^2 erfasst. Diese Werte sind niedriger als die auf normalen Handoberflächen vorhandene Keimzahl⁸ von $> 10^4/\text{cm}^2$ (Abbildung 15).

Die Oberfläche der ecovio-Tüte wies nach der Nutzung die geringste mikrobielle Beladung auf: Es wurden $8,8 \times 10^5$ KBE an Bakterien und $1,0 \times 10^5$ KBE an Pilzen erfasst. Durch die Nutzung erhöhte sich die mikrobielle Verschmutzung der Außenfläche der ecovio-Tüte damit zwar um mehr als Faktor $5,9 \times 10^4$ (Bakterien) bzw. $7,0 \times 10^3$ (Pilze). Auf der ecovio-Tütenoberfläche wurden jedoch nur $2,2 \times 10^2$ KBE Bakterien und $2,6 \times 10^1$ KBE Pilze pro cm^2 erfasst. Diese Werte sind deutlich niedriger als die auf normalen Handoberflächen vorhandene Keimzahl⁸ von $> 10^4/\text{cm}^2$.

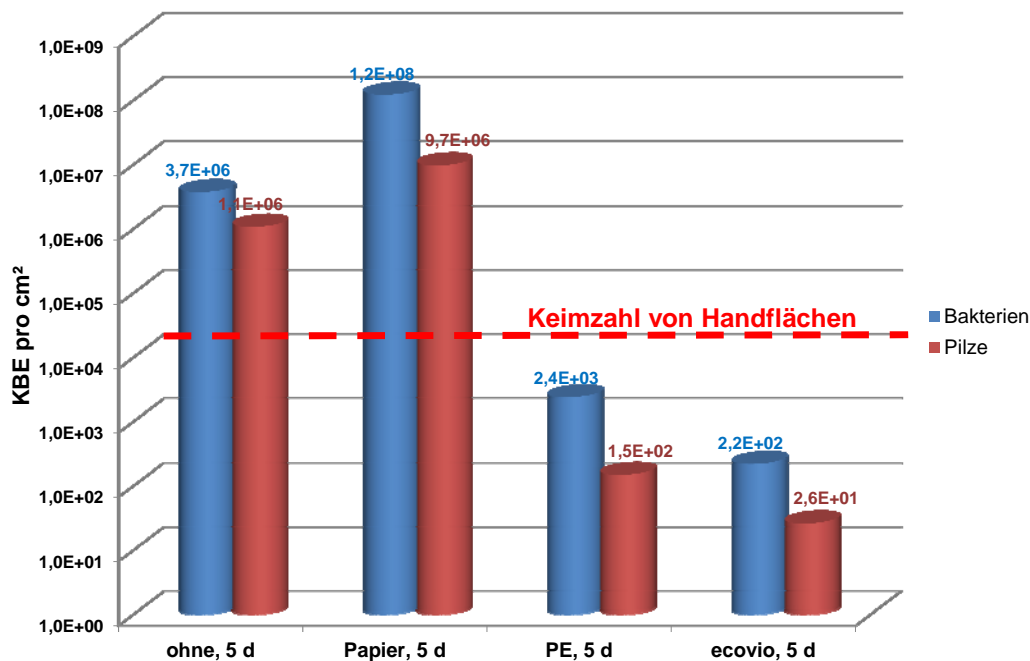


Abbildung 15: Resultate der Lebendkeimzahl-Bestimmungen für Kontaktflächen

Ein weiterer Vergleich verdeutlicht, dass die Nutzung von hinreichend beständigen Tütenmaterialien den Kontakt zu den in den Bioabfällen entstandenen hohen Keimgehalten sehr stark einschränken kann (Tabelle 7). Hierzu wurden die Keimgehalte der untersuchten Kontaktflächen in Relation zu den Keimgehalten der 5 Tage gelagerten Bioabfälle betrachtet. Die auf den PE-Tüten gefundenen Anzahlen an vermehrungsfähigen Bakterien und Pilzen repräsentieren nur 0,0011 bzw. 0,0004 % der im Bioabfall vorhandenen Bakterien und Pilze. Noch ausgeprägter war die Rückhaltewirkung bei der ecovio-Tüte: Die auf der Tütenoberfläche gefundenen Anzahlen an vermehrungsfähigen Bakterien und Pilzen repräsentieren nur 0,00006 bzw. 0,00004 % der im Bioabfall vorhandenen Bakterien und Pilze.

