



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Fakultät Life Sciences
Studiengang Food Science

Biologisch abbaubare Kunststoffverpackungen -
eine sinnvolle Alternative zu herkömmlichen
Lebensmittelverpackungen?

Masterarbeit

Tag der Abgabe: 29.02.2012

Vorgelegt von: Kathrin Labusch

Betreuender Prüfer: Prof. Dr.-Ing. B. Sadlowsky

Zweiter Prüfer: Dipl.-Biol. M. Rubbert

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Erstgutachter Herrn Prof. Dr.-Ing. B. Sadlowsky, der diese Arbeit aktiv mitgestaltet hat und viele Anregungen gegeben hat.

Des Weiteren möchte ich Herrn Dipl.-Biol. M. Rubbert danken, der das Zweitgutachten übernommen hat und die Kompostierungsversuche bei der K+E Kompost und Erden GmbH ermöglicht hat.

Die Mitarbeiter der K+E Kompost und Erden GmbH, des Instituts für BFSV e.V. sowie des Verfahrenstechnik-Labors der HAW Hamburg haben mir alle mit Rat und Tat zu Seite gestanden, dafür sei ihnen recht herzlich gedankt.

Ohne meine Projektpartnerin B.Sc. Svea Fick wäre die Durchführung dieser Arbeit nicht möglich gewesen. Ich danke ihr für die gute Zusammenarbeit.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
1. Einleitung und Aufgabenstellung.....	7
2. Grundlagen	8
2.1 Kunststoffe	8
2.2 Verpackungssituation in Deutschland.....	10
2.3 Lebensmittel-Verpackungen.....	11
2.4 Biologisch abbaubare Kunststoffe	13
2.4.1 PLA	16
2.4.2 Stärkeblends	18
2.4.3 Sonstige	20
2.5 Kompostierungsprozess in Großanlagen	21
2.6 Gesetzliche Grundlagen/Normen	25
2.6.1 Verpackungsverordnung	25
2.6.2 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch	26
2.6.3 EN 13432:2000	26
2.6.4 EN 14806:2005	28
2.6.5 EN ISO 20200:2005	28
2.6.6 EN 14045:2003	29
2.6.7 EN ISO 14855-1:2007	29
3. Durchführung	30
4. Ergebnisse.....	32
4.1 Produktrecherche.....	32
4.2 Probenauswahl	33
4.3 Entwicklung eines Komposterbehälters im Labormaßstab	36
4.3.1 Vor-Ort-Begehung	36
4.3.1.1 K+E Kompost und Erden GmbH (16.08.2011)	37

4.3.1.2 Gesellschaft für Abfallwirtschaft und Abfallbehandlung mbH (GAB) (31.8. 2011).....	39
4.3.2 Der Bau des Komposters	41
4.3.3 Der Bioabfall.....	44
4.4 Probenvorbereitung.....	45
4.5 Der Kompostierungsprozess/Anlagenpflege	46
4.6 Vergleichsmessungen.....	48
4.7 Auswertung der Proben	51
4.8 Randparametermessung.....	53
4.8.1 Temperaturmessung	53
4.8.2 pH-Messung.....	55
4.8.3 Messung der Feuchtigkeit	56
4.8.4 Bestimmung des Rottegrades	56
4.8.5 Kresstest	57
4.9 Ergebnisse des Versuchs.....	58
4.9.1 Ergebnisse des Komposters.....	58
4.9.1.1 Ergebnisse der Temperatur	58
4.9.1.2 Ergebnisse des pH-Werts.....	60
4.9.1.3 Ergebnisse der Feuchtigkeit	62
4.9.1.4 Ergebnisse der Rottegrad-Bestimmung	63
4.9.1.5 Ergebnis des Kresstests.....	64
4.9.2 Ergebnisse der Frischhaltefolie	65
4.9.3 Ergebnisse des Joghurtbechers	69
4.9.4 Ergebnisse Aldi-Tragetasche und Deckel.....	74
5. Zusammenfassende Bewertung/Ausblick	75
Literaturverzeichnis.....	77
Eidesstattliche Erklärung	83

Abbildungsverzeichnis

Abbildungen 11.14, 22, 33, 44.48, 51, 54-55 sowie im Anhang von Elke Stagat

Abb. 1: Der Aufbau eines Extruders.....	9
Abb. 2: Der Abbau von biologisch abbaubaren Kunststoffen	13
Abb. 3: Ringöffnungspolymerisation	18
Abb. 4: Logo von Mater-Bi.....	20
Abb. 5: Umsetzungsvorgänge bei der Kompostierung.....	22
Abb. 6: Trapezförmige Kompostmieten.....	24
Abb. 7: Ein Rottetunnel	24
Abb. 8: Das Keimling-Logo.....	27
Abb. 9: Belgisches Siegel für die Hauskompostierung	28
Abb. 10: Ablaufschema des Versuchs	31
Abb. 11: PLA-Joghurtbecher vom Hof Weitenfeld	34
Abb. 12: Die Frischhaltefolie von BioBag.....	35
Abb. 13: Die konventionellen Proben	35
Abb. 14: Weitere biologisch abbaubare Proben.....	36
Abb. 15: Aufsicht auf eine Kompostmiete	37
Abb. 16: Der Backhus-Umsetzer bei der Arbeit	38
Abb. 17: Der Ablauf bei der GAB	41
Abb. 18: Das Grundgerüst des Behälters mit der ersten Seitenwand	42
Abb. 19: Ein Deckel.....	43
Abb. 20: Der fertige Kompostbehälter	44
Abb. 21: Angelieferter Bio-Abfall mit Verunreinigungen.....	45
Abb. 22: Zugeschnittene Proben.....	45
Abb. 23: Befüllter Litter-Bag	46
Abb. 24: Befüllte Litter-Bags im Kompostbehälter	47
Abb. 25: Vollständig befüllter Kompostbehälter	47
Abb. 26: Aus dem Behälter geschauelter Kompost	48
Abb. 27: Befüllte Gartenkomposter	49
Abb. 28: Eingesetzte Proben mit Markierungsstangen.....	50
Abb. 29: Siebmaschine AS 200 control „g“	51
Abb. 30: Siebturm mit den einzelnen Fraktionen	52
Abb. 31: USB-Datenlogger EL-USB-1	54
Abb. 32: Datenlogger „Mitte“	55
Abb. 33: Dewar-Gefäß	57
Abb. 34: Temperatur HAW-Komposter „Seite“.....	58
Abb. 35: Temperatur HAW-Komposter „Oben“.....	59
Abb. 36: Temperaturwerte für K+E Kompost und Erden GmbH.....	60
Abb. 37: pH-Werte des HAW-Komposters.....	61
Abb. 38: pH-Werte bei K+E Kompost und Erden GmbH	61
Abb. 39: Feuchtigkeitsverlauf des HAW-Komposters	62
Abb. 40 Feuchtigkeitsverlauf bei K+E Kompost und Erden GmbH.....	63
Abb. 41: Temperaturverlauf der Rottegrad-Bestimmung	64
Abb. 42: Kressekeime auf dem Kompost ohne biologisch abbaubare Kunststoffe	64
Abb. 43: Wiederfindungsrate der Frischhaltefolie	66
Abb. 44: Frischhaltefolie nach Woche 3, > 5,6 mm, < 2 mm (von links nach rechts).....	66
Abb. 45: Frischhaltefolie nach Woche 12, 2-5,6 mm, < 2 mm (von links nach rechts).....	67
Abb. 46: Frischhaltefolie bei K+E Kompost und Erden GmbH nach 12,5 Wochen, 2-5,6 mm, < 2 mm (von links nach rechts)	68
Abb. 47: Frischhaltefolie nach zwölf Wochen im Gartenkomposter.....	69
Abb. 48: Die Folia-Frischhaltefolie nach 12 Wochen Kompostierung.....	69
Abb. 49: Joghurtbecher nach Woche 1, > 5,6 mm, 2-5,6 mm, > 2 mm (von links nach rechts).....	70
Abb. 50: Wiederfindungsrate des Joghurtbechers	70
Abb. 51: Joghurtbecher nach Woche 3, < 2 mm.....	71
Abb. 52: Mikroskop-Aufnahmen nach Woche 6 (100-fach vergrößert), links: Kompost, rechts: Kompost aus Litter-Bag mit Joghurtbecher	72
Abb. 53 Mikroskop-Aufnahmen nach Woche 12 (100-fach vergrößert), links: Kompost, rechts: Kompost aus Litter-Bag mit Joghurtbecher	72

Abb. 54: Joghurtbecher nach zwölf Wochen Kompostierung im Gartenkomposter	73
Abb. 55: froop-Joghurtbecher nach zwölf Wochen Kompostierung	73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anwendungsbeispiele wichtiger Verpackungskunststoffe.....	10
Tabelle 2: Kressehöhe auf den unterschiedlichen Proben	65
Tabelle 3: Größenordnung der Folien-Partikel im Wochenverlauf.....	68
Tabelle 4: Größenordnung der Becher-Partikel im Wochenverlauf	71

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Das Thema „Nachhaltigkeit“ findet in der gegenwärtigen Zeit einen immer größeren Anklang bei den Verbrauchern. Diese hinterfragen kritischer, woher ihre Konsumprodukte stammen und wie sie hergestellt werden. Dabei wird unter anderem auf den Aspekt „Umweltschutz“ großen Wert gelegt. Die produzierenden Unternehmen folgen diesem Trend indem sie die entsprechende Ware bereithalten und verankern das Thema „Nachhaltigkeit“ in den Firmen-Policies.

So sind zum Beispiel Angebot und Nachfrage für Biolebensmittel stark gestiegen. Aber auch in anderen Bereichen wie Kleidung oder Mobilität werden immer häufiger nachhaltige Produkte angeboten.

Insbesondere im Lebensmittelbereich müssen alle Güter verpackt werden, um diese vor schädlichen Einflüssen zu schützen und so die Haltbarkeit zu gewährleisten. Mittlerweile werden bereits vereinzelt Lebensmittel in biologisch abbaubaren Verpackungen angeboten. Diese können unter anderem aus biologisch abbaubaren Kunststoffen hergestellt werden, die meist aus nachwachsenden Rohstoffen wie Mais gewonnen werden. Daher werden diese Verpackungen als nachhaltig beworben und sollen sich bei der Entsorgung in der Bioabfalltonne oder im heimischen Komposthaufen vollständig zersetzen. Zudem soll die Ressource „Erdöl“ geschont werden, aus der herkömmliche Kunststoffe hergestellt werden.

Dennoch wird diese Art von Verpackung von den Entsorgungsfirmen oft abgelehnt, da sie sich während der Kompostierung der Bioabfälle nicht vollständig zersetzen und somit die Reste den fertigen Kompost verunreinigen würden.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Zersetzung von biologisch abbaubaren Verpackungen aus Kunststoff in einer der Realität nachempfundenen Kompostierungsanlage im Technikumsmaßstab. Über einen Zeitraum von zwölf Wochen soll so ermittelt werden, in welchem Ausmaß die Verpackungen sich desintegrieren (Desintegration: Zerlegung in kleinste Partikel).

Gleichzeitig werden die unterschiedlichen Arten von biologisch abbaubaren Kunststoffen mit ihren Rohstoffen und Eigenschaften vorgestellt.

