

07.15

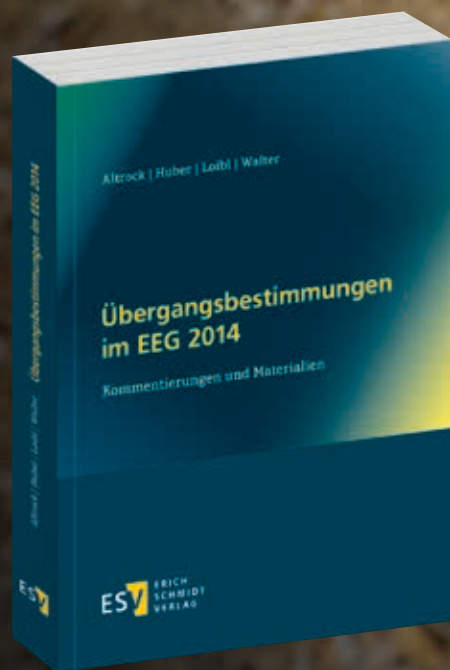
Lizenziert für BASF SE.
Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.

Müll und Abfall

Fachzeitschrift
für Abfall-
und
Ressourcen-
wirtschaft

47. Jahrgang
Juli 2015
Seite 353–416
21001


www.MUELLundABFALL.de



Übergangsbestimmungen im EEG 2014

Komentierungen und Materialien

Von RA Dr. Martin Altrock,
RAin Dr. Andrea Huber,
RA und FA VerwR Dr. Helmut Loibl
sowie RA René Walter, Dipl.-Betr. (BA)

 www.ESV.info/978-3-503-15796-9



Untersuchungen zur Prozessgängigkeit von ecovio®-Bioabfallbeuteln bei der Trockenfermentation

Studies on usability of ecovio®-bio bags for dry fermentation

Dr. Klaus Hoppenheidt und Dr. Dieter Tronecker



Dr. Klaus Hoppenheidt
Mikrobiologe, seit 1992 Wissenschaftler und seit 2006 Projektmanager am bifa Umweltinstitut in Augsburg; Arbeitsschwerpunkte: Umweltbiotechnologie, Umwelttoxikologie und Umwelthygiene

Zusammenfassung

Die in Haushalten anfallenden Küchenabfälle unterliegen einer raschen mikrobiellen Alterung. Der Einsatz von ecovio®-Bioabfallbeuteln bewirkt durch einen Silageeffekt eine Konservierung des Küchenabfalls. Dadurch wird die Abschöpfung des Biogaspotenzials der Ressource Küchenabfall optimiert. Die bei der Erfassung und Sammlung von Bioabfällen erwünschte Barrierefunktion von ecovio®-Beuteln wird im Sammelfahrzeug durch mechanische Einwirkung stark reduziert. Für eine Nutzung des Bioabfalls im Trockenfermenter sollte eine möglichst weitreichende Aufhebung der Barrierefunktion von ecovio®-Beuteln realisiert werden. Erprobungen auf einer Praxisanlage bestätigen, dass die Biogasbildung dann bei einer mesophilen Trockenfermentation nicht negativ beeinflusst wird. Bei der Nachrotte des anfallenden Gärrestes wurden die ecovio®-Beutel innerhalb von 39 Tagen weitreichend desintegriert: Visuell war kein störender Einfluss auf die Qualität des kompostierten Gärrestes durch ecovio®-Beutel erkennbar.

Abstract

Kitchen waste is subject to rapid microbial degradation. The use of ecovio®-bio bags stabilizes kitchen waste by a silage effect. As a result, the yield of the biogas potential of the resource kitchen waste is optimized. The barrier function of ecovio®-bio bags is advantageous during the collection of biowaste; it is greatly reduced by mechanical action in waste collecting trucks. For use of biowaste in a dry fermenter the barrier function of ecovio®-bio bags should be completely destroyed. Tests in a full scale mesophilic dry fermentation unit confirm that the biogas production will not be adversely affected. Post-composting of the resulting digestate fully disintegrates ecovio®-bio bags within 39 days: visually there was no disturbing influence on the quality of composted digestate through ecovio®-bio bags.

1. Einleitung

Die Erfassung der in Haushalten anfallenden Küchenabfälle mit Hilfe von kompostierbaren Beuteln aus dem Biokunststoff ecovio® verbessert die Sauberkeit und reduziert hygienische Risiken in Haushalten und bei der Bioabfallabfuhr [1]. In ecovio®-Beuteln gesammelte Bioabfälle haben sich in zahlreichen großtechnischen Kompostierungsanlagen als gut verwertbar erwiesen, ohne dass negative Einflüsse auf Qualität

und Menge der erfassten Bioabfälle und der erzeugten Komposte auftraten [2, 3].

Die Verwertung von Bioabfällen unterliegt derzeit einem Wandel: Die bislang dominierende Bioabfallkompostierung wird zunehmend durch eine Kombination aus Bioabfallvergärung mit Nachkompostierung ersetzt. Diese Verfahrensänderungen können die Prozessgängigkeit von Bioabfallbeuteln beeinflussen. Die Polymere der ecovio®-Beutel und anderer kompostierbarer Biokunststoffe werden durch aerobe Mikroorganismen rasch angegriffen und abgebaut [4]. Unter den in Vergärungsanlagen vorhandenen anaeroben Bedingungen wird ein weitreichender Bioabbau nur unter besonderen Randbedingungen beobachtet [5–7]. Daher bestand u. a. Klärungsbedarf, ob die anaerobe Stabilität der ecovio®-Beutel den anaeroben Abbau des Bioabfalls beeinflusst. Gärreste haben zudem niedrigere Gehalte biologisch abbaubarer Bestandteile als Bioabfälle. Für die biologische Stabilisierung der Gärreste durch Nachkompostierung werden deutlich kürzere Rottezeiträume genutzt als bei der Bioabfallkompostierung. Deshalb wurde überprüft, ob ecovio®-Bioabfallbeutel bei der Nachkompostierung von Gärrest ausreichend desintegriert werden.

2. Qualität erfasster Bioabfälle

Die in Haushalten anfallenden Küchenabfälle enthalten hohe Anteile leicht mikrobiell abbaubarer Bestandteile. Dieser Anteil erhöht sich weiter, wenn auch gekochte Nahrungsmittelreste als Bioabfall erfasst werden. Bereits während der kurzen Lagerzeiten in den Haushalten entwickeln sich im Küchenabfall sehr hohe Gehalte an Bakterien und Pilzen [1]. Durch deren Stoffwechselaktivität werden die Bioabfälle auch in den Biotonnen stetig weiter abgebaut, sodass die nach ein- bis zweiwöchigen Standzeiten abgeholtene Bioabfälle bereits ein Frischkompost-artiges Aussehen mit intensivem Geruch haben. Im Rahmen eines hygienischen Untersuchungsprogramms war aufgefallen, dass in ecovio®-Bioabfallbeuteln gesammelte Küchenabfälle weniger stark vorgealtert erschienen als gleichartige, ohne Beutel erfasste Abfälle [1]. Deshalb wurde orientierend untersucht, welchen Einfluss ecovio®-Bioabfallbeutel auf die Voralterung von Küchenabfällen im Vergleich zu lose erfasstem Küchenabfall haben.

Zu diesem Zweck wurde ein Küchenabfall mit definierter Zusammensetzung hergestellt¹: Der Küchenabfall bestand zu 75 % aus rohen und zu 25 % aus gekochten Küchenabfällen. Der Anteil pflanzlicher Bestandteile lag bei 95 %. Die Bestandteile wurden auf die in Küchen typischen Stückgrößen zerkleinert. Füllmengen von 2,75 kg wurden anschließend in 10-Liter-Sammelgefäße mit ecovio®-Bioabfallbeuteln und in beutellose Boxen gefüllt und über 3 Tage bei 20 °C gelagert. Anschließend wurden die ecovio®-Beutel geschlossen und eine Lagerung in der Biotonne über weitere 7 und 14 Tage bei 20 °C (Sommer-Durchschnittstemperatur in Deutschland) simuliert.

Ohne Beutel gesammelte Küchenabfälle werden in der Praxis anschließend in Biotonnen geschüttet und

¹ Massenanteile in %: Blattsalat: 20; Weißkohl: 10; Tomaten: 10; Gurken: 10; Kartoffeln (roh): 10; Vollkornschrot: 5; Sojaschrot: 10; Kartoffeln (gekocht): 10; Gemüsemais: 10; Fleisch (gekocht): 5

dabei mit zusätzlichen Gartenabfällen vermischt. Dadurch stellt sich ein strukturreicheres Haufwerk ein, das eine vergleichsweise gute Sauerstoffversorgung während der anschließenden Lagerung in der Biotonne ermöglicht. Zur Simulation dieser Verhältnisse wurde der ohne Beutel erfasste Küchenabfall in loser Schüttung mit Schütthöhen von maximal 5 cm in abgedeckten Wannen über 7 und 14 Tage gelagert. Über seitliche Griffmulden war ein Luftaustausch mit der Umgebungsluft gegeben. Vergleichbare Bedingungen stellen sich bei einer losen Schüttung in Biotonnen ein, bei denen regelmäßige Tonnenöffnungen ebenfalls eine Luftzufuhr ermöglichen.