⁸ Spradlin, C. T. (1980): Bacterial abundance on hands and its implications for clinical trials of surgical scrubs. In: Journal of Clinical Microbiology 11 (4), S. 389–393.

Tabelle 7: Anteil der auf den Kontaktflächen vorhandenen Keime in Relation zum Gesamtkeimgehalte des Bioabfalls

	Ohne Tüten	Papier-Tüte	PE-Tüte	ecovio-Tüte
LKZ _{Bakterien}	0,37 %	10,9 %	0,0011 %	0,00006 %
LKZ _{Pilze}	0,74 %	10,7 %	0,0004 %	0,00004 %

2.2 Vergleichende Untersuchung zum Hygienestatus bei der Bioabfallsammlung in Biotonnen

2.2.1 Untersuchungsgang

Ergänzend zu den unter 2.1 beschriebenen Untersuchungen wurde überprüft, ob sich die Art der Bioabfallsammlung im Haushalt auf die Luftkeimbelastung während des Einwurfs in die kommunalen Bioabfallbehälter auswirkt. Untersucht wurden die Sammelvarianten in der Abfallbox ohne Tüte und die Bioabfallsammlung mit ecovio-Tüte. Es wurde auf eine zusätzliche Animpfung der Bioabfälle verzichtet, da sich bereits bei den 7-tägigen Standzeiten sehr hohe Keimgehalte in den Bioabfallsammelbehältern einstellen.

Über einen Zeitraum von 14 Tagen wurden arbeitstäglich frische Bioabfälle (vergl. Tabelle 2) hergestellt und zunächst für 7 Tage in je 2 Haushaltssammelbehältern bei 25 °C vorinkubiert, damit die typische Ausgangsverkeimung der Abfälle vorhanden war.



Abbildung 16: 7 Tage bei 25 °C in ecovio-Tüten (links) bzw. ohne Tüten gelagerte Bioabfälle

Je 2 in Abfallboxen ohne Tüte und 2 in ecovio-Tüten gesammelte und vorinkubierte Bioabfall-Chargen wurden arbeitstäglich in saubere 120 – Liter-Biotonnen eingeworfen (Abbildung 17). Die Biotonnen wurden bei 20 °C aufgestellt; diese Temperatur liegt im Bereich der mittleren Sommertemperatur in Deutschland.



Abbildung 17: In ecovio-Tüten (links) bzw. ohne Tüten gelagerte Bioabfälle nach dem Einwurf in die Biotonnen

Nach einer Sammelzeit von 7 und 14 Tagen wurden vergleichende Messungen der Luftkeimbelastungen beim Einwurf der Bioabfalltüten durchgeführt.

An jedem Probenahme-Standort wurden zeitparallel zwei Luftkeimproben gewonnen. Insgesamt wurden an beiden Probenahmetagen folgende Probenahmen durchgeführt:

- **Hintergrundkonzentration** der Raumluf: 2 Filter
- Biotonne mit Bioabfällen in ecovio-Tüten vor dem Einwurf: 2 Filter
- Biotonne mit Bioabfällen in ecovio-Tüten nach dem Einwurf: 2 Filter
- Biotonne mit Bioabfällen ohne Tüten vor dem Einwurf: 2 Filter
- Biotonne mit Bioabfällen ohne Tüten nach dem Einwurf: 2 Filter

Die Luftkeimsammler wurden in Höhe des Tonnendeckels positioniert. Vor der Öffnung der Biotonnen wurden Hintergrundwerte bestimmt. Danach wurde zunächst die mit ecovio-Beuteln gefüllte Biotonne geöffnet und sofort die Luftkeimprobenahme durchgeführt. Damit wurde der Luftkeimgehalt ohne Aufwirbelung durch den Einwurf erfasst. Anschließend wurden die beiden ecovio-Bioabfall-Tüten eingeworfen und die Biotonne wurde mit geschlossenem Deckel mehrfach einige Zentimeter angehoben und fallen gelassen. Durch die Turbulenzen sollte eine Situation geschaffen werden, wie sie eine Person vorfindet, die kurze Zeit nach dem ersten Einwurf (oder dem Biotonnentransport) die Biotonne öffnet. Direkt anschließend wurde der Biotonnendeckel geöffnet und erneut eine Luftkeimprobenahme durchgeführt. Im Anschluss wurde die Biotonne mit den ohne Tüten gesammelten Bioabfällen bearbeitet.