Aus diesen Erkenntnissen soll abgeleitet werden, ob die weitere Verbreitung von biologisch abbaubaren Kunststoffverpackungen für Lebensmittel als wünschenswert anzusehen ist und die Kompostierung die richtige Entsorgungsstrategie ist.

2. Grundlagen

Im Folgenden werden verschiedene Aspekte der Kunststoffe vorgestellt und es wird auf die verschiedenen Arten von biologisch abbaubaren Kunststoffen eingegangen. Der Kompostierungsprozess wird erklärt und zusätzlich werden die gesetzlichen Grundlagen und Normen beschrieben, die für Verpackungen und biologisch abbaubare Kunststoffe von Belang sind.

2.1 Kunststoffe

Kunststoffe sind makromolekulare organische Verbindungen, die hauptsächlich aus Kohlenstoffketten bestehen. Sie werden entweder synthetisch oder durch Umwandlung von Naturprodukten hergestellt und bestehen aus großen Molekülen, die aus 1.000 bis 10.000 niedermolekularen Einheiten zusammengesetzt sind. (Ahlhaus, 1997, S. 76)

Bei der Herstellung werden niedermolekulare Verbindungen (Monomere) zu Makromolekülen durch chemische Synthese zusammengesetzt. (Krüger, 2008, S. 347)

Die Verbindung erfolgt auf drei Arten:

Polymerisation: Gleichartige Monomere schließen sich durch Öffnung der Doppelbindungen der Monomere zusammen, es bilden sich Ketten. (Krüger, 2008, S. 364f)

Polykondensation: Die Makromoleküle werden aus unterschiedlichen Monomeren unter Abspaltung eines Nebenproduktes gebildet. Voraussetzung für die Synthese sind die funktionellen Gruppen der Monomere. Bei mehreren verschiedenen funktionellen Gruppen kommt es nicht zu einer Kettenbildung, sondern zu räumlich vernetzten Makromolekülen. (Krüger, 2008, S. 371)

Polyaddition: Verschiedene Monomere werden miteinander zu Makromolekülen verknüpft, ohne dass es eine Abspaltung von Nebenprodukten gibt. Durch Umlagerung von Wasserstoff innerhalb des Moleküls entstehen die Verknüpfungen. Die entstehenden Makromoleküle haben zwei funktionelle Endgruppen und können räumliche Netzwerke bilden. (Krüger, 2008, S. 374)

Alle Kunststoffe haben eine niedrige Dichte, eine geringe thermische und elektrische Leitfähigkeit, sind brennbar und altern (Eigenschaften verschlechtern sich im Laufe der Zeit). (Ahlhaus, 1997, S. 76)

Die Herstellung von Kunststoffen erfolgt aus fossilen Rohstoffen wie Erdöl und Erdgas. (Stehle, 1997, S. 66f)

Bei der Herstellung von Kunststoffen werden unterschiedliche Hilfs- und Zusatzstoffe eingesetzt. Hilfsstoffe werden benötigt, um den Herstellungsprozess des Kunststoffs zu beeinflussen. Zusatzstoffe dagegen verbessern die Verarbeitungseigenschaften und variieren die Eigenschaften des Kunststoffs. Dazu gehören Farbstoffe, Weichmacher, Antistatika, Gleitmittel und Stabilisatoren. (Ahlhaus, 1997, S. 84f)

Die wichtigsten Verarbeitungsverfahren sind Folienextrusion, Folienthermoformung, Spritzgießen und Extrusionsblasen. Beim Extrudieren wird Kunststoffmaterial in einer Extruderschnecke durch Heizelemente geschmolzen und gemischt. Abbildung 1 stellt einen Extruder dar. Durch die Vorwärtsbewegung der Schnecke wird die Masse durch eine Düse gepresst. Es können, je nach Düse, unterschiedliche Formen gefertigt werden, wie zum Beispiel Folien.

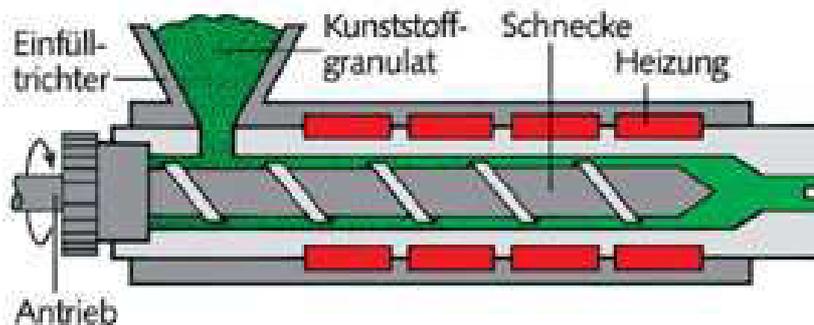


Abb. 1: Der Aufbau eines Extruders

Quelle: Klement, o.J.

Beim Extrusionsblasen wird der Kunststoff zunächst extrudiert. An der Auslassdüse werden Hohlkörper durch Zugabe von Luft aufgeblasen und in einer Matrize geformt. Beim Thermoumformen werden Folien oder Kunststoffplatten erwärmt und in eine Form gedrückt oder gesaugt. Wird flüssiger Kunststoff in eine Form eingebracht und dort abgekühlt, spricht man vom Spritzgießen. (Ahlhaus, 1997, S. 106ff)

Tabelle 1 zeigt die wichtigsten Verpackungskunststoffe und ihre Anwendungsbeispiele.

Tabelle 1: Anwendungsbeispiele wichtiger Verpackungskunststoffe

Quelle: Ahlhaus, 1997, S. 81

Kunststofftyp	Anwendungsbeispiele
Polyethylen PE-LD PE-HD	Folien, Beutel, Tragetaschen, Säcke Flaschen, Verschlüsse, Kanister, Fässer
Polypropylen PP	Klarsichtfolien, Joghurtbecher, Siegelfolien, Verschlüsse
Polyvinylchlorid PVC	Bliester, Deckel, Flaschen, Schalen, Tablettendurchdrückpackungen
Polyethylenterephthalat PET	Flaschen, Schalen, Beutel
Polystyrol PS PS-E***	Becher, Verschlüsse, Gefrierdosen, Kosmetikverpackungen Transportverpackungen für Gerätepolsterungen, Thermo- verpackungen

Nicht alle Kunststoffe können für die Verpackung von Lebensmitteln genutzt werden. (Stehle, 1997, S. 65)

Kunststoffe können neben der thermischen Verwertung auf zwei Arten recycelt werden, entweder durch stoffliches oder durch chemisches Recyceln. Beim stofflichen Recycling werden Kunststoffabfälle, die sortenrein oder gemischt vorliegen zu neuen Kunststoffen eingeschmolzen. Verunreinigungen in diesen Mischungen sorgen für minderwertige Kunststoffe. Dieser Prozess wird Downcycling genannt. Daher wird versucht, möglichst sortenreine Abfälle zum Einschmelzen zu gewinnen. Unter chemischem Recycling versteht man die Abspaltung von Molekülen aus den Makromolekülen der Kunststoffe durch verschiedene chemische Prozesse. Die abgespaltenen Moleküle finden in den Kreisläufen der Chemietechnik Anwendung. (Jungbauer, 1994, S. 33)

2.2 Verpackungssituation in Deutschland

Im Jahre 2009 sind 15 Millionen Tonnen Verpackungsabfälle in Deutschland angefallen. 73,5 % wurden stofflich verwertet, 11,1 % energetisch. Das bedeutet, dass 84,6 % aller Verpackungen verwertet wurden. Gut die Hälfte fällt beim privaten Endverbraucher an. (Umweltbundesamt, 2012)

In Deutschland wird die Entsorgung von Verpackungen durch das „Duale System Deutschland“ organisiert. Dieses sorgt für die Sammlung, Sortierung und Wiederverwertung von recycelbaren Abfällen. Das System finanziert sich durch Herstel-

lerentgelte, die je nach Verpackungsart und –menge einen Obolus leisten müssen. Dieses kann dann auf den Verpackungen mit dem „Grünen Punkt“ gekennzeichnet werden. (Der Grüne Punkt - Duales System Deutschland GmbH, o.J.)

Die wichtigsten Materialien für Verpackungen sind Glas, Papier, Pappe und Karton, Kunststoff, Weißblech, Aluminium und Holz. (Umweltbundesamt, 2012)

2.3 Lebensmittel-Verpackungen

Die ersten Lebensmittel wurden im größeren Stil zu Beginn des 19. Jahrhunderts verpackt, als die Verwendung von Konservendosen begann. Durch Sterilisierung der verpackten Lebensmittel konnte die Haltbarkeit der Lebensmittel stark verbessert werden. Mit der Verbesserung der Konservierungstechniken ist auch die Entwicklung von verschiedenen Verpackungen einhergegangen, da diese einen großen Effekt auf die Haltbarkeit von Lebensmitteln haben.

Kunststoff wird erst seit dem Zweiten Weltkrieg als Material für Lebensmittelverpackungen genutzt. (Jenkins, Harrington, 1991, S. 1)

Der Wandel von „Tante-Emma-Läden“ hin zu Selbstbedienungsgeschäften hat für eine starke Verbreitung von Lebensmittelverpackungen gesorgt. Die Ware ist heutzutage bis auf wenige Ausnahmen bereits verpackt, eine Portionierung durch das Ladenpersonal findet nur noch selten statt. (Stehle, 1997, S. 3)

Kunststoffverpackungen für Lebensmittel weisen viele Vorteile auf. Im Gegensatz zu anderen Materialien wie Glas oder Metall hat Kunststoff eine geringere Dichte, so dass Kunststoffverpackungen leichter sind. Ein geringeres Gewicht sorgt für geringere Transportkosten. Kunststoffverpackungen sind bruchsicherer als Glasverpackungen, daher ist auch das Verletzungsrisiko der Verbraucher beim Umgang mit diesen deutlich geringer. Der Verschluss von Kunststoffverpackungen erfolgt meist durch Heißsiegelung, so dass kein Klebstoff notwendig ist. Kunststoffe erlauben die Produktion von flexiblen Verpackungen. Lebensmittel werden in Kunststoffverpackungen gut vor Umwelteinflüssen und dem Einfluss von Wasser und Sauerstoff geschützt, auch der Einsatz von Schutzgasen in der Verpackung für eine verbesserte Haltbarkeit ist möglich. Kunststoffe lassen sich leicht bedrucken, so dass sich Verpackungen auch gut für Marketingzwecke nutzen lassen. (Jenkins, Harrington, 1991, S. 4ff)

An (Kunststoff-)verpackungen für Lebensmittel werden verschiedene Anforderungen gestellt:

- Stapel- und Druckfestigkeit, ausreichende Steifigkeit, Stoßfestigkeit zum Schutz während des Logistikprozesses
- Formbeständigkeit bei Befüllung mit heißen Lebensmitteln/bei Nutzung als Mikrowellenverpackung etc.
- Transparenz zur Begutachtung des Lebensmittels vor dem Kauf
- Beständigkeit gegenüber Fetten, Ölen, Säuren etc.
- Barriereeigenschaften gegenüber Aromaverlust, Feuchtigkeit, Sauerstoff
- gute Verarbeitungseigenschaften (zum Beispiel Bedruckbarkeit)
- keine Wechselwirkung mit dem Lebensmittel → keine Migration (Ahlhaus, 1997, S. 82f)

Zusätzlich erwartet der Verbraucher von einer Verpackung, dass er das Produkt gut im Geschäft auffinden kann und die Produktinformationen, wie Nährwertangaben und Zutatenverzeichnis, gut lesen kann. Die Verpackung soll einen Originalitätsverschluss gegen unberechtigten Zugriff aufweisen, sich aber auch leicht öffnen und wieder verschließen lassen. Zudem achtet der Konsument auch auf die Umweltverträglichkeit von Verpackungen, diese sollen sich restlos entleeren lassen, wiederverwertbar sein und nur einen geringen Platz im Mülleimer beanspruchen.