Der frische Küchenabfall hatte einen Wassergehalt von 76,7 %; der organische Anteil der Trockensubstanz lag bei 94,7 %. Beim ohne Beutel erfassten und anschließend lose gelagerten Küchenabfall waren nach 3 + 7 d noch 55,4 % und nach 3 + 14 d nur noch 31,0 % der Ausgangsmasse vorhanden. Die Massenänderung basierte überwiegend auf dem Verlust an Wasser, doch auch der Gehalt an organischer Substanz reduzierte sich um bis zu 42,2 %. Nach 17 Tagen lag der Wassergehalt bei einem für kommunale Biofälle typischen Wert von 55 %.

Bei den in ecovio®-Beuteln gelagerten Küchenabfällen änderte sich die Abfallmasse insgesamt kaum: Nach 3 + 7 d waren noch 92,2 % und nach 3 + 14 d noch 90,5 % der Ausgangsmasse des Abfalls erhalten. Die als Glühverlust ermittelte organische Substanz reduzierte sich nur um ≈ 30 %. Der geringere Verlust an organischer Substanz ist die Folge eines Silageeffektes: Die pH-Werte der in ecovio®-Beuteln gelagerten Küchenabfälle fielen von anfänglich pH 5,7 auf einen Wert von 4,2 ab. Dementsprechend hatten die Abfälle auch einen deutlichen Gärsäuregeruch. Die lose gelagerten Küchenabfälle wiesen nach 3 + 14 d dagegen einen pH-Wert von 7,5 auf und sie rochen intensiv schimmelig/muffig.

Bemerkenswert war der positive Einfluss der ecovio®-Bioabfallbeutel auf die bei der Sammlung von Küchenabfall auftretenden Verluste an Biogasbildungspotenzial. Für frischen Küchenabfall wurde ein Biogasbildungspotenzial von 204 NL Biogas pro kg Frischmasse ermittelt. Bereits während der ersten drei Tage („Lagerung des Abfalls im Sammelgefäß in der Küche“) wurde ein etwa 30 prozentiger Verlust an Biogasbildungspotenzial beobachtet. Ohne Beutel gesammelte und lose über weitere 7 bis 14 Tage gelagerte Küchenabfälle wurden rasch weiter mikrobiell abgebaut. Vom anfangs vorhandenen Biogasbildungspotenzial waren nach einer simulierten Lagerung in der Biotonne über 7 Tage nur noch 46,1 % und nach 14 Tagen sogar nur noch 33,4 % vorhanden. In Kontakt zur Umgebungsluft stehender Küchenabfall unterliegt somit einer sehr rasch voranschreitenden Alterung. In ecovio®-Beuteln gesammelte Küchenabfälle wiesen dagegen einen wesentlich geringeren Verlust an Biogasbildungspotenzial auf: Wenn sie verschlossen in die Biotonnen eingelegt wurden, blieben vom anfangs vorhandenen Biogasbildungspotenzial nach 7 Tagen noch 61,1 % und nach 14 Tagen noch 51,4 % erhalten. Im Vergleich zu den ohne Beuteln erfassten und lose gelagerten Küchenabfällen wiesen die in ecovio®-

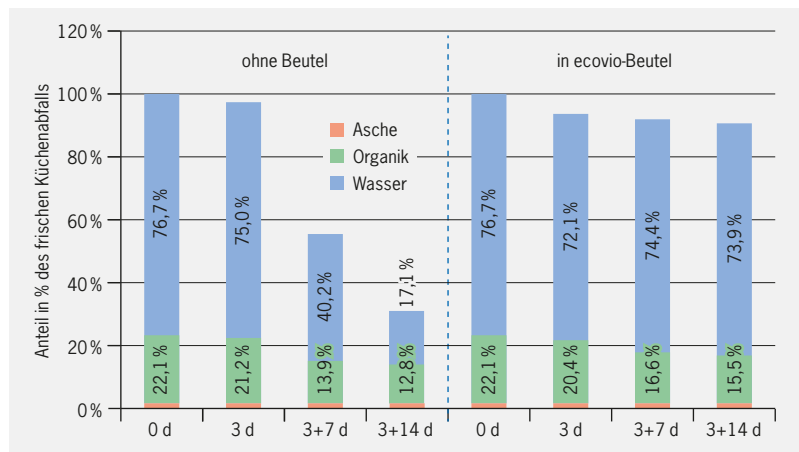


Abbildung 1
Zusammensetzung des ohne Beutel und des in ecovio®-Beuteln bis zu 17 Tage gelagerten Küchenabfalls

Beuteln gelagerten Küchenabfälle nach 3 + 7 Tagen ein um 32 % und nach 3+14 Tagen ein um 54 % erhöhtes Biogasbildungspotenzial auf.

Die durch ecovio®-Beutel reduzierten Verluste an Biogasbildungspotenzial erhöhen die energetische Abschöpfung der Ressource „Küchenabfall“ deutlich. Außerdem ist zu erwarten, dass der in ecovio®-Beuteln auftretende, konservierend wirkende Silageeffekt die Freisetzung klimarelevanter Gase in hohem Umfang mindert.

3. Beutelöffnung im Sammelfahrzeug

Bioabfallbeutel sollen bei der Anwendung im Haushalt einen direkten Kontakt der Nutzer mit den eingeworfenen Bioabfällen minimieren. Diese Barrierefunktion ist auch nach dem Einwurf in die Sammelgefäße (Biotonnen) vorteilhaft: Die Verschmutzung der Biotonneninnenflächen wird reduziert und beim Öffnen und Entleeren der Biotonnen treten geringere biogene Luftverunreinigungen auf.

Beim Entleeren der Biotonnen in die Sammelfahrzeuge, beim Transport (Verpressen und/oder Mischen im Bioabfallfahrzeug) und beim Abladevorgang wirken auf die in Bioabfallbeuteln eingeschlossenen Bioabfälle erhebliche mechanische Kräfte ein. Deshalb war zu erwarten, dass die an Bioabfallbehandlungsanlagen angelieferten Bioabfallbeutel mechanisch vorgeschädigt werden. Der dadurch bedingte Verlust

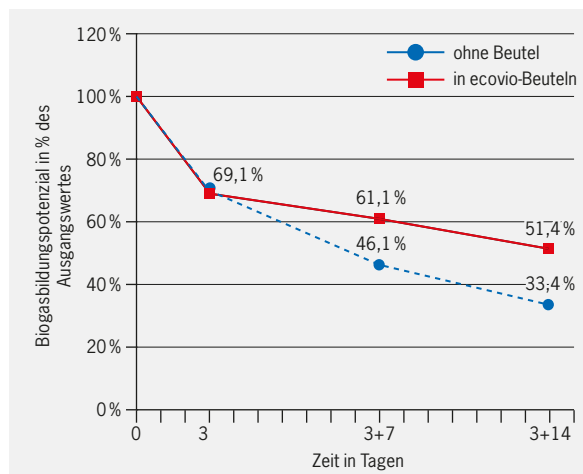
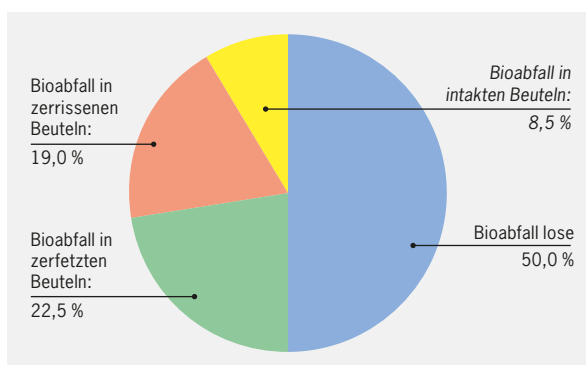


Abbildung 2
Verbleibendes Biogasbildungspotenzial von Küchenabfall

Abbildung 3
Nach der Anlieferung
in Bioabfallbeuteln
eingeschlossener
Bioabfallanteil



der Barrierefunktion ist für die sich anschließende Bioabfallbehandlung durchaus erwünscht: Biologische Bioabfallbehandlungsverfahren setzen eine gute Zugänglichkeit des Bioabfalls (Belüftung und Feuchteregulation bei der Kompostierung; Beimpfung und Freisetzung von Biogas bei der Vergärung) voraus. Dieser Aspekt ist besonders für jene Bioabfallbehandlungsverfahren von Bedeutung, die den angelieferten Bioabfall ohne vorherige Vorzerkleinerung und/oder Aufbereitung als Inputmaterial nutzen.

Das unter praxisüblichen Bedingungen zu erwartende Ausmaß mechanischer Vorschädigungen der bei der Bioabfallbehandlungsanlage angelieferten Bioabfallbeutel wurde in einem praxisnahen Modellversuch ermittelt. Hierfür wurde angenommen, dass der in Biotonnen erfasste Bioabfall je zur Hälfte aus in Bioabfallbeuteln erfassten Küchenabfällen und lose erfassten Gartenabfällen besteht. 100 ecovio®-Beutel wurden mit vorzerkleinertem kommunalem Bioabfall gefüllt und mit gleichen Mengen losem Bioabfall in 240 Liter-Bioabfalltonnen eingeworfen. Insgesamt wurden ca. 2 m³ Bioabfall zum Befüllen der Bioabfallbeutel und der Bioabfalltonnen verwendet. Die gefüllten Biotonnen wurden anschließend 14 Tage im Freien bei herbstlichen Temperaturen (nachts: 0,6–14,9 °C; tagsüber: 12,5–24,4 °C) aufgestellt. Anschließend wurden die Bioabfalltonnen von einem Bioabfallsammelfahrzeug (MAN Drehtrommelfahrzeug) geleert und der Behandlungsanlage angeliefert. Nach dem Entladevorgang wurde ermittelt, welcher Anteil der Bioabfallbeutel zum Anlieferzeitpunkt bereits eine reduzierte Barrierefunktion aufwies.