Abbildung 18: Fotodokumentation der Luftkeimprobenahme

Die Kenndaten der Luftkeimsammlung sind in Abbildung 19 zusammengefasst. Mit Hilfe des Luftkeimsammlers MD8 der Firma Sartorius wurden innerhalb von 10 Minuten 1.000 Liter Luft abgesaugt und die in der Luft vorhandenen Bioaerosolbestandteile wurden auf Gelatinefiltern der Firma Sartorius abgeschieden.

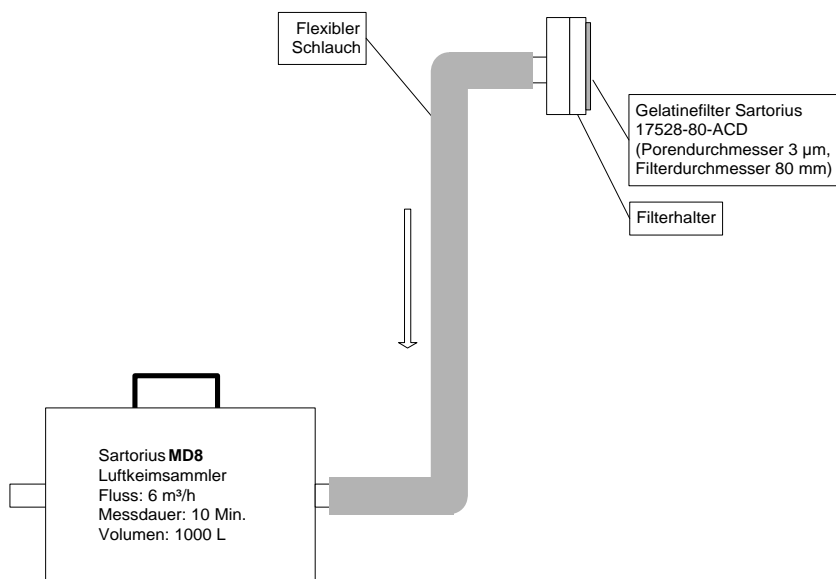


Abbildung 19: Kenndaten der Luftkeimsammlung

Die Filter wurden mit 10 mL steriler NaCl-Lösung versetzt und für 15 Minuten bei 37 °C im Wasserbad inkubiert. Dadurch wird die Gelatine vollständig aufgelöst und die Keime werden quantitativ freigesetzt. Aus der jeweiligen Ursprungssuspension wurde eine serielle, dekadische Verdünnungsreihe angelegt. Aus jeder Verdünnungsstufe wurden 100 µL-Aliquote auf 2 CASO-Agarplatten zur Bestimmung der Bakterienkeimzahl, und auf 2 DG-18-Agarplatten zur Bestimmung mesophiler Schimmelpilze (vergl. Tabelle 1) mit sterilen Drigalski-Spateln ausplattiert. Die Bebrütung der CASO-Platten erfolgte bei 37 °C über 24 h, die der DG-18-Platten bei 25 °C über 72 - 120 h. Da bei einigen Proben mit sehr

niedrigen Luftkeimgehalten zu rechnen war, sind zusätzlich 1 mL-Aliquote der Filtereluate auf CASO- bzw. DG18-Nähragarschalen aufgetragen und unter der Sicherheitswerkbank vorgetrocknet worden.