Der Handel dagegen erwartet genormte Außenmaße, so dass sich die Verpackungen den gängigen Modulmaßen von Paletten und Regalsystemen anpassen. Für den Hersteller der Lebensmittel ist es wichtig, dass sich die Verpackungen dem Herstellungsprozess anpassen und für alle Prozessschritte wie Kühlen oder Sterilisieren geeignet sind. (Stehle, 1997, S. 3ff)

Um die Nachhaltigkeit von Verpackungen zu verbessern, gibt es derzeit fünf Ansätze:

- „Vermeidung durch Wegfall von Umverpackungen;
- Verminderung durch Gewichtsreduzierung sowie Optimierung der Logistik;
- Verwertung durch Einsatz von Recyclaten und Verbesserung der Recyclingfähigkeit (Eco-Design);
- Verbesserung durch Einsatz nachhaltiger Rohstoffe (FSC-zertifizierte Kartonagen, Biokunststoff usw.) und Vermeidung kritischer Substanzen;

- Verrechnung durch Kompensation von CO₂-Emissionen.“ (Wessendorf, 2011, S. 31)

2.4 Biologisch abbaubare Kunststoffe

Im Bereich der Biokunststoffe muss in zwei Bereiche unterschieden werden, zum einen die biologisch abbaubaren Produkte, zum anderen Produkte, die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Zudem gibt es Produkte, die aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen und biologisch abbaubar sind. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 5)

Neben diesen Arten gibt es auch abbaubare Kunststoffprodukte, die aus normalen Kunststoffen aus Mineralöl bestehen, sich aber zu Kunststoffstaub zersetzen. (Hogan, 2011, S. 56)

Als biologisch abbaubare Kunststoffe werden Materialien bezeichnet, die während eines Kompostierungsvorgangs in Wasser, Kohlendioxid, Methan und Biomasse abgebaut werden. (Linder, o.J.) Kompostierbar sind Stoffe, die sich in einem definierten Zeitraum (Wochen oder Monate) abbauen. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 27)

Für die biologische Abbaubarkeit sind sogenannte Heteroatome (kein Kohlenstoff) verantwortlich, die in den Hauptketten der Moleküle angelagert sind. Diese Atome erlauben den Mikroorganismen, die Molekülketten zu spalten, es kommt zum Primärabbau. Die entstehenden Spaltprodukte können von den Mikroorganismen weiter verstoffwechselt werden, es kommt zu einem Endabbau, siehe Abbildung 2.

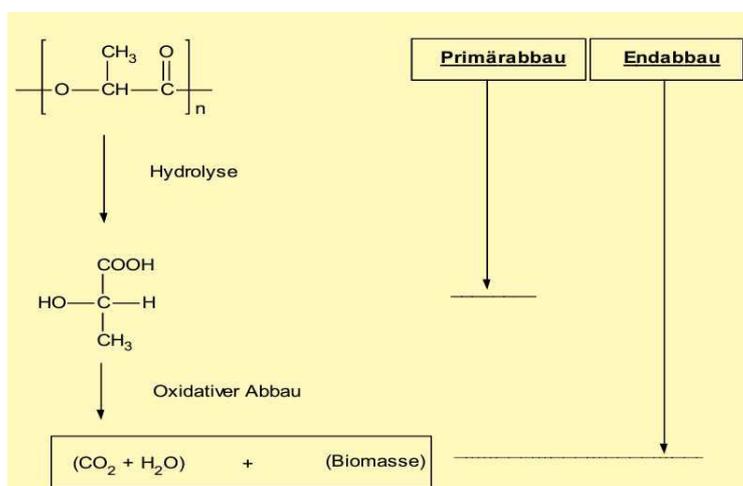


Abb. 2: Der Abbau von biologisch abbaubaren Kunststoffen
Quelle: Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 25

Das Maß der Verstoffwechselbarkeit der Spaltprodukte sorgt dafür, ob ein Produkt vollständig biologisch abbaubar ist oder aber ob es nur desintegriert wird. Nicht vollständig biologisch abbaubare Produkte können sich zum Beispiel im Kompost anreichern. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 25)

Zum einen gibt es petrobasierte biologisch abbaubare Kunststoffe, diese werden aus Erdöl, Erdgas oder Kohle gewonnen. Durch Modifikation können diese Materialien biologisch abbaubar werden. Zum anderen können biologisch abbaubare Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Mögliche Ressourcen sind zum Beispiel Zucker, Stärke, Cellulose, Fette/Öle, Proteine oder Lignin. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 6f)

Neben der Kompostierung als Entsorgungsweg kommen auch weitere Entsorgungsoptionen in Frage, wie zum Beispiel die Umwandlung zu Biogas oder die Verbrennung. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 13) Das thermomechanische Recycling ist für biologisch abbaubare Kunststoffe bisher wenig erprobt. Es ist aber davon auszugehen, dass es auch hier, wie bei den herkömmlichen Kunststoffen, zu Downcycling-Effekten kommt. Gleichzeitig verunreinigen Biokunststoffe die Wiederverwertungsprozesse anderer Kunststoffe. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 253)

Die beste Entsorgungsmöglichkeit für Biokunststoffe ist das Verbrennen, da hier Energie erzeugt werden kann, die mit einem hohen Anteil an biobasierten Werkstoffen immer CO₂-neutraler werden. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 256)

Derzeit gelten nur Abfälle als Bioabfall, wenn sie tierischen oder pflanzlichen Ursprungs sind. (Bioabfallverordnung v. 21.09.1998, § 2, Satz 1) Daher dürfen nur biologisch abbaubare Kunststoffe, die aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen, kompostiert werden, um für den entstehenden Kompost die Zulassung als Düngemittel zu erlangen. Erdölbasierte Additive dürfen nicht enthalten sein, auch nicht, wenn sie als abbaubar/kompostierbar zertifiziert sind. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 83)

Die Erdölvorräte sind begrenzt, zudem steigt die Nachfrage aufstrebender Länder, wie zum Beispiel China. Dies sorgt für steigende Preise beim Rohöl, daraus resultierend steigen auch die Preise für Kunststoffe, die als wichtigsten Rohstoff Erdöl haben. Es ist davon auszugehen, dass auch in den nächsten Jahren ein Preisanstieg zu verzeichnen sein wird. Vor diesem Hintergrund sind die Preise für biologisch abbaubare Kunststoffe gesunken. Es ist wahrscheinlich, dass sich die Preise

in den nächsten Jahren immer weiter an die der erdölbasierten Kunststoffe annähern oder diese sogar unterbieten. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 13ff) Derzeit liegen die Preise der Biokunststoffe je nach Art hauptsächlich zwischen 1,60 und 6,00 EUR/kg, herkömmliche Kunststoffe dagegen kosten etwa zwischen 1,20 und 2,80 EUR/kg. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 218f)

Die physikalischen Eigenschaften der Biokunststoffe sind mit denen der herkömmlichen in etwa vergleichbar, allerdings sind Biokunststoffe nicht sehr beständig gegenüber Temperaturen. Auch eine Verarbeitung mit in der Kunststoffindustrie eingesetzten Maschinen ist meist möglich, allerdings eignen sich nicht alle Biopolymere für hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 247ff)

Zuletzt lag das Augenmerk besonders auf biologisch abbaubaren Kunststoffen für den Verpackungsbereich sowie in der Landwirtschaft. Derzeit steht bei der Entwicklung von Biokunststoffen mehr die Beständigkeit im Vordergrund. Beispielsweise werden in der Automobilindustrie erdölbasierte Kunststoffe gegen Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ausgetauscht. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 22ff)

Bereits in größerem Maßstab werden biologisch abbaubare Kunststoffe für Abfallsäcke, Tragetaschen, Einweggeschirr, Folien, Flaschen, Obst- und Gemüseschalen sowie Verpackungshilfsmittel eingesetzt. (Beier, 2009, S. 5)

Für die Erstellung einer Ökobilanz gibt es bei biologisch abbaubaren Kunststoffen noch sehr wenige Daten. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 275) Die bereits vorhandenen lassen auf ein besseres Abschneiden gegenüber den herkömmlichen Kunststoffen schließen. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 280)

In Deutschland sind Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen noch nicht sehr stark verbreitet, wogegen in Italien, Frankreich und den Niederlanden die Verbreitung schon weiter fortgeschritten ist. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 291)

Bereits in den 90er Jahren gab es einen Boom bei biologisch abbaubaren Kunststoffen im Verpackungsbereich. Allerdings wurde der Einsatz dieser Werkstoffe wieder zurückgezogen, da es zu diesem Zeitpunkt noch keine genormten Testmethoden gab, mit denen die biologische Abbaubarkeit untersucht werden konnte. Die damaligen Verpackungen zerfielen während der Kompostierung in nicht ausreichendem Maße und reicherten sich im Kompost beziehungsweise im

Boden an. Außerdem war der Preis für die biologisch abbaubaren Produkte deutlich höher als für andere Kunststoffe. (Middendorf, 2005, S. 3)

Weltweit gibt es derzeit um die 2.500 Patentschriften im Bereich der Biokunststoffe, etwa 200 verschiedene Produkte sind kommerziell erhältlich. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 46; S. 282)

Marktforscher erwarten, dass die Verbreitung von biologisch abbaubaren Kunststoffen in den nächsten Jahren zunehmen wird. Im Jahre 2010 wurden 48 % der biologisch abbaubaren Produkte in Europa abgesetzt. Hauptsächlich wurden stärkebasierte Kunststoffe sowie PLA nachgefragt. (Ceresana Research, 2011)

Der Marktanteil von biologisch abbaubaren Kunststoffen im Bereich der Kunststoffe lag in Westeuropa im Jahre 2007 noch unter 1 %. (Gahle, Carus, Geuder, 2008, S. 1)

2.4.1 PLA

Polylactidacid/Polylactid (PLA) besteht aus der natürlich und ubiquitär vorkommenden Milchsäure. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 103)

Dieser Werkstoff lässt sich für Spritzguss aber auch für Faser- und Folienanwendungen nutzen. Der Preis liegt unter zwei EUR/kg. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 187f)

Im Folgenden werden einige der positiven Eigenschaften dargestellt, die allerdings von der Art des PLAs abhängen:

- „hohe Kratzfestigkeit
- hohe Transparenz
- sehr gute Bedruckbarkeit
- gute Geruchsbarriereeigenschaft
- relativ gute Sauerstoffbarriere
- beständig gegen Fett, Wasser und Alkohol
- gute Konturtreue
- heiß siegelbar“ (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 187f)