Die Auswertungen zeigten, dass die Barrierefunktion bei 83 % der Bioabfallbeutel beeinträchtigt war: 38 % der Bioabfallbeutel waren eingerissen und 45 % der Beutel waren zerfetzt oder nur noch in Fragmen-

ten erhalten. Lediglich 17 % der Bioabfallbeutel waren visuell unversehrt. Da die Gesamtfüllmenge der Biotonnen doppelt so hoch war, wie die in Beuteln eingefüllte Bioabfallmenge, waren zum Anlieferzeitpunkt nur noch 8,5 % des Bioabfalls vollständig in Beuteln eingeschlossen (Abbildung 3). Folglich waren 91,5 % des Bioabfalls zum Anlieferzeitraum nicht vollständig in Bioabfallbeuteln eingeschlossen. Damit sollte der in Bioabfallbeuteln gesammelte Bioabfall selbst in jenen Behandlungsanlagen für die biologischen Abbauprozesse zugänglich sein, die den angelieferten Bioabfall nicht vorzerkleinern. Dies wird häufig bei der Trockenfermentation von Bioabfällen praktiziert.

4. ecovio®-Beutel im Trockenfermenter

Am Beispiel der Trockenfermentationsanlage des Abfallwirtschaftsbetriebs München (AWM) wurde überprüft, ob die Ausfäulung des Bioabfalls beeinflusst wird, wenn er anteilig in ecovio®-Beuteln erfasst wird. Der AWM betreibt seit dem Jahr 2007 eine von der Firma BEKON gelieferte Trockenvergärungsanlage mit einer Gesamtkapazität zur Behandlung von 25.000 Mg/a Bioabfall. Angelieferte Bioabfälle werden ohne wesentliche Aufbereitung mit bereits anaerob vergorenem Rücklaufmaterial etwa im Verhältnis 1:1 vermischt und in garagenartige Reaktoren eingebaut. Die Reaktoren sind mit einer Perkolatberieselung und einem Dränsystem zur Ableitung austretenden Sickerwassers sowie einer Bodenheizung ausgestattet. Das anfallende Biogas wird im Dachbereich erfasst und einem Blockheizkraftwerk zugeführt. Die Bioabfälle verbleiben im Regelfall über 4 Wochen im Anaerobreaktor.

Für die Untersuchung wurden Gitterboxen (Nutzvolumen ca. 0,8 m³) mit verschiedenen Untersuchungsmaterialien (Tabelle 1) befüllt und in einen Trockenfermenter eingebracht. Als Referenzprobe diente der bei der Behandlungsanlage angelieferte Bioabfall, der unverändert in Zwiebelsäcke abgefüllt wurde. Für die Untersuchungsvariante ecovio A wurde eine identische Menge Bioabfall verwendet, von dem die Hälfte in 10 ecovio®-Beutel abgefüllt wurde. Zwei Beutel blieben unverändert; je vier Beutel wurden mit einem Messer eingeschnitten (Simulation zerschnittener Beutel) bzw. zerschnitten (Simulation zerfetzter Beutel). Das so vorbereitete Material sollte in Beuteln erfassten Bioabfall zum Anlieferzeitpunkt mit „normaler Vorschädigung“ der Beutel repräsentieren. Die ecovio-Variante B sollte einen in Beuteln gesammelten Bioabfall repräsentieren, der nach der Anlieferung zusätzlich vorzerkleinert wurde. Deshalb wurden Bioabfallbeutel in 10 Teile zerschnitten und mit Bioabfall vermischt. Die drei vorbereiteten Bioabfallvarianten wurden in Zwiebelsäcke abgefüllt und mit einer Mischung aus Bioabfall und Gärrestrücklauf in Gitterboxen eingebettet.

Nach Abschluss der vierwöchigen mesophilen Vergärung wurden die Gitterboxen dem Trockenfermenter entnommen. Vergleichende Untersuchungen der Zwiebelsackinhalte gaben Aufschluss darüber, ob „normal vorgeschädigte“ und „zerkleinerte“ ecovio®-Beutel den anaeroben Abbau des Bioabfalls beeinflusst hatten.

Zum Untersuchungszeitpunkt enthielt der angelieferte Bioabfall hohe Laub- und Grüngutanteile sowie auffallend viele Steine. Der lose in Zwiebelsäcken als

Tabelle 1
Im Trockenfermenter
exponierte Untersu-
chungsvarianten

Variante	Referenz „ohne Beutel“	ecovio A „normal vorgeschädigt“	ecovio B „zerkleinert“
Bioabfallanteil	Mit Bioabfall gefüllte Zwiebelsäcke	10 zu 2/3 mit Bioabfall befüllte ecovio®-Beutel wurden praxisnah mechanisch vorgeschädigt und im Verhältnis 1:1 mit losem Bioabfall vermischt und in 3 Zwiebelsäcke gefüllt.	10 ecovio®-Beutel wurden in jeweils 10 Teile zerschnitten und mit typischen Füllmengen an Bioabfall vermischt. Die Mischung wurde 1:1 mit Bioabfall vermischt und in 3 Zwiebelsäcke gefüllt.
Einbettung	2 bis 3 Zwiebelsäcke einer Variante wurden im Mengenverhältnis 1:1 mit einer Mischung aus 50 % Bioabfall und 50 % Gärrestrücklauf in eine Gitterbox eingebettet. Die Untersuchungsvarianten waren durch Trennwände separiert.		

Referenzprobe im Anaerobfermenter exponierte Bioabfall war bei der Entnahme überwiegend feucht. Der Gärrest hatte einen erdigen Geruch mit deutlicher Ammoniaknote. Der Gesamteindruck entsprach dem eines weitreichend anaerob stabilisierten Gärrestes.

Der den Zwiebelsäcken entnommene Gärrest der Untersuchungsvariante ecovio A mit „normal vorgeschädigten“ Beuteln lieferte einen etwas abweichenden Boniturbefund. Optisch war auffällig, dass die aus den Beutelinhalten stammenden Gärreste deutlich trockener wirkten als die außerhalb von Beuteln im Anaerobreaktor exponierten Abfallanteile. Offenbar reichten die mechanischen Vorschädigungen der Beutel nicht für eine gleichmäßige Befeuchtung der Inhalte übereinander liegender Beutel aus. Sensorisch war ein säuerlicher Geruch (der im Bereich der ecovio®-Beutel besonders deutlich war), aber kein Ammoniak wahrnehmbar.

Der visuelle und sensorische Eindruck des Gärrestes der Untersuchungsvariante ecovio B entsprach nahezu dem des ohne Beutel anaerob behandelten Bioabfalls (Referenzprobe): Die zerkleinerten ecovio®-Beutel hatten die Durchfeuchtung des Bioabfalls nicht behindert. Auffällig war lediglich, dass übereinander klebende Teilstücke der Beutel intensiv nach Gärsäuren rochen. Der Gärrest selbst roch erdig mit deutlicher Ammoniaknote.

Die Folie der ecovio®-Beutel wies bei beiden Untersuchungsvarianten erwartungsgemäß keine optisch erkennbaren Veränderungen auf. Die pH-Werte der Gärreste der Untersuchungsvarianten lagen nahe beieinander (Referenz: 7,47; ecovio A: 7,10; ecovio B: 7,16), obwohl bis zu 50 % der in Zwiebelsäcke gefüllten Bioabfälle bei der Behandlungsvariante ecovio A in Beuteln vorhanden waren. Trotz des hohen Folienanteils war folglich keine relevante Versäuerung des anaerob exponierten Bioabfalls zu beobachten.

Deutlicher ausgeprägt waren jedoch die Unterschiede, die sich bei Analysen des Rest-Biogasbildungspotenzials der Gärreste für die Untersuchungsvarianten ergaben (Tabelle 2). Für die Untersuchung wurden die ecovio®-Anteile vorher abgetrennt, da Auswirkungen auf den anaeroben Abbau des Bioabfalls überprüft werden sollten.

Zu Vergleichszwecken enthält Tabelle 2 auch Angaben zu unbehandelten Bioabfällen und Gärresten aus Bioabfallvergärungsanlagen. An Bioabfallbehandlungsanlagen angelieferte, unbehandelte Bioabfälle haben Biogasbildungspotenziale von ~ 80–120 Nm³/Mg Frischmasse. Bei einem typischen Trockensubstanzgehalt von 35 % und einem organischen Anteil der Trockensubstanz von 75 % berechnen sich die in der Tabelle aufgeführten Biogasbildungspotenziale von unbehandelten Bioabfällen. Die bei der Bioabfallvergärung anfallenden Gärreste haben deutlich kleinere Rest-Biogasbildungspotenziale als unbehandelte Bioabfälle. Aufgrund der Vielfalt der Verfahrensvarianten und der verarbeiteten Bioabfälle schwanken die Biogasbildungspotenziale von Gärresten jedoch über einen weiten Bereich.