2.2.2 Untersuchungsergebnisse

Insgesamt sind 20 Bioabfälle ohne Tüten und 20 Bioabfälle in ecovio-Tüten in die jeweilige Biotonne eingeworfen worden. Die über 7 Tage bei 25 °C vorinkubierten Bioabfälle waren bereits stark mikrobiell besiedelt. Durch Strukturverlust waren die Bioabfälle deutlich verdichtet und im Bodenbereich war Flüssigkeit angesammelt. Bei vier der 20 in ecovio-Beuteln gesammelten Bioabfälle wurde ein Flüssigkeitsaustritt aus dem Beutel beobachtet. Dadurch war der Bodenbereich des Sammelgefäßes verunreinigt worden. Die ecovio-Beutel waren optisch jedoch unbeschädigt. Offenbar ist die Flüssigkeit durch undichte Nähte oder winzige Löcher in der Folie ausgetreten. Bei 16 der 20 Bioabfallsammlungen war das mit ecovio-Beuteln genutzte Sammelgefäß jedoch nicht verschmutzt. Dagegen waren alle 20 ohne Tüten genutzten Abfallboxen nach dem Entleeren durch anhaftende Bioabfälle stark verunreinigt.

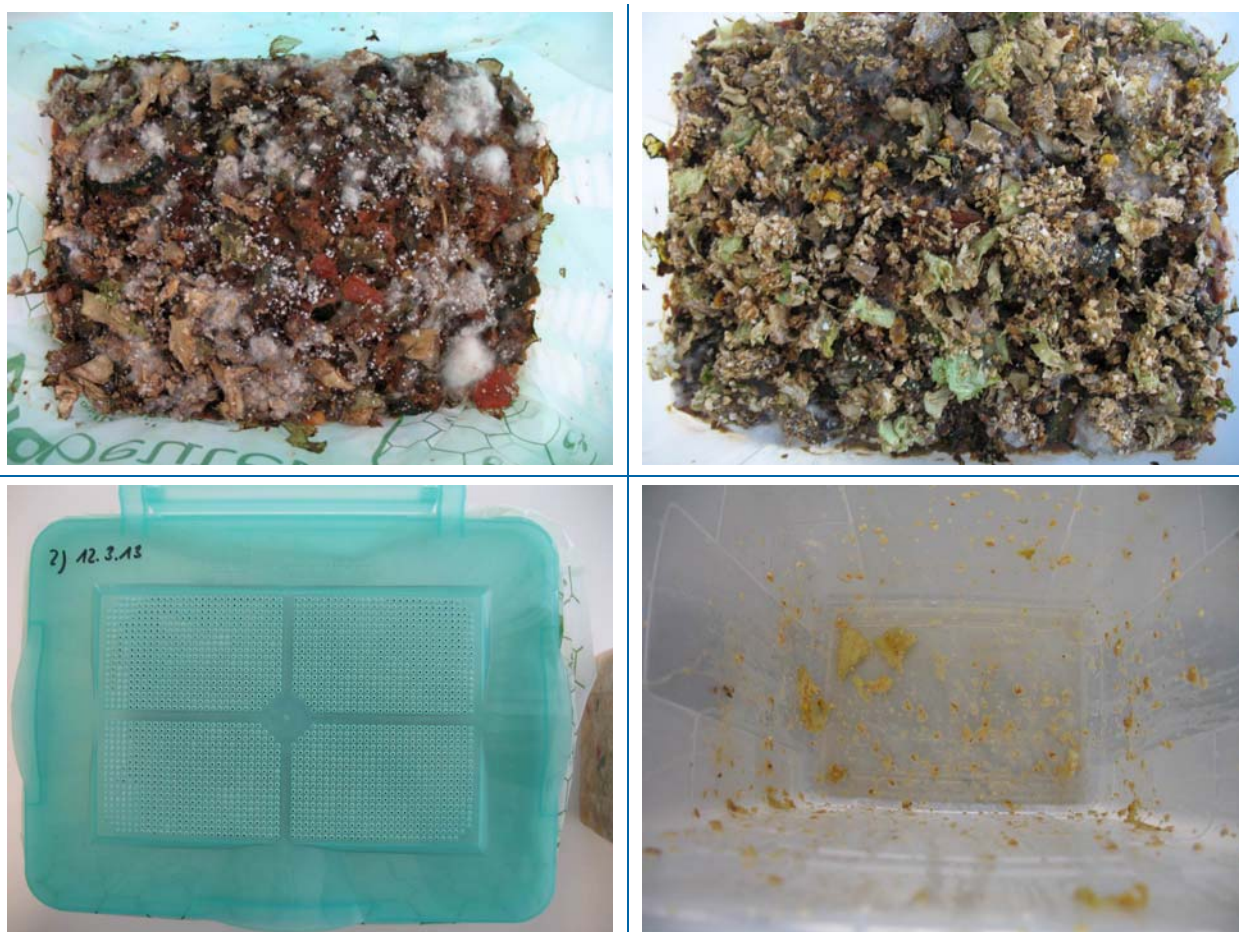


Abbildung 20: Fotodokumentation der 7 d bei 25 °C vorinkubierten Bioabfälle und der entleerten Sammelgefäße

In Tabelle 8 und Tabelle 9 sind Fotos jener Kulturschalen zusammengestellt, die mit einem Milliliter der Filter-Suspensionen beimpft worden sind. Dabei sind die aus 0,1 m³ Luft abgeschiedenen Mikroorganismen auf die Kulturschalen geimpft worden. Der optische Vergleich zeigt, dass sowohl nach einer Standzeit von 7 Tagen als auch nach 14 Tagen nur sehr geringe Luftkeimgehalte vor dem Einwurf der Bioabfälle ermittelt wurden. Die Werte unterschieden sich nicht wesentlich von den sehr niedrigen

Ausgangswerten (Hintergrund). Dieser Befund ist plausibel: Die Bioabfälle waren sehr feucht und hatten eine fast breiartige Konsistenz. Dadurch waren die Staubentwicklung und die damit verbundene Anreicherung luftgetragener Keime nur gering ausgeprägt.