Als nachteilig ist anzusehen:

- „relativ hohe Hydrophilie und Wasserdampfdurchlässigkeit
- Verarbeitung durch Spritzgießen technisch anspruchsvoll (...)
- ohne Additive spröde (...), geringe Schlagzähigkeit

- geringe Wärmeformbeständigkeit“ (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 188)

Aufgrund der starken Wasserdampfdurchlässigkeit, die im Verpackungsbereich meist unerwünscht ist, werden bereits PLA-Verpackungen mit einer weiteren Sperrschicht hergestellt. Bei Obst- und Gemüse- sowie Brotverpackungen macht man sich diese negative Eigenschaft zunutze, da diese Lebensmittel ausdampfen können, ohne dass die Verpackung perforiert werden muss. Die Forschung versucht, die negativen Eigenschaften zu reduzieren, es gibt bereits erste Additive, die die Eigenschaften des PLAs positiv verändern können. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 188f)

Die hohe Transparenz und Klarheit sorgen dafür, dass bei Lebensmitteln eine ansprechende Optik möglich ist. Allerdings ist Folie aus diesem Material eher steif und knistert, so dass Falten beim Verpackungsvorgang zu Einbußen bei der Optik führen. Außerdem lässt sie sich mit gängigen Verpackungsmaschinen nicht gut verarbeiten, unter anderem auch wegen der unzureichenden Reißfestigkeit. (neue verpackung, 2011, S. 70)

Herstellung

Der Herstellung von PLA liegt eine chemische Synthese zugrunde. Milchsäure wird meist durch Fermentation hergestellt. Zur Fermentation kommen verschiedene Mikroorganismen in Frage, allerdings werden meist grampositive, nicht sporenbildende, fakultativ anaerobe homo- und heterofermentative Milchsäurebakterien eingesetzt. Die Bakterien können verschiedene Kohlenhydrate, wie zum Beispiel Saccharose oder Stärke, zu Milchsäure verstoffwechseln. Die entstehende Milchsäure wird isoliert. Aus der Milchsäure werden über einen Verfahrensschritt die Ringmoleküle Meso-(Di-)Lactide. Abbildung 3 zeigt, wie mit Hilfe von Druck, Temperatur und einem Katalysator die Ringöffnungspolymerisation geschieht, die die Bildung von Polylactid nach sich zieht. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 104ff)

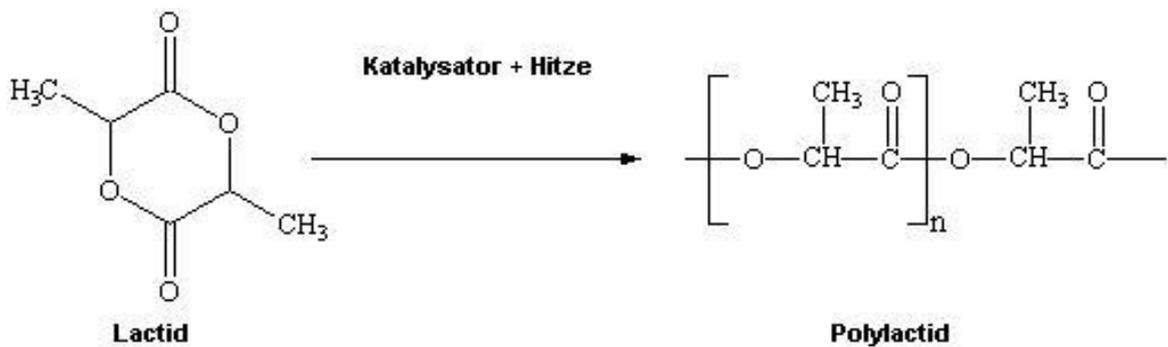


Abb. 3: Ringöffnungspolymerisation

Quelle: Kunststoff-Schweiz, o.J.

Eine andere Möglichkeit ist die direkte Bildung von Polylactid aus der Milchsäure durch Polykondensation mittels eines organischen Lösungsmittels. Durch Einpolymerisation von verschiedenen Esterverbindungen können die Eigenschaften des PLAs verändert werden. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 104ff)

Durch Mischung des PLAs sowie die Zugabe von Additiven und Blendkomponenten erhält man den fertigen Werkstoff, der meist in Granulatform vorliegt. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 107)

Der größte Hersteller von PLA ist derzeit die Firma NatureWorks LLC, die zur Herstellung Mais verwendet, der von gentechnisch veränderten Pflanzen stammt. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 108)

2.4.2 Stärkeblends

Neben dem PLA sind Stärkeblends derzeit die biologisch abbaubaren Kunststoffe mit dem größten Mengenpotential. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 187) Stärke ist ein Polymer pflanzlichen Ursprungs, welches in der Natur weit verbreitet ist und biologisch abbaubar ist. Hauptsächlich wird Stärke aus Mais, Weizen, Kartoffeln, Tapioka und Reis gewonnen. Sie kann direkt aus den Pflanzen durch Auswaschen isoliert werden, durch verschiedene Reinigungs- und Aufbereitungsverfahren erhält man dann die native Stärke. Die Hauptbausteine der Stärke sind Amylose und Amylopektin. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 129f; S. 133)

Der Preis für Stärkeblends liegt zwischen 2,50-5,50 EUR/kg. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 195)

Je nach Art des Blends ist ein Spritzguss oder eine Folienverarbeitung möglich. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 211)

Die Fettbeständigkeit und Antistatik von Stärkeblends ist gut, die Transparenz, Lichtbeständigkeit sowie Aromadichte ist durchschnittlich. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 239)

Die Eigenschaften von Stärkeblends variieren sehr stark, da sie von der Art des Produktes abhängig sind, gemeinsam haben aber alle die geringe Wärmeformbeständigkeit. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 196f) Je höher der Stärkeanteil ist, umso höher ist die Steifigkeit, für eine verbesserte Flexibilität muss der Stärkeanteil gesenkt werden. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 203) Auch weisen die Blends noch abgeschwächt die hydrophilen Eigenschaften der Stärke auf, so dass eine langlebige Anwendung nicht möglich ist. Der Einsatz im Verpackungsbereich ist daher eingeschränkt. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 196f) Die Verpackung von Lebensmitteln beschränkt sich aufgrund der trüben Eigenschaften meist auf Beutel für Obst und Gemüse. Ansonsten werden Hygieneartikel in diesem Material verpackt. Häufiger Einsatzzweck sind Agrarfolien und Müllbeutel für den Bioabfall. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 374)

Herstellung

Wird Stärke extrudiert, entsteht thermoplastische Stärke. Es kommt je nach Prozessführung zu einer thermomechanischen Destrukturierung der Körner oder aber zu einer Verkleisterung durch zugefügtes Wasser. Eine Korndestrukturierung sorgt für starke molekulare Wechselwirkungen zwischen Amylose und Amylopektin. Um dies zu verhindern, wird beim Extrudier-Prozess Wasser hinzugefügt, auch andere Verarbeitungshilfen und Weichmacher finden Verwendung. Da die entstehende thermoplastische Stärke recht spröde ist, werden die Eigenschaften der Stärke durch Modifikation verbessert. Zudem ist dieser Werkstoff recht hydrophil, so dass meist eine Blendung mit anderen Biopolymeren wie PLA oder Polyestern nötig ist. Dabei wird aber versucht, den Stärkeanteil so groß wie möglich zu halten, da diese sehr preiswert ist. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 135f) Fertige Stärkeblends haben maximal einen 70 %-igen Anteil an Stärke. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 195)

Mater-Bi

Einer der wichtigsten Hersteller von Stärkeblends ist die Firma Novamont S.p.A., die ein Produkt mit dem Handelsnamen Mater-Bi herstellt, siehe Abbildung 4. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 285)



Abb. 4: Logo von Mater-Bi
Quelle: GROMART S.p.A., o.J.

Mater-Bi wird in der Verpackungsindustrie, aber auch im Bereich der Landwirtschaft, der Hygiene- und Lebensmittelindustrie genutzt. Auch der Einsatz als Zusatzstoff für Kautschuk ist möglich. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 350) Daneben können Spielzeug und Artikel für den Gartenbau, wie zum Beispiel Blumentöpfe, hergestellt werden.

Es gibt verschiedene Sorten dieses Materials, sie lassen sich Spritzgießen oder Folienextrudieren. Hergestellt wird Mater-Bi aus Mais- oder Kartoffelstärke, die nicht genetisch verändert ist. Es lässt sich einfärben und bedrucken. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 514)

2.4.3 Sonstige

Neben den bereits beschriebenen biologisch abbaubaren Kunststoffen, PLA und den Stärkeblends, gibt es eine Vielzahl weitere Biokunststoffe. Einige Beispiele sind im Folgenden aufgelistet:

Bio-PE

Dieser Werkstoff kann aus Zuckerrohr hergestellt werden. Aus dem Zuckerrohr wird Bioethanol gewonnen, aus dem dann durch Polymerisation Bio-PE hergestellt werden kann. Die Eigenschaften des Bio-PEs sind denen des normalen PEs äh-

lich, so dass es auf die gleiche Art und Weise verarbeitet werden kann. Dagegen ist es aber nicht biologisch abbaubar. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 120f)

PHA (Polyhydroxyalkanoate)

Die PHAs sind eine Polyesterfamilie, die auf gesättigten und ungesättigten Hydroxyalkansäuren basiert. Sie werden durch bakterielle Fermentation hergestellt. Da für den Aufbau eine Vielzahl von unterschiedlichen Monomeren eingesetzt werden können, variieren auch die Eigenschaften der einzelnen Werkstoffe sehr stark. Für einen industriellen Anwendungszweck kommen etwa zehn Produkte in Frage. Sie lassen sich Spritzgießen und sind wasserunlöslich sowie biologisch abbaubar. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 122f)

Cellulosepolymere

Cellulosepolymere wurden schon vor den petrochemischen Polymeren entwickelt und genutzt. In letzter Zeit werden sie wieder verstärkt als Biopolymere eingesetzt. Cellulose kommt in den Zellwänden aller höheren Pflanzen vor, für die Herstellung von Polymeren wird sie hauptsächlich aus Blatt-, Bast- und Baumwollfasern genutzt. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 137)

Eine Anwendung sind Celluloseregenerate, dies ist chemisch gelöste und neu zu Folien oder Fasern zusammengesetzte Cellulose. Sie kann zum Beispiel zu Zellglas oder Cellophan verarbeitet werden. Durch Beschichtungen sind die Regenerate für Verpackungsanwendungen interessant, da sie auch biologisch abbaubar sind. Allerdings haben sie keine thermoplastischen Eigenschaften und sind somit ein Sonderfall. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 143)

2.5 Kompostierungsprozess in Großanlagen

In der Natur entstehen ständig Stoffe, die von Mensch und Tier als Nahrungsmittel genutzt werden. Diese Stoffe werden dann wieder von Mikroorganismen abgebaut. Die entstehenden Produkte (Kohlendioxid, Wasser und Mineralsalze) dienen wieder den Pflanzen als Nahrungsquelle. Die am Abbau beteiligten Mikroorganismen beziehen ihre Energie ebenfalls aus organischen Stoffen, bei der Verstoffwechslung werden diese einfachen Substanzen in kompliziertere Verbindungen umgewandelt. Dieser Prozesse laufen auch bei der Kompostierung ab.