Als Vergleichsbasis eignen sich vor allem die auf die Trockensubstanz (TS) und insbesondere die auf den organischen Anteil der Trockensubstanz (oTS) bezogenen Biogasbildungspotenziale (Abbildung 4).

Parameter	Unbehandelte Bioabfälle	Gärreste#	Gärrest Referenz	Gärrest ecovio A „normal vorgeschädigt“	Gärrest ecovio B „zerkleinert“
Nm ³ /Mg FS	80–120*	20–50	27,6	45,1	33,0
Nm ³ /Mg TS	229–286	65–145	112	168	111
Nm ³ /Mg oTS	305–381	114–270	153	218	133
Methananteil [%]	58–65	65–71	70	68	68

*: Daten aus [8]; # Untersuchungen an 10 Gärresten verschiedener Bioabfallvergärungsanlagen

Tabelle 2
Biogasbildungspotenziale der Gärreste der Untersuchungsproben (Referenz, ecovio A u. B) im Vergleich zu typischen unbehandelten Bioabfällen und Gärresten aus Bioabfallvergärungsanlagen

Der Gärrest des ohne Beutel im Trockenfermentationsreaktor über 4 Wochen behandelten Bioabfalls (Referenz) wies ein Biogasbildungspotenzial von 153 Nm³/Mg oTS auf. Dieser Wert liegt 50–60 % niedriger als Werte von unbehandelten Bioabfällen. Das Biogasbildungspotenzial liegt zudem im typischen Wertebereich von Gärresten aus anderen Bioabfallvergärungsanlagen.

Auch die Biogasbildungspotenziale der Gärreste der Untersuchungsvarianten ecovio A und B lagen im üblichen Wertebereich von Gärresten aus Bioabfallver-

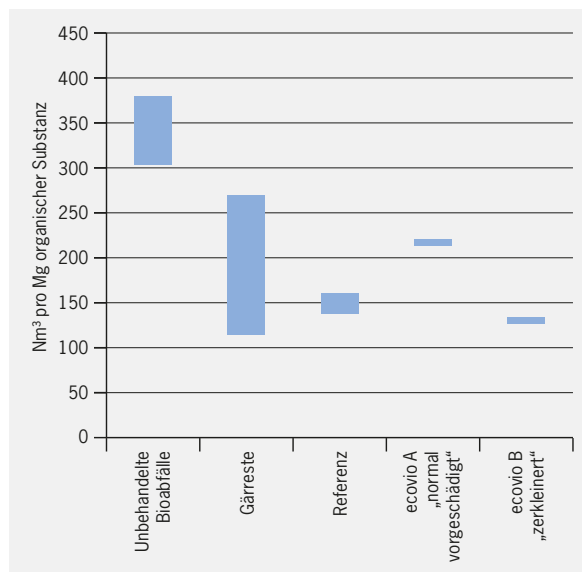


Abbildung 4
Biogasbildungspotenziale der organischen Substanz typischer unbehandelter Bioabfälle und Gärreste im Vergleich zu Werten von Gärresten der Untersuchungsproben

Variante	Referenz „ohne Beutel“	ecovio A „normal vorgeschädigt“	ecovio B „zerkleinert“
Bioabfallanteil	Mit Rottegut (9 Teile Gärrest und 1 Teil Grüngut) gefüllte Zwiebelsäcke	10 zu 2/3 mit Rottegut befüllte neuwertige ecovio®-Beutel wurden praxisnah mechanisch vorgeschädigt und im Verhältnis 1:1 mit losem Rottegut vermischt und in 3 Zwiebelsäcke gefüllt.	10 ecovio®-Beutel wurden in jeweils 10 Teile zerschnitten und mit typischen Füllmengen an Rottegut vermischt. Die Mischung wurde 1:1 mit Rottegut vermischt und in 3 Zwiebelsäcke gefüllt.
Einbettung	2 bis 3 Zwiebelsäcke einer Variante wurden in die Flanke von Dreiecksmieten über 39 Tage eingelegt. Vor der Umsetzung der Mieten nach 7 und 28 Tagen wurden die Zwiebelsäcke entnommen und erneut exponiert. Anzumerken ist, dass die Inhalte der Zwiebelsäcke während der Exposition in der Rottemiete nicht durchmischt wurden. Die Rottetemperatur lag im Einlagebereich bei im Mittel 65,3°C (54,1–71,5°C); die Umgebungstemperatur lag im Mittel bei 9,0°C (3,6–17,6°C).		

Tabelle 3
In Dreiecksmieten exponierte Untersuchungsvarianten

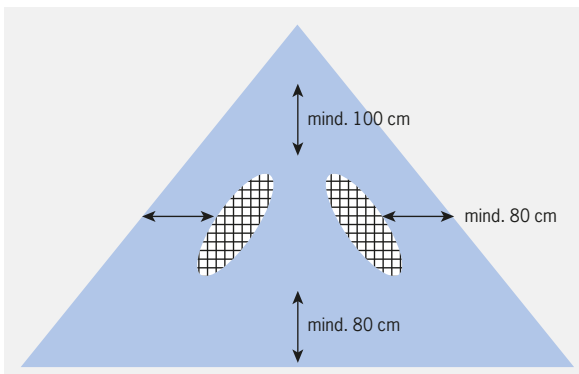


Abbildung 5
Skizze zur Exposition der Untersuchungsproben in der Dreiecksmiete

intensiv ausgeprägt sind. Der bioabbaubare Anteil des Gärrestes ist wesentlich kleiner als der von unbehandelten Bioabfällen. Deshalb reichen für die Nachrotte von Gärresten etwa 6 Wochen aus. Nach dem Austrag aus dem Anaerobfermenter werden die Gärreste kurze Zeit zwischengelagert, damit überschüssiges Sickerwasser austreten kann. Anschließend werden die Gärreste im Mengenverhältnis 9:1 mit Grüngut gemischt und zu Dreiecksmieten aufgesetzt. Das Rottegut wird mehrfach umgesetzt, aber nicht aktiv belüftet.

Für die Untersuchung wurden die in Tabelle 3 aufgeführten Untersuchungsvarianten genutzt. Hervorzuheben ist, dass für die Untersuchungsvarianten ecovio A und B neuwertige ecovio®-Beutel verwendet wurden. In der Praxis gelangen Beutel in die Nachrotte, auf die während der Sammlung des Bioabfalls und der Vergärung über mehr als 5 Wochen die Bioabfallbestandteile (Feuchtigkeit, Gärsäuren, Mikroorganismen) destabilisierend eingewirkt haben. Dies würde den Bioabbau der Beutel bei der Nachrotte noch beschleunigen.

Die ohne Beutel in Zwiebelsäcken als Referenzprobe in der Dreiecksmiete exponierte Rottemischung hatte bei der Entnahme das Aussehen eines feuchten Kompostes mit hohem Anteil faseriger und holziger Bestandteile. Der klebrige Feinkornanteil bedeckte zahlreiche Steine. Neben dem erdig-kompostartigen war ein intensiver Ammoniakgeruch wahrnehmbar.

Der Kompost aus Zwiebelsäcken der Untersuchungsvariante ecovio A, bei der etwa 50 % des Rottegutes anfangs in mechanisch „normal vorgeschädigten“ ecovio®-Beuteln exponiert waren, enthielt noch hauchfeine Reste einiger Beutel. Diese Reste waren aber bereits sehr weich und konnten zwischen den Fingern zerrieben werden. Nach einer abschließenden Durchmischung der Inhalte der zurückgewonnenen Zwiebelsäcke waren diese Fragmente nicht mehr als solche zu erkennen. Der visuelle Eindruck des Kompostes unterschied sich dann nicht mehr von dem Kompost der Referenzprobe.

Der Kompost, der aus Rottegut mit Zusatz von zerkleinerten ecovio®-Beuteln (Untersuchungsvariante ecovio B) hergestellt worden ist, enthielt einige sichtbare Reste der ecovio®-Beutel. Die meisten sichtbaren Reste waren ebenfalls dünn und rasch zerfallend. Es gab jedoch auch einige noch recht stabile Reste: Nähere Kontrollen zeigten, dass es sich dabei um doppelagige Bereiche handelte. Diese ergaben sich beim Zerschneiden der Beutel im Bereich der Falze und zum Teil durch Umknicken einzelliger Beutelstücke. Es kann jedoch angenommen werden, dass diese doppelagigen Anteile beim Schreddern von gefüllten Beuteln vermieden werden. Die auf den Beuteloberflächen haftenden Partikel würden dann ein direktes Aufeinanderhaften von zwei Folienlagen verhindern und dadurch alle Folienoberflächen dem mikrobiellen Abbau zugänglich machen. Obwohl alle Beutelreste in den Komposten belassen wurden, waren sie nach dem abschließenden Durchmischen der Komposte – wie es auch beim mechanischen Umsetzen erfolgen würde – visuell nicht mehr erkennbar.

Kontrolluntersuchungen ausgewählter Kompostgüteparameter bestätigten den visuellen Eindruck

gärungsanlagen. Allerdings war das Biogasbildungspotenzial des Gärrestes der Untersuchungsvariante A mit im Mittel 218 Nm³/Mg oTS deutlich höher als das der Referenzprobe (im Mittel 153 Nm³/Mg oTS). Offenbar wurden die anaeroben Abbauvorgänge deutlich behindert, wenn 50 % der Bioabfälle während der Exposition in der Trockenvergärung in „normal vorgeschädigte“ ecovio®-Beutel gefüllt waren. Bei der Untersuchungsvariante ecovio B behinderten die zerkleinerten ecovio®-Beutel die anaeroben Abbauvorgänge dagegen nicht: Der Gärrest hatte nur noch ein Biogasbildungspotenzial von im Mittel 133 Nm³/Mg oTS. Dieser Wert lag sogar noch unter dem Wert des Gärrestes der Referenzprobe.