Erst nach dem Einwurf der Bioabfälle – jeweils mit mechanischer Erschütterung der Biotonne – waren erhöhte Luftkeimgehalte nachweisbar. Die Fotos der Kolonienbilder und die quantitativen Auswertungen in Tabelle 10 zeigen deutlich, dass beim Einwurf der in ecovio-Tüten verpackten Bioabfälle nur eine gering ausgeprägte Anreicherung luftgetragener Keime beobachtet wurde. Es wurden 578 bzw. 238 KBE/m³ an Bakterien und 210 bzw. 150 KBE/m³ an Pilzen nachgewiesen.

Als Vergleichsbasis steht eine Auswertung des Institutes für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) zur Verfügung. Das IFA hat einen größeren Datenbestand über in der Außenluft vorkommende Gehalte an Bakterien, Pilzen und Endotoxinen ausgewertet und veröffentlicht⁹. Die Außenluftwerte für Bakterien (Mittel: 285 KBE/m³; Min./Max.: 22 – 2.190 KBE/m³; Messwerte: 216) und Endotoxine (Mittel: 6,7 EU/m³; Min./Max.: 0,3 – 77,7 EU/m³; Messwerte: 191) schwankten im Jahresverlauf nur wenig. Die Gehalte der Außenluft an Schimmelpilzen (Mittel: 1.584 KBE/m³; Min./Max.: 96 – 15.200 KBE/m³; Messwerte: 665) erreichten in den Monaten Mai bis Oktober zumeist Werte deutlich über 1.000 KBE/m³; in den kalten Jahreszeiten wurden weniger Schimmelpilze in der Luft beobachtet.

Auf dieser Vergleichsbasis können die beim Einwurf der in ecovio-Tüten verpackten Bioabfälle auftretenden Luftkeimgehalte typischen Außenluftkonzentrationen zugeordnet werden.

Beim Einwurf der ohne Tüten gesammelten Bioabfälle in die Biotonne traten dagegen im Vergleich zu typischer Außenluft als deutlich erhöht einzustufende Luftkeimgehalte auf: Es wurden 26.500 bzw. 11.000 luftgetragene Bakterien und 6.500 bzw. 30.250 luftgetragene Pilze nachgewiesen. Diese Werte sind um Faktor 46 (Bakterien) bzw. um Faktor 31 – 202 (Pilze) höher als die Werte, die beim Einwurf der in ecovio-Beuteln verpackten Bioabfälle beobachtet wurden.