Kohlenhydrate, Eiweiße und deren Derivate lassen sich leicht von Mikroorganismen abbauen, schwieriger ist der Abbau von Ligninen, Fetten, Wachsen, Harzen und Gummi. Die verschiedenen Umsetzungsvorgänge stellt Abbildung 5 dar. (Emberger, 1993, S. 21)

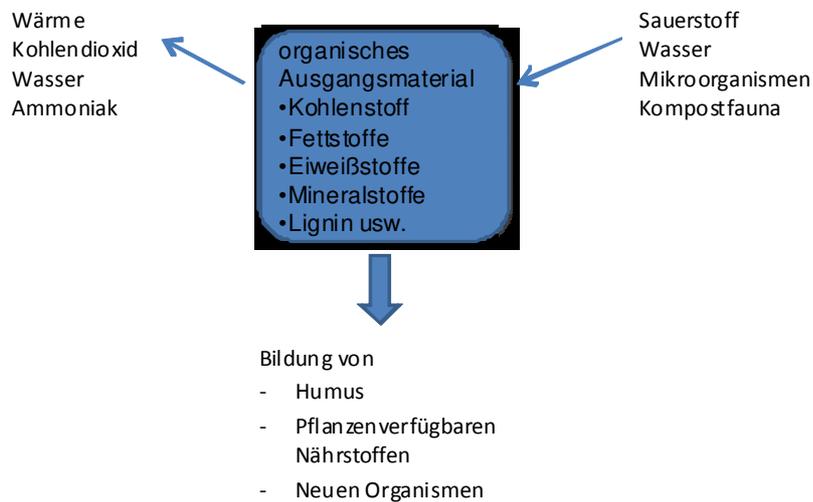


Abb. 5: Umsetzungsvorgänge bei der Kompostierung

Quelle: Emberger, 1993, S.21

Verrottungsvorgänge laufen aerob, also unter Anwesenheit von Sauerstoff, ab. Während dieses Prozesses kommt es zu einer Erhitzung aufgrund der mikrobiellen Vorgänge. Während der Verrottung verrichten unterschiedliche Arten von Mikroorganismen ihre Arbeit, die alle ein Optimum in einem bestimmten Temperaturbereich haben. Es können Temperaturen zwischen 70 und 75 °C erreicht werden. Die hohen Temperaturen sorgen zum einen für eine intensive Tätigkeit der Rotteorganismen, zum anderen werden aber auch pathogene Keime, Parasiten und Ungeziefer sowie Unkrautsamen abgetötet.

Für eine gut ablaufende Rotte ist ein pH-Wert im neutralen bis basischen Bereich und eine Feuchtigkeit von über 30 % notwendig. (Emberger, 1993, S. 23f)

Um einen optimalen Kompostierungsvorgang zu gewährleisten, müssen eine Bedingung erfüllt sein: Das Rottegut muss mit der richtigen Menge an Wasser und Luftsauerstoff versorgt werden, es muss ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen beiden herrschen. Alle Mikroorganismen brauchen Wasser, um Nährstoffe aufnehmen zu können. Zu hohe Wassergehalte sorgen aber dafür, dass nicht genügend Sauerstoff für einen aeroben Abbau vorhanden ist. (Emberger, 1993,

S. 24f) Das Zuführen von Sauerstoff hat aber neben der Versorgung der Mikroorganismen noch weitere Aufgaben: Überschüssiges Wasser wird durch Trocknung entfernt, ein Wärmestau, der eine Inaktivierung der Mikroorganismen zur Folge hätte, wird verhindert und CO₂ kann abgeführt werden. (Bidlingsmaier, 2000, S. 42f) Die Mikroorganismen benötigen als Nährstoffe Phosphor und Stickstoff, die aber in Bioabfällen meist in den richtigen Mengen vorhanden sind, so dass eine zusätzliche Anreicherung dieser Stoffe nicht notwendig ist. Ein hoher Zerkleinerungsgrad des Rotteguts sorgt für eine große Oberfläche, so dass der Kontakt mit den Mikroorganismen verbessert wird und somit die Abbauvorgänge beschleunigt werden. (Emberger, 1993, S. 24f)

Bioabfälle sind Siedlungsabfälle, die Küchenabfälle (zum Beispiel Speisereste, Kaffee- und Teefilter), Blumenerde, Topfpflanzen, Kleintierstreu, Gartenabfälle (zum Beispiel Grasschnitt, Laub, Strauchschnitt) enthalten. In geringen Mengen dürfen auch Schalen von Südfrüchten und Papierabfälle enthalten sein. Die Zusammensetzung schwankt mit den Jahreszeiten. Bioabfälle sind strukturärmer, es sind nur wenig holzige und faserreiche Abfälle wie Äste enthalten. Eine Beimischung von Strukturmaterialien sowie ein häufiges Umsetzen verhindern die Bildung von anaeroben Bereichen im Kompost.

Reine Pflanzenabfälle (Garten- und Grünabfälle) unterscheiden sich von Bioabfällen durch ihre deutlich strukturreichere Zusammensetzung. (Emberger, 1993, S.37f)

Die Sammlung der Abfälle bei den Verbrauchern zu Hause erfolgt über die Bio-Tonne. Etwas weniger als die Hälfte der Einwohner der Bundesrepublik Deutschland nutzt diese Form der Abfallentsorgung. (Funda et al., 2009, S. 8)

Für einen reibungslosen Kompostierungsablauf in einer Großkompostierungsanlage werden die angelieferten Bioabfälle oder Grünabfälle auf Störstoffe untersucht. Fraktionen mit einem zu hohen Anteil an Verunreinigungen werden unter Umständen zurückgewiesen. Im weiteren Verlauf werden Störstoffe durch Siebvorgänge und manuelle Auslese entfernt. Auch Metallabscheidern werden genutzt. Um strukturärmere Abfälle zu kompostieren zu können, werden strukturreiche Materialien zugemischt. Nun beginnt die Rottephase, die zunächst durch sehr hohe Temperaturen und einen starken Abbau der leicht abbaubaren organischen Substanzen gekennzeichnet ist (Intensivrotte). Im weiteren Verlauf nimmt die Temperatur ab und es kommt zur Reifephase, in der der Fertigkompost entsteht. Der Kompost

wird durch Sieben auf die gewünschte Korngröße gebracht, eine Nachbehandlung zur Entfernung von weiteren Störstoffen, zum Beispiel Behandlung mit einem Windsichter, sind möglich. (Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., o.J.a)

Der Kompostierungsprozess kann mit unterschiedlichen Techniken durchgeführt werden. Das Rottegut kann zum Beispiel trapezförmig aufgesetzt werden, die Umsetzung erfolgt mit einem frei fahrenden Umsetzgerät, siehe Abbildung 6



Abb. 6: Trapezförmige Kompostmieten

Quelle: Bundesgütegemeinschaftkompost e.V., 2005

Eine andere Möglichkeit sind Rottetunnel, die 2-4 m breit und 25-50 m lang sind, siehe Abbildung 7. Das Umsetzfahrzeug hat die Breite des Tunnels und fährt in diesen hinein.



Abb. 7: Ein Rottetunnel

Quelle: LINZ AG, o.J.

Neben diesen und anderen statischen Verfahren gibt es auch die Möglichkeit der dynamischen Kompostierung. Hier wird der Kompost für wenige Tage in sich drehenden Trommeln bewegt. Der hier entstehende Kompost ist noch nicht fertig, er muss daher noch in einer Nachrotte reifen. (Bidlingsmaier, 2000, S. 85ff)

Der fertige Kompost kann als Düngemittel oder auch als Bodenverbesserer genutzt werden. Zudem kann er als Inhaltsstoff für Mutterböden und Blumenerden verwendet werden. (Bidlingsmaier, 2000, S. 209)

Ein Komposter im heimischen Garten ist nicht mit der Kompostierung in einem Großkompostierungswerk zu vergleichen. Da in der Regel ein Gartenkomposter nur nach und nach befüllt wird, kommt es nicht zu einer starken Wärmeentwicklung. Bei dieser „Kaltrotte“ findet keine Hygienisierung des Kompostes statt, sie dauert auch länger. Neben Bakterien sind hier auch zum Beispiel Würmer und Käfer an der Kompostierung beteiligt. (Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., o.J.b)

2.6 Gesetzliche Grundlagen/Normen

Für Verpackungen, insbesondere Lebensmittelverpackungen, gelten verschiedene Bestimmungen, die eingehalten werden müssen. Biologisch abbaubare Kunststoffverpackungen unterliegen den Bedingungen verschiedener Normen.

2.6.1 Verpackungsverordnung

Die Verpackungsverordnung legt fest, dass Verpackungsabfälle in erster Linie zu vermeiden sind. In zweiter Linie sollte eine Wiederverwertung stattfinden. Es sollen 65 % der Verpackungen verwertet werden, davon 55 % stofflich. (Verpackungsverordnung v. 21.08.1998, § 1)

Daher müssen die Verpackungen auf ein Mindestmaß reduziert werden. Außerdem dürfen möglichst wenige Umweltauswirkungen bei der Verwertung oder Beseitigung auftreten, es sollen keine schädlichen und gefährlichen Stoffe entstehen. (Verpackungsverordnung v. 21.08.1998, § 12)

Alle Inverkehrbringer von Verkaufsverpackungen, die beim privaten Endverbraucher anfallen, sind verpflichtet, sich an einem System zu beteiligen, das die Sammlung, Sortierung, Verwertung und Beseitigung der Verpackungen gewährleistet. (Verpackungsverordnung v. 21.08.1998, § 6, Absatz 1 und 3) Verpackun-

gen, die nicht beim privaten Endverbraucher anfallen, müssen vom Letztvertreiber zurückgenommen werden. (Verpackungsverordnung v. 21.08.1998, § 7) Die Vorgaben der Paragraphen 6 und 7 müssen für Verpackungen aus biologisch abbaubaren Materialien erst ab dem 01.01.2013 eingehalten werden, die Vertreiber und Hersteller sollen aber sicherstellen, dass ein möglichst hoher Anteil der Verwertung zugeführt wird. (Verpackungsverordnung v. 21.08.1998, § 16, Absatz 2)

Für alle Einwegverpackungen von bestimmten Getränken mit einem Füllvolumen von 0,1-3 L muss ein Pfand von mindestens 0,25 EUR erhoben werden. (Verpackungsverordnung v. 21.08.1998, § 9, Absatz 1 und 2) Dies gilt für Einwegverpackungen, die mindestens zu 75 % aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen, erst ab dem 01.01.2013. (Verpackungsverordnung v. 21.08.1998, § 16, Absatz 2)

2.6.2 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch

Verpackungen für Lebensmittel gelten als Bedarfsgegenstände, da sie einen direkten Kontakt zum Lebensmittel haben. (Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch v.22.08.2011, § 2, Absatz 4, Satz 1) Die Verpackungen sind so herzustellen, dass eine Beeinträchtigung der Gesundheit der Verbraucher ausgeschlossen ist. (Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch v.22.08.2011, § 30) Zudem müssen die Verpackungen den Angaben der Verordnung (EG) Nr. 1935/2004 zum Übergang von Stoffen auf das Lebensmittel entsprechen. (Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch v.22.08.2011, § 31, Absatz 1) Dies bedeutet, dass aus den Verpackungen keine Bestandteile auf das Lebensmittel übergehen dürfen, die für den Konsumenten schädlich sind, die Zusammensetzung des Lebensmittels stark verändern oder die organoleptischen Eigenschaften des Lebensmittels beeinträchtigen. (Verordnung (EG) Nr. 1935/2004 vom 27. Oktober 2004, Artikel 3, Absatz 1)