Im Interesse einer weitreichenden Abschöpfung des Biogasbildungspotenziales sollten in ecovio®-Beuteln gesammelte Bioabfälle vor dem Einsatz in einem Trockenfermenter mechanisch soweit

beansprucht werden, dass eine weitgehende Öffnung und Zerkleinerung der Beutel erzielt wird.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass zerkleinerte Beutel auch dann keine Störungen der Biogasbildung erwarten lassen, wenn bis zu 50 % des angelieferten Bioabfalls in Beuteln gesammelt wurde.

5. Desintegration von ecovio®-Beuteln bei der Nachrotte
Beutel aus ecovio® werden bei der direkten Bioabfallkompostierung sehr gut abgebaut [2]. Für den Polyester ecoflex® wurde ein vollständiger aerober Bioabbau bis zu mineralischen Endprodukten nachgewiesen [9]. Klärungsbedürftig war jedoch, ob die biologischen Abbauprozesse bei der Nachrotte von Gärresten aus der Trockenfermentation der TFA München noch hinreichend

Bestätigt: Sehr gute Abbaubarkeit von ecovio®-Beuteln bei verschiedenen Untersuchungsvarianten

Parameter	Referenz „ohne Beutel“	ecovio A „normal vor- geschädigt“	ecovio B „zerkleinert“
pH-Wert	8,4	8,2	8,1
Salzgehalt (g KCl/L FS)	4,29	4,27	4,36
Rohdichte (g/L FS)	670	640	650
Trockensubstanz (%)	40,8	38,9	38,9
Glühverlust (%)	52,4	54,6	55,2
Rottegrad	V	IV	IV
Keimf. Samen (1/L)	0	0	0
Salmonellen in 50 g	Negativ	Negativ	Negativ

Tabelle 4

Kompostgüteparameter der Untersuchungsproben

(Tabelle 4). Bis auf eine Ausnahme war kein Einfluss der ecovio®-Beutel auf die untersuchten Kompostgüteparameter zu erkennen. Auffällig war lediglich, dass Komposte, die mit Zusatz von ecovio®-Beuteln hergestellt worden sind, die Maximaltemperatur von 30°C für eine Zuordnung zum Rottegrad V (Fertigkompost) um wenige Grad überschritten (ecovio A: 32°C; ecovio B: 34°C). Sie sind deshalb als Fertigkomposte dem Rottegrad IV zuzuordnen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die in Zwiebelsäcken in der Rottemiete exponierten Untersuchungsproben bei den Umsetzterminen nicht durchmischt werden konnten. Dies hat die biologische Stabilisierung und den abschließenden Bioabbau der ecovio®-Reste etwas verzögert. Bei der Praxisanwendung würde das Rottegut insgesamt umgesetzt und die Prüfungen der Kompostqualität würden an den abgabefertig aufbereiteten Komposten (nach Ausschleusung von Stör- und Fremdstoffen) durchgeführt.

6. Fazit

In verschiedenen Teiluntersuchungen wurden wichtige Aspekte untersucht, die bei der Nutzung von ecovio®-Beuteln zur Sammlung von Bioabfällen und deren Verwertung in einer Trockenfermentationsanlage zu beachten sind:

ecovio®-Bioabfallbeutel stabilisieren die in Haushalten gesammelten Bioabfälle durch einen Silageeffekt:

- ◆ die Ansäuerung mindert die Verluste an Biogasbildungspotenzial während der Erfassung und Sammlung der Bioabfälle.
- ◆ aufgrund der Ansäuerung sollte die während der Bioabfallsammlung erwünschte Barrierefunktion der ecovio®-Beutel vor der Nutzung in der Trockenfermentation durch eine weitreichende Vorzerkleinerung der Beutel aufgehoben werden.

Zerkleinerte ecovio®-Bioabfallbeutel haben keinen negativen Einfluss auf die Biogasbildung in einem Trockenfermentationsreaktor.

ecovio®-Bioabfallbeutel werden bei der Nachrotte von Gärresten aus der Trockenfermentation soweit desintegriert, dass sie im Kompost nicht visuell störend auffallen.

Die Ergebnisse der Teiluntersuchungen stellen wichtige Grundlagen für eine großtechnische Erprobung von ecovio®-Bioabfallbeuteln in Trockenfermentationsanlagen bereit.

Literatur

- [1] Hoppenheidt, K.; Grganovic, J.; Nischwitz, S.; Mayrhofer, F. (2014): Hygienisch optimierte Sammlung von Bioabfällen mit ecovio-Bioabfalltüten. bifa-Text, Nr. 64, ISSN 0944-5935
- [2] Kosak, G. (2013): Stabile Tüten zur Sammlung von mehr Bioabfall. Müll + Abfall, 05, 258-262
- [3] Kanthak, M.; Söling, F. (2012): Bewertung des Einsatzes von kompostierbaren Sammelbeuteln aus ecovio®-Material. Müll + Abfall, 08, 402-404
- [4] Siegenthaler, K. O.; Künkel, A.; Skupin, M.; Yamamoto, M. (2012): Ecoflex® and Ecovio®: Biodegradable, Performance-Enabling Plastics. In: Rieger et al. (Hrsg.): Synthetic Biodegradable Polymers. Springer, S. 91-136
- [5] Wanga, F.; Tsuno, H.; Hidaka, T.; Tsubota, J. (2011): Promotion of polylactide degradation by ammonia under hyperthermophilic anaerobic conditions. Bioresource Technology, 102, 9933-9941
- [6] Abou-Zeid, D.-M.; Müller, R.-J.; Deckwer, W.-D. (2004): Biodegradation of aliphatic homopolyesters and aliphatic-aromatic copolyesters by anaerobic microorganisms. Biomacromolecules, 5, 5, 1687-1697
- [7] El-Mashad, H. M.; Zhang, R.; Greene, J. P. (2012): Anaerobic Biodegradability of Selected Biodegradable Plastics and Biobased Products. Journal of Environmental Science & Engineering A, 1, 1A, 108-114
- [8] FNR (2006): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung
- [9] Witt, U.; Einig, T.; Yamamoto, M.; Kleeberg, I.; Deckwer, W.-D.; Müller, R.-J. (2001): Biodegradation of aliphatic-aromatic copolyesters: evaluation of the final biodegradability and ecotoxicological impact of degradation intermediates. Chemosphere, 44, 2, 289-299

Anschrift der Autoren

bifa Umweltinstitut GmbH
Am Mittleren Moos 46, 86167 Augsburg

Studies on the usability of ecovio® bio bags in dry fermentation

Untersuchungen zur Prozessgängigkeit von ecovio® Bioabfallbeuteln bei der Trockenfermentation

Dr. Klaus Hoppenheidt and Dr. Dieter Tronecker



Dr. Klaus Hoppenheidt
Microbiologist; scientist since 1992 and project manager since 2006 at the bifa Environmental Institute in Augsburg, focusing on environmental biotechnology, environmental toxicology and environmental health

Abstract

Kitchen waste is subject to rapid microbial degradation. The use of ecovio®-bio bags stabilizes kitchen waste by a silage effect. As a result, the yield of the biogas potential of the resource kitchen waste is optimized. The barrier function of ecovio®-bio bags is advantageous during the collection of biowaste; it is greatly reduced by mechanical action in waste collecting trucks. For use of biowaste in a dry fermenter the barrier function of ecovio®-bio bags should be completely destroyed. Tests in a full scale mesophilic dry fermentation unit confirm that the biogas production will not be adversely affected. Post-composting of the resulting digestate fully disintegrates ecovio®-bio bags within 39 days: visually there was no disturbing influence on the quality of composted digestate through ecovio®-bio bags.

Zusammenfassung

Die in Haushalten anfallenden Küchenabfälle unterliegen einer raschen mikrobiellen Alterung. Der Einsatz von ecovio®-Bioabfallbeuteln bewirkt durch einen Silageeffekt eine Konservierung des Küchenabfalls. Dadurch wird die Abschöpfung des Biogaspotenzials der Ressource Küchenabfall optimiert. Die bei der Erfassung und Sammlung von Bioabfällen erwünschte Barrierefunktion von ecovio®-Beuteln wird im Sammelfahrzeug durch mechanische Einwirkung stark reduziert. Für eine Nutzung des Bioabfalls im Trockenfermenter sollte eine möglichst weitreichende Aufhebung der Barrierefunktion von ecovio®-Beuteln realisiert werden. Erprobungen auf einer Praxisanlage bestätigen, dass die Biogasbildung dann bei einer mesophilen Trockenfermentation nicht negativ beeinflusst wird. Bei der Nachrotte des anfallenden Gärrestes wurden die ecovio®-Beutel innerhalb von 39 Tagen weitreichend desintegriert: Visuell war kein störender Einfluss auf die Qualität des kompostierten Gärrestes durch ecovio®-Beutel erkennbar.