⁹ Kolk, A.; Van Gelder, R.; Schneider, G.; Gabriel, S. (2009): Mikrobiologische Hintergrundwerte in der Außenluft – Auswertungen der BGIA-Expositionsdatenbank MEGA. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 69, 4, 130-136

Tabelle 8: Koloniebilder der mit 1 mL Filtersuspension beimpften Kulturschalen – Luftkeimprobenahme nach 7-tägiger Standzeit der Biotonnen







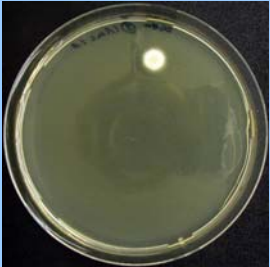
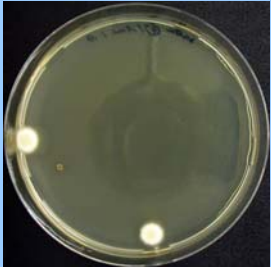



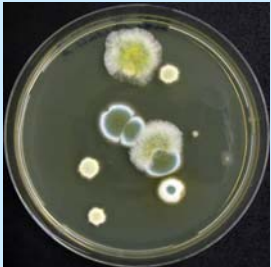
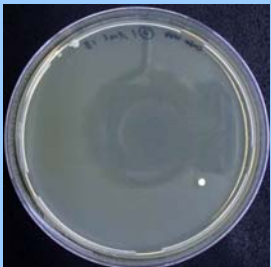
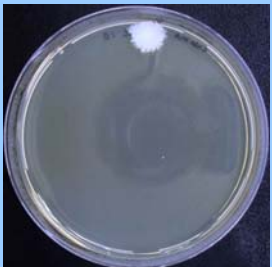
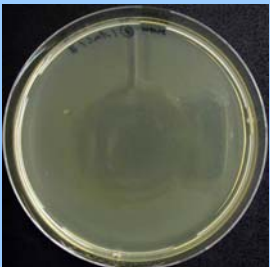




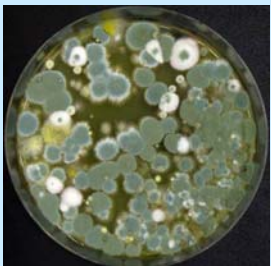
Probe	LKZ Bakterien		LKZ Pilze	
	Filter A	Filter B	Filter A	Filter B
Hintergrund				
ecovio vor dem Einwurf				
ecovio nach dem Einwurf				
Ohne Tüte vor dem Einwurf				
Ohne Tüte nach dem Einwurf				

Tabelle 9: Koloniebilder der mit 1 mL Filtersuspension beimpften Kulturschalen – Luftkeimprobenahme nach 14-tägiger Standzeit der Biotonnen











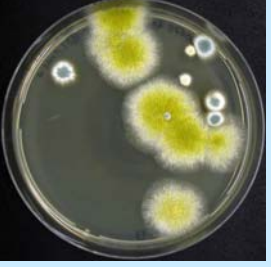
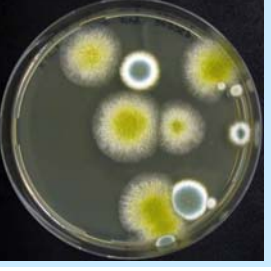


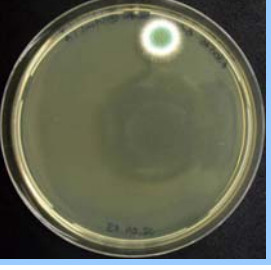



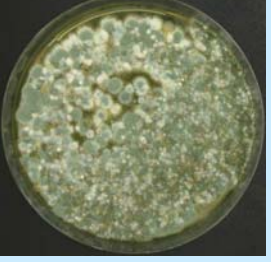
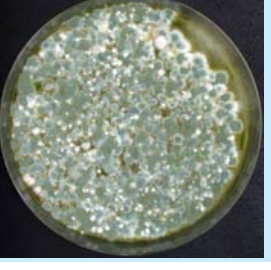
Probe	LKZ Bakterien		LKZ Pilze	
	Filter A	Filter B	Filter A	Filter B
Hintergrund				
ecovio vor dem Einwurf				
ecovio nach dem Einwurf				
Ohne Tüte vor dem Einwurf				
Ohne Tüte nach dem Einwurf				