2.6.3 EN 13432:2000

Diese Norm legt fest, mit welchen Verfahren beziehungsweise Anforderungen die Kompostierbarkeit und anaerobe Behandelbarkeit von Packstoffen und Verpackung festgestellt werden kann. Hierfür werden folgende Kennwerte zu Grunde gelegt:

- biologische Abbaubarkeit
- Desintegration während der biologischen Behandlung

- Auswirkung auf den biologischen Behandlungsprozess
- Auswirkung auf die Qualität des entstandenen Komposts (EN 13432:2000, Absatz 1)

Daraus resultieren Verfahren, die diese Kennwerte bestimmen. Zudem ist das Material zu charakterisieren und die Erkennbarkeit (Kennzeichnung der Verpackung) muss möglich sein. (EN 13432:2000, Absatz 4.2.1)

In der Norm werden Grenzwerte für Schwermetalle und andere toxische Stoffe festgelegt, die für Verpackungen und Packstoffe nicht überschritten werden dürfen. (EN 13432:2000, Absatz A.1.2)

Für die Überprüfung der Desintegration wird bestimmt, dass eine Probe als desintegriert gilt, wenn nach 12 Wochen Kompostierung maximal noch 10% des ursprünglichen Gewichts in einer > 2 mm-Siebfraktion gefunden werden. (EN 13432:2000, Absatz A.3.3.1.1)

Zudem gibt es ein Fließschema, welches die Bewertung der biologischen Abbaubarkeit vereinfacht. (EN 13432:2000, Anhang B)

In Deutschland wird die Zertifizierung durch die DIN CERTO durchgeführt, zertifizierte Produkte dürfen das Keimling-Logo tragen, siehe Abbildung 8.



kompostierbar

Abb. 8: Das Keimling-Logo

Quelle: European Bioplastics e.V., o.J.

In anderen Ländern, wie zum Beispiel Belgien, kann zusätzlich ein Siegel (siehe Abbildung 9) für Produkte vergeben werden, die in einem Hauskomposter, also bei Umgebungstemperatur, biologisch abbaubar sind. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 76 ff)



Abb. 9: Belgisches Siegel für die Hauskompostierung
Quelle: Bio Futura, o.J.a

Längst nicht alle Produkte, die den Vorgaben der EN 13432 entsprechen, können in einem Hauskomposter abgebaut werden. Der Abbau hängt mit der Zusammensetzung des biologisch abbaubaren Kunststoffes zusammen. Manche Materialien sind in zwölf Monaten in einem Hauskomposter fast vollständig abgebaut, andere Materialien weisen keinen signifikanten Abbau auf. (European Bioplastics e.V., 2010, S. 6)

2.6.4 EN 14806:2005

Diese Norm beschreibt einen Vorversuch zur Überprüfung der Desintegration. Materialien, die diese Prüfung bestehen, können als vorläufig desintegrierend angesehen werden. Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass nicht-desintegrierende Materialien in industriellen Kompostierungsanlagen desintegrieren. (EN 14806:2005, Absatz 1) Die Kompostierung erfolgt in Gefäßen, die mit synthetischem Abfall, der mit Kompost aus einer Kompostierungsanlage inokuliert wurde, befüllt wurden. Nach Ende wird der Desintegrationsgrad berechnet. Als Rechengrundlage dienen Kunststoffpartikel, die auf einer > 2 mm-Siebfraktion gefunden werden können. (EN 14806:2005, Absatz 11)

Während der Prüfung muss die Probe bei 58 °C gelagert werden. (EN 14806:2005, Absatz 7.3)

2.6.5 EN ISO 20200:2005

Mit dem in dieser Norm dargestellten Verfahren kann der Zersetzungsgrad von Kunststoffen bei einer Kompostierung im Labormaßstab beschrieben werden. (EN ISO 20200:2005, Absatz 1) Das Prüfmaterial wird mit einem Gemisch aus künstli-

chem Feststoffabfall und Kompost aus einer Kompostierungsanlage vermischt. Am Ende der Prüfung wird der Zersetzungsgrad auf Grundlage der Kunststoffpartikel berechnet, die auf einem Sieb mit einer Maschenweite von 2 mm wiedergefunden werden können. (EN ISO 20200:2005, Absatz 4)

Die Prüfung läuft bei 58 °C ab. (EN ISO 20200:2005, Absatz 7.3)

2.6.6 EN 14045:2003

Die Desintegration von Verpackungsmaterialien im anaeroben Kompostierungsprozess im Technikumsmaßstab kann mit den festgesetzten Bedingungen dieser Norm evaluiert werden. (EN 14045:2003, Absatz 1)

Es werden genaue Vorgaben zur Versuchsdurchführung gemacht. Die Probenvorbereitung, die Behandlung des Kompostes während des Prozesses, die zu messenden Parameter sowie die anschließende Auswertung werden beschrieben. (EN 14045:2003, Absatz 4)

2.6.7 EN ISO 14855-1:2007

Diese Norm beschreibt ein Verfahren, mit dem die vollständige biologische Abbaubarkeit von Kunststoffen überprüft werden kann. Es wird während der Kompostierung in einem aus Bioabfall hergestellten Inokulum der prozentuale Anteil des Kohlenstoffs der Probe bestimmt, der in Kohlenstoffdioxid umgewandelt wird. (EN ISO 14855-1:2007, Absatz 1) Die Versuchsdauer beträgt maximal sechs Monate. (EN ISO 14855-1:2007, Absatz 8.4) Aus den Messwerten kann der prozentuale Bioabbau berechnet werden. (EN ISO 14855-1:2007, Absatz 9.2) Während der Plateauphase muss die Prüfsubstanz einen Abbaugrad von mindestens 90% erreichen. (EN 13432:2000, Anhang A.2.2.2)

3. Durchführung

Für die Marktübersicht von Lebensmittelverpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen in Deutschland werden in ausgewählten Supermärkten und Discountern das Warensortiment nach diesen Verpackungen durchsucht. Eine Anfrage per E-Mail wird an weitere Geschäfte in Deutschland versandt sowie das Internet nach Produkten durchsucht. Aus diesen Produkten werden zwei zur Durchführung des Versuches ausgewählt.

Um zu ermitteln, inwieweit sich biologisch abbaubare Kunststoffe während eines Kompostierungsprozess abbauen, sollen für diese Arbeit Kompostierungsversuche zur Überprüfung der Desintegration durchgeführt werden. Zur Planung werden Großkompostierungswerke besucht, um die gewonnenen Erkenntnisse für eine eigene Versuchsanlage nutzen zu können.

Für den Kompostierungsversuch wird ein Komposter im Technikumsmaßstab auf dem Gelände der HAW-Hamburg aufgebaut und mit Bioabfall aus einem Kompostierungswerk gefüllt. Von den ausgewählten Produkten werden je 20 Proben in den Bioabfall gegeben. Während des Kompostierungsprozess werden verschiedene Parameter kontrolliert und überwacht. In einem Zeitraum von zwölf Wochen wird wöchentlich je eine Probe entnommen und die Desintegration überprüft und dokumentiert. Als Vergleichsprobe werden Produkte aus herkömmlichem Kunststoff untersucht.

In einem Kompostierungswerk werden weitere Proben in einer Kompostmiete aus Grünabfällen platziert, um so einen Vergleich zu einer industriellen Anlage zu haben. Zusätzlich finden Versuche in einem Garten-Komposter statt.

Die Ergebnisse werden ausgewertet und diskutiert. Ein genaues Ablaufschema zeigt Abbildung 10.

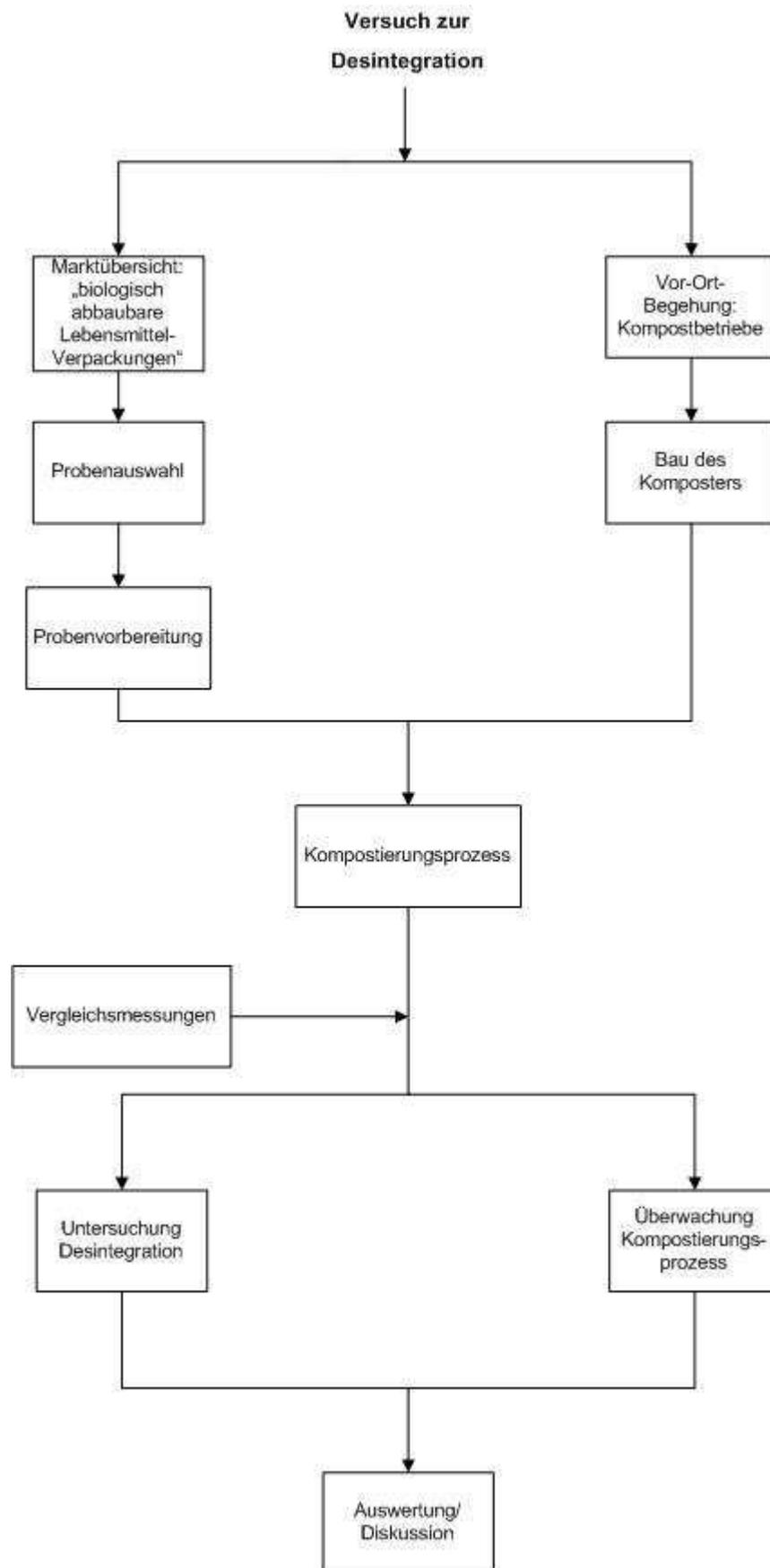


Abb. 10: Ablaufschema des Versuchs

4. Ergebnisse

Im Folgenden werden die gesamten Ergebnisse der Recherchen, des Kompostierungsprozesses und der Messungen dargestellt.