1. Introduction

The collection of domestic kitchen waste using compostable bags made of the bioplastic ecovio® improves cleanliness and reduces health risks both in the home and in the removal of biowaste [1]. Biowaste collected in ecovio® bags has proved extremely feasible for recovery in a number of industrial composting plants without causing any negative impact on the quality or

quantity of the biowaste collected or on the compost produced [2, 3].

Changes are currently being seen in the recovery of biowaste. Biowaste composting, which has long been the predominant method used, is increasingly being replaced by a combination of biowaste fermentation and post-composting. These changes to processes can affect the usability of bio bags. The polymers in ecovio® bags and other compostable bioplastics are quickly attacked and degraded by aerobic microorganisms [4]. Under the anaerobic conditions present in fermentation plants, extensive biodegradation is only observed under particular general conditions [5-7], leading to a need to clarify whether the anaerobic stability of the ecovio® bags affects the anaerobic degradation of the biowaste. Digestate also has lower contents of biodegradable components than biowaste. Much shorter rotting times are used for the biological stabilization of the digestate due to post-composting than in biowaste composting, so it was investigated whether ecovio® bio bags are sufficiently disintegrated during the post-composting of digestate.

2. Quality of collected biowaste

Domestic kitchen waste contains high levels of readily microbially degradable constituents which increase even further if cooked food residues are also collected as biowaste. Very high levels of bacteria and fungi develop even during the short periods when kitchen waste is stored in the home [1]. Its metabolic activity means that biowaste continues to steadily degrade in organic waste bins so that any at one- to two-weekly intervals collected biowaste takes on the appearance of fresh compost with a very strong odor. As part of a health study program, it was found that kitchen waste collected in ecovio® bio bags appeared to prematurely degrade to a lesser degree than the same type of waste collected without using bags [1]. Studies were therefore conducted to provide clues on what effect ecovio® bio bags have on the premature degradation of kitchen waste compared to kitchen waste collected loose.

To do this, kitchen waste with a specific composition¹ was produced. 75 % of the kitchen waste consisted of raw kitchen waste and 25 % of cooked kitchen waste. The vegetable-based content was 95 %. The constituents were reduced to sizes typically found in kitchens. 10-liter collection containers were then filled with quantities of 2.75 kg using ecovio® bio bags, placed in bagless boxes and stored for three days at 20 °C. The ecovio® bags were then closed and storage simulated in an organic waste bin for a further 7 and 14 days at 20 °C (average summer temperature in Germany).

Kitchen waste collected without using bags was then packed under practical conditions in organic waste bins and mixed with additional garden waste. This creates a well-structured mixture that makes it possible to provide a comparatively good supply of oxygen during subsequent storage in the organic waste bin. To simulate these conditions, the kitchen waste collected without using bags was stored by packing

¹ Percentages by mass; green salad: 20; white cabbage: 10; tomatoes: 10; cucumbers: 10; potatoes (raw): 10; wholegrain cereal: 5; soya meal: 10; potatoes (cooked): 10; sweetcorn: 10; meat (cooked): 5

loose at heights of up to a maximum of 5 cm in covered troughs for 7 and 14 days. Recessed grips on the side were used to provide an exchange of air with the ambient air. Comparable conditions are set up with loose packing in organic waste bins in which regularly-spaced openings in the bins also allow air access.

The fresh kitchen waste had a water content of 76.7 % and the organic content of the dry matter was 94.7 %. After 3 + 7 days, 55.4 % of the kitchen waste collected without using bags and then stored loose remained; after 3 + 14 days, only 31.0 % of the initial mass remained. The change in mass was due mainly to the loss of water, but the organic content had fallen by up to 42.2 %. After 17 days, the water content was 55 %, a typical level for municipal biowaste.

The waste mass in the kitchen waste stored in ecovio® bags on the whole hardly changed. After 3 + 7 days, 92.2 % and after 3 + 14 days 90.5 % of the initial mass of the waste remained. The organic matter determined as loss on ignition fell by only ~30 %. The lower loss of organic matter is the result of a silage effect; the pH values of the kitchen waste stored in ecovio® bags fell from an initial pH of 5.7 to 4.2 and had a commensurately perceptible fermentation acid odor. The kitchen waste stored loose, on the other hand, had a pH of 7.5 after 3 + 14 days and a very strong moldy/musty odor.

The positive effect of the ecovio® bio bags on the losses of biogas formation potential that occurred during the collection of kitchen waste was quite noticeable. A biogas formation potential of 204 NL biogas per kg of fresh mass was determined for fresh kitchen waste. A roughly 30 % loss of biogas formation potential was observed even in the first three days (“Storage of waste in a kitchen storage container”). Kitchen waste collected without using bags and stored loose for a further 7 to 14 days was quickly further degraded by microbial action. Only 46.1 % of the initial biogas formation potential was still present over 7 days and just 33.4 % after 14 days following simulated storage in an organic waste bin. Kitchen waste in contact with the ambient air is thus subjected to very rapidly progressing degradation. Kitchen waste collected in ecovio® bags, on the other hand, exhibited a significantly lower loss of biogas formation potential. If sealed and placed in an organic waste bin, 61.1 % of the biogas formation potential available from the beginning was achieved after 7 days and 51.4 % after 14 days. Compared to the kitchen waste collected without using bags and stored loose, after 3 + 7 days the kitchen waste stored in ecovio® bags showed a biogas formation potential that was 32 % higher and after 3+14 days 54 % higher.

The losses of biogas formation potential reduced by ecovio® bags increase the energy yield of the “kitchen waste” resource. It can also be expected that the conserving action silage effect produced in ecovio® bags to a large extent reduces the release of greenhouse gases.

3. Opening bags in the collection vehicle

Bio bags aim to minimize any direct contact between the user and the biowaste being disposed of when used in the home. This barrier function is also useful when

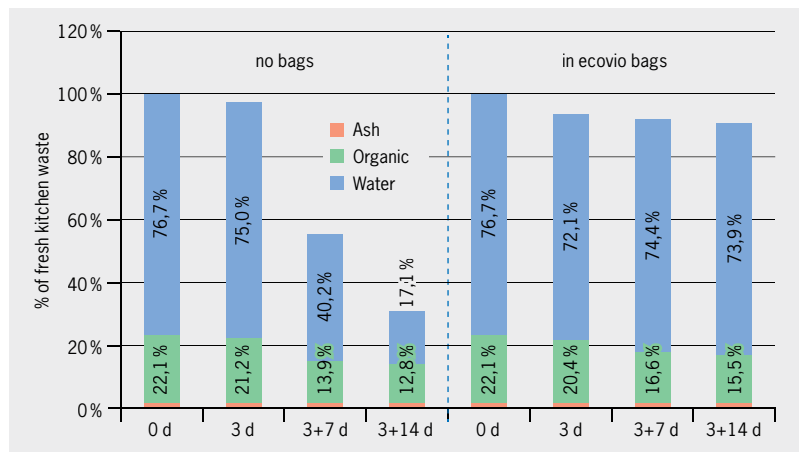


Figure 1
Composition of kitchen waste stored without bags and in ecovio® bags for up to 17 days

it is disposed of in collection containers (organic waste bins): any contamination on the inside of the organic waste bins is reduced and there is lower biogenic air contamination when the organic waste bins are opened and emptied.

Considerable mechanical forces act on the biowaste contained in bio bags when the organic waste bins are emptied into collection vehicles, during transport (compression and/or mixing in the biowaste vehicle) and during the unloading process, and as a result of this mechanical pre-damage of the bio bags delivered to biowaste treatment plants can be expected. The ensuing loss of barrier function is desirable for subsequent biowaste treatment: biological biowaste treatment processes provide good accessibility for the biowaste (ventilation and moisture regulation during composting; inoculation and release of biogas during fermentation). This aspect is particularly important for any biowaste treatment processes using the biowaste delivered as input material without any previous shredding and/or preparation.

The extent of any mechanical pre-damage to be expected under normal practical conditions to bio bags delivered to the biowaste treatment plant was determined in a model trial conducted under practical conditions where it was assumed that up to half of the biowaste collected in organic waste bins is composed of kitchen waste collected in bio bags and garden

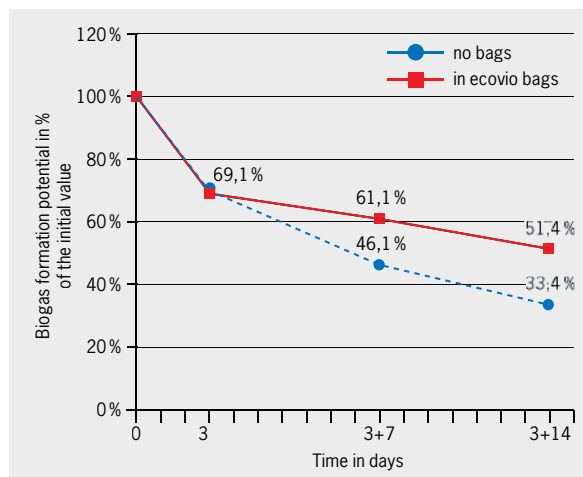
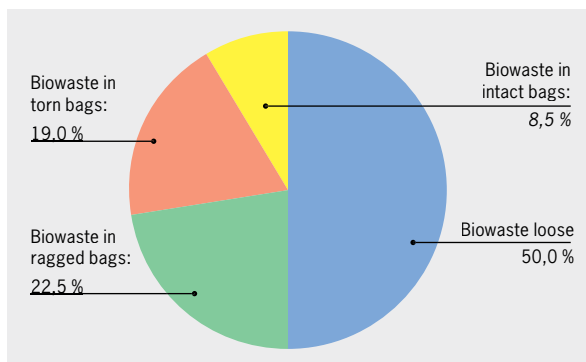


Figure 2
Remaining biogas formation potential of kitchen waste

Figure 3
Percentage of bio-waste contained in bio bags after delivery



waste collected loose. 100 ecovio® bags were filled with pre-shredded municipal biowaste and placed in 240-liter biowaste bins with equal quantities of loose biowaste. A total of approximately 2 m³ biowaste was used to fill the bio bags and biowaste bins. The filled organic waste bins were then placed outdoors for 14 days at autumn temperatures (night-time temperature 0.6–14.9 °C; daytime temperature 12.5–24.4 °C). The biowaste bins were then emptied by a biowaste collection vehicle (MAN vehicle with rotating drum) and delivered to the treatment plant. After the unloading process, the percentage of the bio bags at the delivery point that already had a reduced barrier function was investigated.