Tabelle 10: Konzentrationen luftgetragener Bakterien und Pilze

KBE/m ³	LKZ Bakterien			LKZ Pilze		
Hintergrund	Filter A	Filter B	MW	Filter A	Filter B	MW
07 d	< 10	40	< 25	< 10	< 10	< 10
14 d	30	60	45	< 10	60	< 35
ecovio vor Einwurf	Filter A	Filter B	MW	Filter A	Filter B	MW
07 d	< 25	< 10	< 18	< 10	20	< 15
14 d	35	25	30	< 10	< 10	< 10
ecovio nach Einwurf	Filter A	Filter B	MW	Filter A	Filter B	MW
07 d	650	505	578	250	170	210
14 d	355	120	238	170	130	150
ohne Tüte vor Einwurf	Filter A	Filter B	MW	Filter A	Filter B	MW
07 d	< 25	10	< 18	< 15	20	< 18
14 d	25	25	25	< 10	< 15	< 13
ohne Tüte nach Einwurf	Filter A	Filter B	MW	Filter A	Filter B	MW
07 d	36.500	16.500	26.500	9.500	3.500	6.500
14 d	14.500	7.500	11.000	44.500	16.000	30.250

3 Fazit

Das Untersuchungsprogramm deckte zwei hygienische Fragestellungen bei der haushaltsnahen Sammlung von Bioabfällen ab. Zunächst wurde untersucht, wie stark sich Bakterien und Pilze in frischen Bioabfällen während einer bis zu 5 Tage andauernden Lagerung bei Temperaturen von 25 °C vermehren. Vergleichbare Bedingungen liegen in Haushalten bei sommerlicher Witterung vor. Neben der Keimvermehrung in den Bioabfällen wurde die Verkeimung von Oberflächen untersucht, mit denen Nutzer bei der Handhabung der Bioabfälle in Kontakt kommen können. Hierbei wurde die Sammlung der Bioabfälle ohne Abfalltüten mit Sammlungen in Papier-, PE- und ecovio-Biokunststoff-Tüten verglichen. Ergänzend wurde untersucht, ob sich bei der Sammlung der Bioabfälle ohne Tüten bzw. in ecovio-Biokunststoff-Tüten Unterschiede hinsichtlich der Luftkeimbelastung beim Einwurf der in Haushalten gesammelten Bioabfälle in kommunale Biotonnen ergeben.

Die im frischen Bioabfall vorhandenen Bakterien ($3,5 \times 10^5/g$) und Pilze ($3,7 \times 10^4/g$) vermehrten sich innerhalb von 5 Tagen sehr stark. Die Konzentrationen an Bakterien ($5,7 \times 10^8/g$ bis $1,1 \times 10^9/g$) und Pilzen ($8,3 \times 10^7/g$ bis $1,4 \times 10^8/g$) erreichten Größenordnungen (Abbildung 5), die mit den als hygienisch bedenklich eingestufteten Gehalten von Rest- und Bioabfällen bei der Anlieferung in Abfallverwertungsanlagen vergleichbar sind¹⁰. Diese Resultate bestätigen, dass bereits für den Umgang mit den in Haushalten gesammelten Bioabfällen hygienische Vorsorgemaßnahmen beachtet werden sollten. Hierzu gehört in erster Linie die Vermeidung eines direkten Hautkontaktes.

¹⁰ Krist, H.; Hoppenheidt, K.; Mücke W.: Hygiene der Abfallentsorgung im Gesundheitswesen. München, 2005

Werden Bioabfälle im Haushalt in Behältern ohne Tüten gesammelt, müssen die verschmutzten Oberflächen gereinigt werden. Für die untersuchten Oberflächen wurden mit $3,7 \times 10^6$ Bakterien/cm² und $1,1 \times 10^6$ Pilzen/cm² sehr hohe Verkeimungen gefunden (Abbildung 15). Da sich im Bioabfall auch viele humanpathogene Keime vermehren können, sollte ein direkter Hautkontakt aus Gründen des Infektionsschutzes vermieden werden.