Vorbemerkungen: Für alle Wägungen, die mit der Analysenwaage (Typ Kern ALS 220-4) durchgeführt wurden, wurde die Waage vor der Messung gemäß der Bedienungsanleitung kalibriert. Die Durchführung des Kompostierungsversuchs ist in Anlehnung an die EN 13432 und EN 14045 erfolgt, einige Modifizierungen waren nötig, um die Versuche im Technikumsmaßstab im Rahmen einer Masterarbeit durchführen zu können.

4.1 Produktrecherche

Um einen Überblick über Produkte aus biologisch abbaubaren Kunststoffen zu erhalten, wurde zum einen eine direkte Analyse in verschiedenen Verbrauchermärkten durchgeführt, zum anderen eine Internetrecherche.

Recherche in Verbrauchermärkten

Im Umkreis des Bahnhofs Hamburg-Altona wurden verschiedene Geschäfte mit Produkten des täglichen Bedarfs aufgesucht und das Sortiment (insbesondere Lebensmittel und Hygiene-Artikel) durchforstet nach Produkten oder Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen. Dabei wurden alle Regale durchsucht und auf Hinweise geachtet. Es wurden ein großer Verbrauchermarkt, ein Discounter, eine Drogerie sowie ein Bio-Laden besucht:

- Verbrauchermarkt: toom, Max-Brauer-Allee 59, 22765 Hamburg
- Discounter: Aldi, Grosse Bergstraße 152-162, 22767 Hamburg
- Drogerie: Budnikowsky, Ottenser Hauptstr. 10, 22765 Hamburg
- Bio-Laden: Alnatura, Hahnenkamp 1, 22765 Hamburg.

Recherche im Internet

Da die Ergebnisse der Vor-Ort-Recherche nicht ausreichten, wurden weitere Unternehmen per E-Mail angeschrieben, mit der Bitte, einem Verbraucher Auskunft über Produkte sowie Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen zu geben. Zunächst wurden die persönlich bekannten Unternehmen angeschrieben. Ergänzt wurde die Liste durch verschiedene Ranglisten von wer-zu-wem und den

Mitgliedern des Verbandes der Bio-Supermärkte e.V.. Dabei wurden nur Unternehmen ausgewählt, die mindestens fünf Filialen haben. (wer-zu-wem GmbH, o.J.a; wer-zu-wem GmbH o.J.b; wer-zu-wem GmbH, o.J.c; wer-zu-wem GmbH, o.J.d.; Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), 2011)

Außerdem wurde mit google nach biologisch abbaubaren Produkten gesucht, hierbei wurden auch außerhalb Deutschlands erhältliche Artikel mit einbezogen.

Die Recherche bei den verschiedenen Geschäften hat ergeben, dass es vor allem Tragetaschen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen gibt. Zusätzlich sind Beutel für den Bioabfalleimer erhältlich. Vereinzelt werden biologisch abbaubare Kunststoffe für Verpackungsfolien von Obst und Gemüse bei Rewe eingesetzt. Neben diesen Produkten gibt es verschiedene Sorten von Einweggeschirr zu kaufen beziehungsweise es gibt Läden, die ihre Produkte zum sofortigen Verzehr in Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen anbieten. Eine detaillierte Auflistung der Produkte sowie der Antworten der verschiedenen Unternehmen befindet sich in den Anhängen 1 und 2.

4.2 Probenauswahl

Aus den recherchierten biologisch abbaubaren Produkten wurden für den Kompostierungsversuch zwei Proben ausgesucht: ein Joghurtbecher und eine Frischhaltefolie. So soll zum einen ein sehr dünnes Material, zum anderen ein stabilerer Kunststoff kompostiert werden.

Der Joghurtbecher

Der Joghurtbecher stammt vom Hof Weitenfeld in Vorderhagen (Mecklenburg-Vorpommern), siehe Abbildung 11. Die Produkte dieser Firma werden nur direkt an die Verbraucher vermarktet, etwa mit einer Lieferung durch einen Milchmann oder aber im Direktverkauf vom Hof. Der biologisch abbaubare Joghurtbecher wird mit Joghurt in verschiedenen Geschmacksrichtungen vertrieben. Die Joghurts (250 g) werden im 4er-Verbund zu einem Preis von 2,80 EUR abgegeben.



Abb. 11: PLA-Joghurtbecher vom Hof Weitenfeld

Der Becher ist aus PLA, Handelsname „Ingeo“, welches von Nature Works LLC hergestellt wird. „Ingeo“ bezeichnet alle PLA-Kunststoffe von Nature Works LLC, die sich durch Spritzgießen, Extrudieren oder Thermoumformen verarbeiten lassen. (Endres, Siebert-Rath, 2009, S. 348) Der Hinweis: „Diese Verpackung wird aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt und ist kompostierbar“ ist auf den Bechern aufgedruckt. Sie sind 10 cm hoch und haben einen Innendurchmesser oben von 7 cm und unten von 5,5 cm. Die Wanddicke beträgt in der Mitte etwa 0,11 mm (Durchschnittswert aus 10 Messungen), nach oben und unten hin steigt sie auf 0,19 mm an (Durchschnittswert aus 2 Messungen). Der Boden ist am dicksten mit etwa 0,39 mm (Durchschnittswert aus 5 Messungen). Verschluss ist er mit einem Deckel aus beschichtetem Papier.

Die Frischhaltefolie

Als Frischhaltefolie wurde das Produkt von BioBag ausgewählt, siehe Abbildung 12. Sie ist zum Preis von 3,95 EUR erhältlich. (Bio Futura, o.J.b) Die Folie ist 20 m lang und 29 cm breit. Zusätzlich wird sie auch mit einer Rollenlänge von 250 m angeboten. Die durchschnittliche Dicke beträgt etwa 0,011 mm (Durchschnitt ermittelt aus zehn Messwerten).



Abb. 12: Die Frischhaltefolie von BioBag

Die Folie ist laut Information von Bio Futura aus Mater-Bi. (van Gorp, 2012) Sie wurde in Portugal hergestellt. Die Verpackung trägt den Hinweis, dass sie nicht aus genmanipuliertem Mais hergestellt wurde und der EN 13432 entspricht. Der Verbraucher kann die Folie mit den Speiseresten im Bioabfall entsorgen, da sie biologisch abbaubar und vollständig kompostierbar sein soll. Das Produkt hat nur eine begrenzte Haltbarkeit, ab Kauf etwa ein halbes Jahr.

Vergleichsproben

Um den Unterschied zwischen den biologisch abbaubaren Kunststoffen und den Produkten aus herkömmlichen Kunststoffen zu verdeutlichen, wurde auch eine Frischhaltefolie von Folia (Aldi) sowie ein herkömmlicher Joghurtbecher der Marke „froop“ von Müller Milch aus Polypropylen mit einem Papieraufkleber kompostiert. Der Becher hat einen Deckel aus Aluminium.

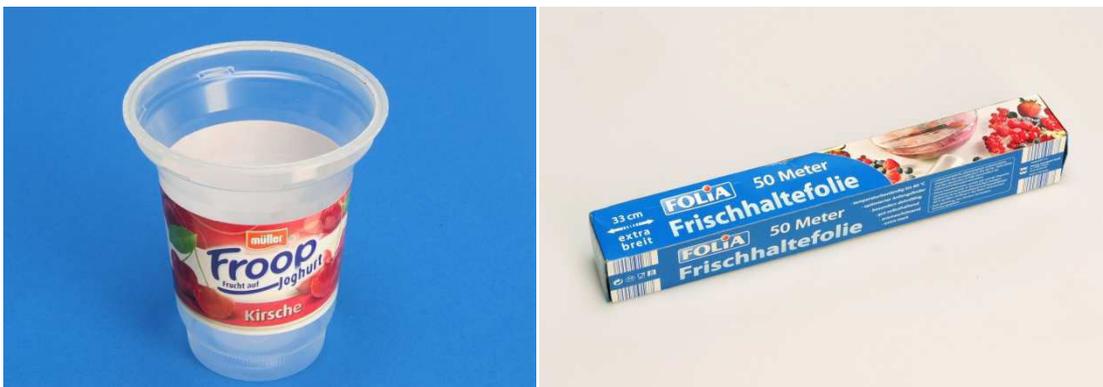


Abb. 13: Die konventionellen Proben

In einem gleichzeitig stattfindenden Kooperationsprojekt wurde eine biologisch abbaubare Tragetasche von Aldi aus Ecovio (Mischung aus PLA und einem biologisch abbaubaren Polyester) und ein Deckel für einen Pappbecher aus PLA („in-geo“) untersucht, siehe Abbildung 14:



Abb. 14: Weitere biologisch abbaubare Proben

4.3 Entwicklung eines Komposterbehälters im Labormaßstab

Für die Versuchsdurchführung musste ein Kompostbehälter gebaut werden. Um die genauen Umstände der Kompostierung kennen zu lernen, wurden zwei Kompostierungsunternehmen besucht, um die daraus gewonnenen Erkenntnisse für den Bau des eigenen Behälters zu gewinnen.

4.3.1 Vor-Ort-Begehung

Um verschiedene Kompostierungsprozesse kennen lernen zu können, wurde zum einen in Norderstedt-Glashütte die K+E Kompost und Erden GmbH besucht, wo Pflanzenabfälle kompostiert werden, zum anderen die Gesellschaft für Abfallwirtschaft und Abfallbehandlung mbH in Kummerfeld/Tornesch, wo Bioabfälle kompostiert werden.

Der Fragebogen für die Betriebsbesichtigung befindet sich im Anhang 3.

Beide Werke werden im Folgenden beschrieben.

4.3.1.1 K+E Kompost und Erden GmbH (16.08.2011)

Die 1984 gegründete K+E Kompost und Erden GmbH ist seit dem Jahre 2004 auf einem neu angelegten Kompostplatz in Norderstedt-Glashütte (Hopfenweg 180, 22851 Norderstedt-Glashütte) angesiedelt.