Evaluations showed that the barrier function was affected in 83 % of the bio bags; 38 % of them were torn and 45 % of them were ripped or only fragments found. Only 17 % of the bio bags were visually undamaged. Since the total filling quantity of the organic waste bins was double the quantity of biowaste filled in bags, only 8.5 % of the biowaste was completely contained in bags at the time of delivery (Figure 3) and consequently 91.5 % of the biowaste was not completely contained in bio bags at the time of delivery. The biowaste collected in bio bags itself should therefore be accessible, even in the treatment plants for biodegradation processes that do not pre-shred the biowaste delivered. This is often the practice in the dry fermentation of biowaste.

4. ecovio® bags in dry fermenters

The Abfallwirtschaftsbetrieb München (AWM) (Munich Waste Management Center) was used as an example of a dry fermentation plant to examine whether the fermentation of biowaste is affected if some of it is collected in ecovio® bags. The AWM has operated a

Table 1
Trial variants exposed in the dry fermenter

Variant	Reference "no bags"	ecovio A "normal pre-damage"	ecovio B "shredded"
Biowaste content	Onion bags filled with biowaste	Ten ecovio® bags 2/3 filled with biowaste were mechanically pre-damaged under actual conditions, mixed at a ratio of 1:1 with loose biowaste and placed in three onion bags	Ten ecovio® bags were each cut into ten parts and mixed with typical quantities of biowaste. The mixture was mixed 1:1 with biowaste and placed in three onion bags.
Incorporation	Two to three onion bags of one variant were incorporated at a ratio by quantity of 1:1 with a mixture of 50 % biowaste and 50 % fermentation reactor reflux in a wire mesh container. The trial variants were separated by partition walls.		

dry fermentation plant supplied by BEKON with an overall capacity for treating 25,000 Mg/a biowaste since 2007. Biowaste delivered there without any significant preparation with already anaerobically fermented reflux material is mixed at a ratio of around 1:1 and fed into garage-like reactors which are fitted with percolate irrigation and a drainage system to lead off any leachate and with underfloor heating. The biogas produced is collected in the roof area and then passed to a combined heat and power plant. The biowaste normally remains in the anaerobic reactor for four weeks.

Wire mesh containers with an effective volume of approximately 0.8 m³ were filled with various trial materials (Table 1) and placed in a dry fermenter. The biowaste delivered to the treatment plant which had been filled unchanged in onion bags was used as the reference sample. An identical volume of biowaste, half of which was filled in ten ecovio® bags, was used as the trial variant ecovio A. Two bags remained unchanged and four bags each were cut with a knife (simulation of shredded bags) or ripped (simulation of ragged bags). The material prepared in this way was intended to represent biowaste collected in bags at the time of delivery with "normal pre-damage" to the bags. ecovio variant B was intended to represent biowaste collected in bags that was additionally pre-shredded after delivery. Bio bags were therefore cut into ten parts and mixed with biowaste. The three prepared biowaste variants were placed in onion bags and incorporated with a mixture of biowaste and digestate reflux in wire mesh containers.

When the four-week mesophilic fermentation was complete, the wire mesh containers were removed from the dry fermenter. Comparative tests on the contents of the onion bags gave an indication of whether "normally pre-damaged" and "shredded" ecovio® bags had affected the anaerobic degradation of the biowaste.

At the time of the trial, the biowaste delivered had high contents of leaves and green waste as well as a noticeably large number of stones. The loose biowaste exposed in onion bags as a reference sample in the anaerobic fermenter was predominantly wet when removed and the digestate had an earthy odor very characteristic of ammonia. The overall impression was that of an extensively anaerobically stabilized digestate.

The digestate of trial variant ecovio A taken from the onion bags with "normally pre-damaged" bags produced a somewhat different picture. It was visually apparent that the digestate coming from the contents of the bags had a significantly drier effect than the waste exposed outside of bags in the anaerobic reactor. The mechanical damage to the bags was obviously not enough to produce consistent moistening of the contents of bags lying on top of one another. In sensory terms, there was a perceptible sour odor (which was particularly apparent around the ecovio® bags) but no ammonia odor.

The visual and sensory impression of the digestate of trial variant ecovio B was virtually the same as that of the biowaste treated anaerobically without using bags (reference sample). The shredded ecovio® bags had not impeded the moistening of the biowaste. The

only noticeable feature was that pieces of the bags adhering on top of one another had a strong odor of fermentation acids. The digestate itself had an earthy or very characteristic of ammonia.

As expected, the film of the ecovio® bags of both trial variants did not show any visually apparent changes. The pH values of the digestate of the trial variants were almost the same (reference: 7.47; ecovio A: 7.10; ecovio B: 7.16), although up to 50 % of the biowaste filled in onion bags from treatment variant ecovio A was present in bags. Despite the high proportion of film, there was no consequent relevant acidification of the anaerobically exposed biowaste observed.

However, the differences arising in analyses of the residual biogas formation potential of the digestate for the trial variants were quite pronounced (Table 2). For the trial, the ecovio® contents were pre-separated because any impact on the anaerobic degradation of the biowaste was to be checked.

Table 2 also contains data on untreated biowaste and digestate from biowaste fermentation plants for comparison purposes. Untreated biowaste delivered to biowaste treatment plants has a biogas formation potential of ~80–120 Nm³/Mg wet mass. A typical dry matter content of 35 % and an organic dry matter content of 75 % can be used to calculate the biogas formation potential of untreated biowaste shown in the table. The digestate produced in biowaste fermentation has a much lower residual biogas formation potential than untreated biowaste. The large number of process variants and the processed biowaste, however, means that the biogas formation potential of digestate can vary quite considerably.

The biogas formation potential based on the dry matter (DM) and in particular that based on the organic dry matter (ODM) content primarily are suitable as the basis for comparison (Figure 4).

The digestate of the biowaste treated in the dry fermentation reactor for four weeks without using bags (reference) showed a biogas formation potential of 153 Nm³/Mg ODM which is 50–60 % lower than figures for untreated biowaste. The biogas formation potential is also in the typical range of digestate from other biowaste fermentation plants.

The biogas formation potentials of the digestate of trial variants ecovio A and B were also in the normal range for digestate from biowaste fermentation plants, although the biogas formation potential of the digestate of trial variant A at on average 218 Nm³/Mg ODM was significantly higher than that of the reference sample (on average 153 Nm³/Mg ODM). It was apparent that the anaerobic degradation processes were significantly obstructed if 50 % of the biowaste was filled in “normally pre-damaged” ecovio® bags during exposure in dry fermentation. With trial variant ecovio B, however, the shredded ecovio® bags did not impede the anaerobic degradation processes. The digestate only had a biogas formation potential of on average 133 Nm³/Mg ODM which was in fact still below the figure for the digestate of the reference sample.

In the interests of achieving an extremely high yield for the biogas formation potential, the idea was for biowaste collected in ecovio® bags to be mechanically pro-

Parameter	Untreated biowaste	Digestate [#]	Digestate reference	Digestate ecovio A “normally pre-damaged”	Digestate ecovio B “shredded”
Nm ³ /Mg WM	80–120*	20–50	27.6	45.1	33.0
Nm ³ /Mg DM	229–286	65–145	112	168	111
Nm ³ /Mg ODM	305–381	114–270	153	218	133
Methane content [%]	58–65	65–71	70	68	68

*: Data from [8]; # Tests on ten digestates from different biowaste fermentation plants

Table 2

Biogas formation potential of the digestate of the trial samples (reference, ecovio A and B) compared to typical untreated biowaste and digestate from biowaste fermentation plants

cessed before use in a dry fermenter until a significant level of opening and shredding of the bags is achieved. The results illustrate that shredded bags can also mean no problems with biogas formation if up to 50 % of the biowaste fermentation has been collected in bags.