Auch bei der untersuchten Sammlung der Bioabfälle in Papiertüten wurden sehr hohe Verkeimungen der Kontaktflächen mit $1,2 \times 10^8$ Bakterien/cm² und $9,7 \times 10^6$ Pilzen/cm² beobachtet. Im Bodenbereich der Papiertüte hatte sich durch austretende Abfallsuspension ein massiver mikrobieller Bewuchs der Außenfläche entwickelt und den Tütenboden destabilisiert. Dadurch waren die Hygienrisiken beim Umgang mit den in Papiertüten gesammelten Bioabfällen noch ungünstiger als bei der Sammlung ohne Tüten.

Bei den in PE- und ecovio-Biokunststoffbeuteln gesammelten Bioabfällen waren auf den äußeren Kontaktflächen nur sehr geringe mikrobielle Verunreinigungen nachweisbar. Auf der Außenfläche der PE-Tüte wurden $2,4 \times 10^3$ Bakterien/cm² und $1,5 \times 10^2$ Pilze/cm² gefunden. Am niedrigsten war die Verkeimung der Außenfläche der ecovio-Biokunststoffbeutel. Es wurden $2,2 \times 10^2$ Bakterien/cm² und $2,6 \times 10^1$ Pilze/cm² gefunden. Diese Werte liegen deutlich unter den Keimgehalten auf der Haut von unverschmutzten Handflächen ($> 10^4$ /cm²).

Die unterschiedliche mikrobielle Verunreinigung der Oberflächen der zum Sammeln von Bioabfällen in Haushalten genutzten Hilfsmittel wirkte sich auch auf die Luftkeimbelastung beim Einwurf der Bioabfälle in 120 L-Biotonnen aus. Verglichen wurden die Luftkeimgehalte im Öffnungsbereich der Biotonnen, in denen über 7 und 14 Tage Bioabfälle gesammelt wurden. In einer Biotonne wurden Bioabfälle eingefüllt, die ohne Tüten gesammelt worden sind. In die zweite Biotonne wurden in ecovio-Biokunststoff-Tüten gesammelte Bioabfälle gefüllt.

Aufgrund der hohen Wassergehalte der Bioabfälle wurde nur eine geringe Staubentwicklung beobachtet. Deshalb wirkte sich das Öffnen der Biotonnen allein nicht auf die Luftkeimgehalte aus. Erst nach dem Einwurf von Bioabfällen und mechanischer Erschütterung der Biotonnen wurden beim erneuten Öffnen der Biotonnen erhöhte Luftkeimgehalte ermittelt.

Die Luft der Biotonne, in die in ecovio-Biokunststoff-Tüten gesammelte Bioabfälle eingeworfen wurden, wies nur leicht erhöhte Luftkeimgehalte auf: Die Werte lagen im mittleren Bereich der Keimgehalte von normaler Außenluft. Die Barrierefunktion der ecovio-Biokunststoff-Tüten hat auch nach der 14-tägigen Lagerung der Bioabfälle in der Biotonne eine massive Freisetzung der in den Beuteln eingeschlossenen Bakterien und Pilze verhindert.

Im Unterschied wurden in der Luft der Biotonne, in der Bioabfälle ohne Tüten gesammelt wurden, nach dem Einwurf und mechanischer Erschütterung deutlich erhöhte Gehalte an Bakterien und Pilzen gefunden. Die Luftkeimgehalte waren um Faktor 46 (Bakterien) bzw. um Faktor 31 – 202 (Pilze) höher als die Werte, die beim Einwurf der in ecovio-Beuteln verpackten Bioabfälle beobachtet wurden.

bifa Umweltinstitut GmbH

Am Mittleren Moos 46

86167 Augsburg

Tel. +49 821 7000-0

Fax. +49 821 7000-100

www.bifa.de