5. Disintegration of ecovio® bags during post-composting

Bags made of ecovio® are very readily degraded in direct biowaste composting [2]. Complete aerobic biodegradation to mineral end products [9] was found with the polyester ecoflex®, but clarification was needed on

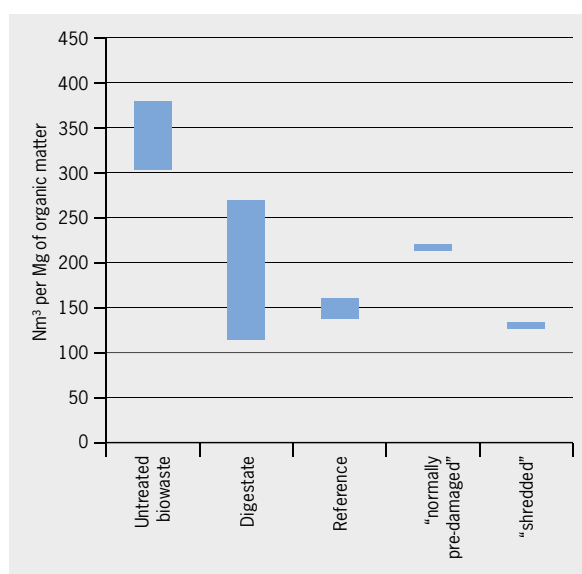


Figure 4

Biogas formation potential of the organic matter of typical untreated biowaste and digestate compared with figures for digestate of the trial samples

Variant	Reference "no bags"	ecovio A "normally pre-damaged"	ecovio B "shredded"
Biowaste content	Onion bags filled with rotting material (9 parts digestate, 1 part green waste)	Ten new ecovio® bags 2/3 filled with rotting material were mechanically pre-damaged under actual conditions, mixed with loose rotting material at a ratio of 1:1 and placed in three onion bags	Ten ecovio® bags were each cut into ten parts and mixed with typical quantities of rotting material. The mixture was mixed with rotting material at a ratio of 1:1 and placed in three onion bags
Incorporation	Two to three onion bags of one variant were placed in the side of triangular clamps for 39 days. The onion bags were removed and again exposed before the clamps were turned after 7 and 28 days. It can be seen that the contents of the onion bags during exposure were not thoroughly mixed in the rotting clamp. The rotting temperature was in the range of on average 65.3°C (54.1 – 71.5°C); the ambient temperature was on average 9.0°C (3.6 – 17.6°C).		

Table 3
Trial variants exposed in triangular clamps

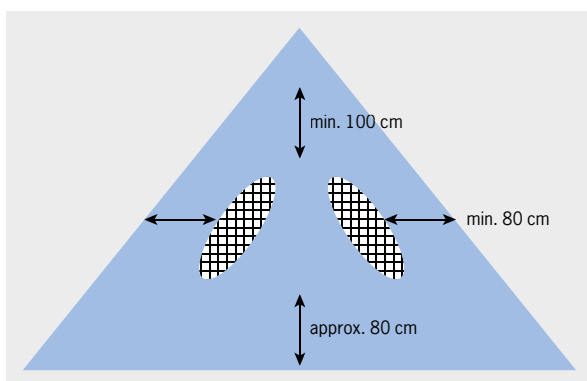


Figure 5
Diagram showing the exposure of the trial samples in a triangular clamp

whether the biological degradation processes during post-composting of digestate from dry fermentation at the fermentation plant in Munich was still sufficiently pronounced. The biodegradable fraction of the digestate is significantly smaller than that of untreated biowaste, which means that around six weeks is sufficient for post-composting digestate. After leaving the anaerobic fermenter, the digestate is briefly stored on a temporary basis so that any excess leachate can drain off. The digestate is then mixed with green waste at a ratio by quantity of 9:1 and placed in triangular clamps. The rotting material is turned several times, but not actively ventilated.

The variants listed in Table 3 were used for the trial. It is important to note that new ecovio® bags were used for variants ecovio A and B. In practice, bags are passed to post-composting where the biowaste constituents (moisture, fermentation acids, microorganisms, etc.) have a destabilizing effect during collection of the biowaste and

fermentation for more than five weeks, which would accelerate biodegradation of the bags during post-composting even further.

The rotting mixture exposed in the triangular clamp without using bags in onion bags as a reference sample had the appearance of a moist compost with a high fibrous and woody content when removed. The tacky fine-particle content covered a number of stones. In addition to the earthy, compost-like odor, there was a strong ammonia odor.

The compost from onion bags of trial variant ecovio A in which approximately 50 % of the rotting material was initially exposed in mechanically "normally

pre-damaged" ecovio® bags still contained extremely fine residues of some bags, but these residues were still very soft and could be crumbled between the fingers. Following a final thorough mixing of the contents of the recovered onion bags, these fragments were no longer recognizable as such. The visual impression of the compost was then no longer any different from the compost of the reference sample.

The compost produced from rotting material with the addition of shredded ecovio® bags (trial variant ecovio B) contained some visible residues of the ecovio® bags. The most visible were thin and decomposed rapidly, but there were also some residues that were still quite stable. Closer examinations showed that these were double-layer sections produced when the bags were cut around the folds and in some cases by folding over single-layer sections of the bags. It can, however, be assumed that these double-layer sections are avoided when filled bags are shredded. The particles adhering to the surfaces of the bags would then avoid two layers of film directly adhering to one another and consequently make all the film surfaces accessible to microbial degradation. Although all the bag residues were left in the compost, they were no longer visually recognizable after the final thorough mixing of the compost, as would also have happened with mechanical turning.

Control trials of compost material parameters confirmed the visual impression (Table 4). With one exception, there was no recognizable effect of the ecovio® bags on the compost material parameters examined. The only notable point was that compost produced with the addition of ecovio® bags exceed the maximum temperature of 30°C for a rotting level of V (finished compost) by a few degrees (ecovio A: 32°C; ecovio B: 34°C) and should therefore be classed as finished compost with a rotting level of IV. It is important to bear in mind here that the trial samples exposed in onion bags in the rotting clamp could not be thoroughly mixed at the turning times, which somewhat delayed the biological stabilization and final biodegradation of the ecovio® residues. In practical applications, the rotting material would all be turned and tests on the compost quality would be carried out on the final prepared composts (after eliminating impurities and foreign matter).

6. Conclusion

Various partial studies looked at important aspects that need to be taken into consideration in the use of ecovio® bags for collecting biowaste and their utilization in a dry fermentation plant:

- ◆ ecovio® bio bags stabilize the domestic biowaste collected due to a silage effect:
 - ◆ Acidification reduces the losses of biogas formation potential during collection of the biowaste.
 - ◆ As a result of acidification, the desired barrier function of the ecovio® bags during biowaste collection should be eliminated before they are used in dry fermentation through extensive pre-shredding of the bags.
- ◆ Shredded ecovio® bio bags do not have a negative effect on the biogas formation in a dry fermentation reactor.

Confirmed: Very good degradability of ecovio bags in different variants of the investigations.

Parameter	Reference "no bags"	ecovio A "normally pre-damaged"	ecovio B "shredded"
pH	8,4	8,2	8,1
Salt content (g KCl/L WM)	4,29	4,27	4,36
Bulk density (g/L WM)	670	640	650
Dry matter (%)	40,8	38,9	38,9
Loss on ignition (%)	52,4	54,6	55,2
Degree of rotting	V	IV	IV
Viable seeds (1/L)	0	0	0
Salmonella in 50 g	Negative	Negative	Negative

Table 4

Compost quality parameters of the trial samples

- ◆ ecovio® bio bags are disintegrated during the post-composting of digestate from dry fermentation until they have no further visual adverse effect in the compost.

The results of the partial studies provide an important basis for an industrial investigation of ecovio® bio bags in dry fermentation plants.

References

- [1] Hoppenheidt, K.; Grganovic, J.; Nischwitz, S.; Mayrhofer, F. (2014): Hygienisch optimierte Sammlung von Bioabfällen mit ecovio-Bioabfalltüten. bifa article, no. 64, ISSN 0944-5935
- [2] Kosak, G. (2013): Stabile Tüten zur Sammlung von mehr Bioabfall. Müll + Abfall, 05, 258-262
- [3] Kanthak, M.; Söling, F. (2012): Bewertung des Einsatzes von kompostierbaren Sammelbeuteln aus ecovio®-Material. Müll + Abfall, 08, 402-404
- [4] Siegenthaler, K. O.; Künkel, A.; Skupin, M.; Yamamoto, M. (2012): Ecoflex® and Ecovio®: Biodegradable, Performance-Enabling Plastics. In: Rieger et al. (ed.): Synthetic Biodegradable Polymers. Springer, p. 91-136
- [5] Wanga, F.; Tsuno, H.; Hidaka, T.; Tsubota, J. (2011): Promotion of polylactide degradation by ammonia under hyperthermophilic anaerobic conditions. Bioresource Technology, 102, 9933-9941
- [6] Abou-Zeid, D.-M.; Müller, R.-J.; Deckwer, W.-D. (2004): Biodegradation of aliphatic homopolyesters and aliphatic-aromatic copolyesters by anaerobic microorganisms. Biomacromolecules, 5, 5, 1687-1697
- [7] El-Mashad, H. M.; Zhang, R.; Greene, J. P. (2012): Anaerobic Biodegradability of Selected Biodegradable Plastics and Biobased Products. Journal of Environmental Science & Engineering A, 1, 1A, 108-114
- [8] FNR (2006): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung
- [9] Witt, U.; Einig, T.; Yamamoto, M.; Kleeberg, I.; Deckwer, W.-D.; Müller, R.-J. (2001): Biodegradation of aliphatic-aromatic copolyesters: evaluation of the final biodegradability and ecotoxicological impact of degradation intermediates. Chemosphere, 44, 2, 289-299

Adress of the authors

bifa Umweltinstitut GmbH
Am Mittleren Moos 46, 86167 Augsburg