Hier werden unter freiem Himmel auf einer asphaltierten Fläche Abfälle pflanzlichen Ursprungs kompostiert. Die Abfälle, wie zum Beispiel Laub, Rasenschnitt, Strauch- und Baumschnitt werden von Privatpersonen sowie Firmen/Gemeinden aus dem Umland angeliefert. Den anliefernden Personen/Betrieben wird je nach Menge ein Entgelt in Rechnung gestellt. Bevor abgeladen werden darf, wird eine Sichtkontrolle durchgeführt, ob der Abfall frei von Störstoffen ist. Bei größeren Plastikmengen oder verunreinigtem Kehrricht wird der Abfall abgewiesen. Alle Mitarbeiter sind angehalten, größere Verunreinigungen im abgeladenen Abfall zu entfernen. Neben blauen Säcken, in denen häufig Laub gesammelt wird, und Gartengeräten, findet sich im Grünabfall auch jede Menge anderer Müll, sogar Einkaufswagen und Bettgestelle sind schon aufgetaucht. Dies passiert vor allem dann, wenn Gartenbaubetriebe einen Container an einer öffentlich zugänglichen Stelle aufstellen und dieser für einige Tage stehen bleibt.

Zunächst werden die Abfälle abgeladen und gesammelt. Wenn genügend Material beisammen ist, wird dieses geschreddert und, wenn nötig, mit Strukturmaterial versetzt. Die Abfälle werden zu riesigen, fußballfeldgroßen Kompostmieten aufgesetzt, wie Abbildung 15 darstellt.



Abb. 15: Aufsicht auf eine Kompostmiete

Während der Rotte werden die Mieten in regelmäßigen Abständen, etwa alle zwei bis drei Wochen mit einem freifahrbaren Umsetzer der Firma Backhus, siehe Abbildung 16, umgesetzt. Hier wird mittels zweier sich drehender Walzen die Mietscheibenweise abgetragen und der Kompost über ein Förderband zu einer neuen Mietscheibe aufgesetzt. Bei jedem Umsetzen wird die Mietscheibe um einige Meter versetzt. Durch diesen Vorgang wird der Kompost aufgelockert und es wird neuer Sauerstoff zugeführt.



Abb. 16: Der Backhus-Umsetzer bei der Arbeit

Der Kompostierungsvorgang dauert in Norderstedt etwa 4-6 Monate, je nach Jahreszeit. Während des Kompostierens wird die Temperatur in der Mietscheibe gemessen, um sicher zu gehen, dass genügend Hitze entstanden ist, um Krankheitserreger und Unkrautsamen abzutöten. Zusätzlich werden bei großer Trockenheit die Mieten mit gesammeltem Oberflächenwasser gesprengt. Um eine gleichmäßige Durchfeuchtung zu erreichen, ist ein langandauerndes Wässern über mehrere Stunden notwendig. Dies erfolgt nach Erfahrungswerten, es wird keine Feuchtigkeitsmessung vorgenommen. Ein weiterer Zusatz von Kompostierungshilfen ist nicht nötig.

Der entstehende Kompost wird am Ende der Kompostierung mit einem Trommelsieb gesiebt. Aus dem entstehenden Überkorn werden Störstoffe über einen Windsichter ausgeblasen. Zudem werden Steine abgetrennt, in dem das Überkorn auf einem geneigten Förderband transportiert wird. Die Steine fallen aufgrund der Schwerkraft nach unten und werden als Bauschutt verkauft. Zusätzlich findet eine

Handsortierung statt. Die holzigen Teile im Überkorn werden als Strukturmaterial beim Aufsetzen einer neuer Miete verwendet.

Der Kompost wird je nach Anwendungsart auf eine Korngröße von 10, 13 oder 20 mm abgesiebt und mit einem Metallabscheider gereinigt. Der fertige Kompost muss nun noch für einige Zeit ruhen, um eine Stickstofffestsetzung zu vermeiden, da sonst die Düngemittleigenschaften verschlechtert werden. Aus dem Kompost können 200 verschiedene Mischungen, wie Rasensubstrate und Pflanzerde, angefertigt werden, einige Mischungen sind ständig vorrätig. Der Vertrieb erfolgt sowohl an Privatpersonen, die kleinere Mengen kaufen können als auch an Betriebe, die die Produkte in Big-Bags oder als LKW-Ladung abnehmen.

Die K+E Kompost und Erden GmbH ist Mitglied in der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.. Damit die Produkte das RAL-Gütezeichen tragen dürfen, müssen sie regelmäßig auf unterschiedliche Stoffe, wie zum Beispiel Schwermetalle untersucht werden.

Biologisch abbaubare Kunststoffe werden von K+E Kompost und Erden GmbH abgelehnt, da es derzeit noch keine rechtliche Handhabe gibt, mit der Kompost, in dem biologisch abbaubare Kunststoffe kompostiert wurden, vermarktet werden kann. Zudem ist es schwierig, biologisch abbaubare Kunststoffe von herkömmlichen Kunststoffen zu unterscheiden. Die weitere Verbreitung von biologisch abbaubaren Kunststoffen wird auch als ethisches Problem gesehen, wenn Anbauflächen für die Produktion von diesen Kunststoffen verwendet werden.

4.3.1.2 Gesellschaft für Abfallwirtschaft und Abfallbehandlung mbH (GAB) (31.8. 2011)

Die Gesellschaft für Abfallwirtschaft und Abfallbehandlung mbH ist in Kummerfeld/Tornesch (Bundesstraße 301, 25495 Kummerfeld) angesiedelt. Hier werden etwa 35.000 t Bioabfälle aus dem Kreis Pinneberg sowie den Nachbarkreisen zu Kompost verarbeitet. Der größte Teil des Abfalls stammt aus den braunen Tonnen (Bioabfalltonnen), die alle zwei Wochen geleert werden und nach Tornesch transportiert werden. Daneben ist auch eine direkte Anlieferung von Gartenabfällen von Firmen und Privatleuten möglich.

In die Biotonne dürfen Küchenabfälle wie Speisereste, Obst- und Gemüseschalen, Kaffee- und Teefilter, Eierkartons, außerdem Gartenabfälle (Laub, Rasenschnitt,

Äste etc.). Zusätzlich finden sich auch Haare, Federn, Papiertüten und Sägespäne im Bioabfall. Neben den „erlaubten“ Abfällen werden von den Verbrauchern auch Kunststoffverpackungen und –folien, Glas und anderer Müll über die Biotonne entsorgt.

Die gesammelten Bioabfälle werden zunächst in einer Halle zwischengelagert, bis die Vorbereitung für die Kompostierung beginnt. Hierbei kommt es zu ersten Zersetzungsvorgängen, da die Abfälle nicht mehr „frisch“ sind, sondern unter Umständen bereits zwei Wochen in der Abfalltonne lagen.

Bei der Aufbereitung werden sehr feine Partikel und sehr grobe Partikel abgetrennt. Die feinen Partikel werden direkt dem Kompostprozess zugeführt. Die groben Partikel werden geschreddert und als Strukturmaterial eingesetzt und mit den restlichen Abfällen mit einem Magnetband von metallischen Verunreinigungen befreit, außerdem sortiert ein Mitarbeiter in einer Sortierkabine an einem Laufband Störstoffe wie zum Beispiel Glas oder Plastikabfälle aus.

Wenn die Abfälle besonders feucht sind, wird vor dem Kompostprozess Strukturmaterial untergemischt.

Die Kompostierung bei der GAB erfolgt in geschlossenen Tunneln, diese werden von einem Eintragssystem befüllt. Zunächst bleibt der Bioabfall für zwei Wochen in einem der fünf Intensivrottetunnel, danach noch vier bis fünf Wochen im Nachrottetunnel. Während des Kompostierungsprozesses wird der Kompost in den Tunneln regelmäßig umgesetzt mittels eines Umwälzers, der direkt in die Tunnel einfährt. Zusätzlich kann eine Bewässerung stattfinden, hier wird Sicker- und Kondenswasser genutzt. Ein Ablaufschema zeigt Abbildung 17.

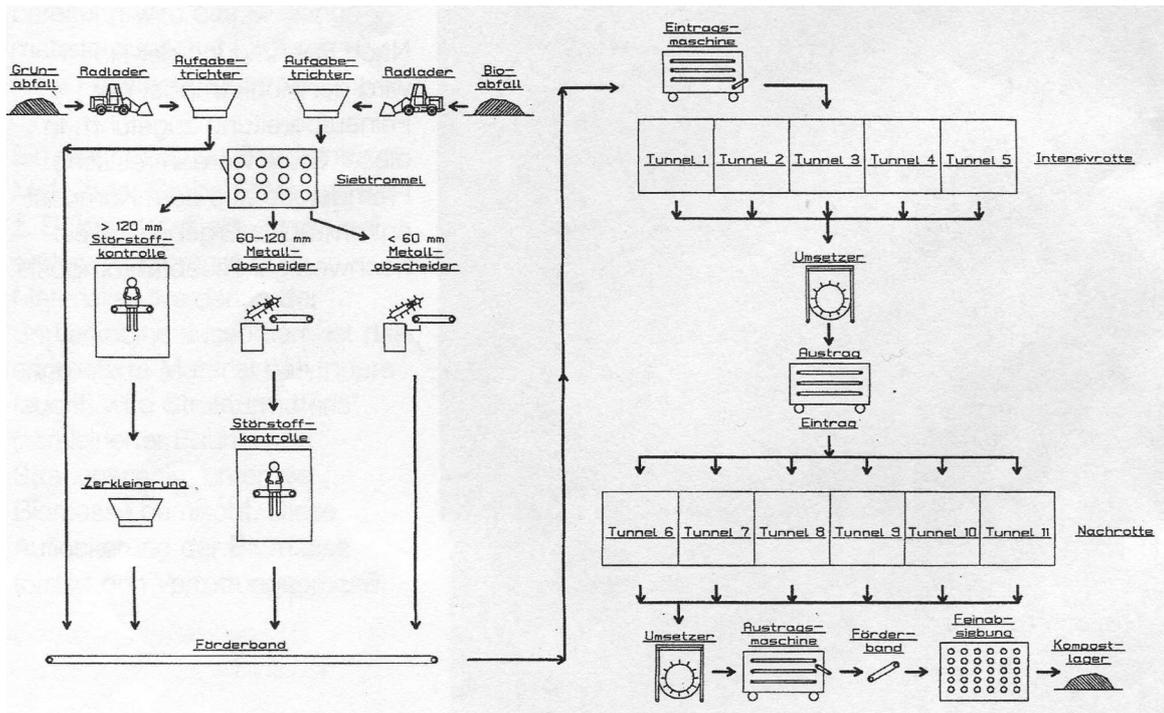


Abb. 17: Der Ablauf bei der GAB
Quelle: GAB

Der fertige Kompost wird erneut gesiebt, um größere Stoffe auszusortieren. Er kann nun von Privatpersonen oder Firmen gekauft werden. Auch er trägt das RAL-Gütezeichen.

Die GAB lehnt biologisch abbaubare Kunststoffe derzeit ab, da die Identifikation dieser Materialien sehr schwer ist. Im Moment sortiert ein Mitarbeiter die Störstoffe aus und muss in Sekundenschnelle entscheiden, welche Stoffe kompostiert werden können oder nicht. Eine weitere Verbreitung würde diesen Sortierprozess erschweren. Auch die Abbaubarkeit während des Kompostierungsprozess wird angezweifelt. Zudem werden ethische Bedenken vorgegeben, da für die Erzeugung meist nachwachsende Rohstoffe genutzt werden, für die Anbauflächen benötigt werden.

4.3.2 Der Bau des Komposters

Als Mindestvolumen für den Kompostbehälter wurden vier m³ gewählt, um ausreichend Kompostmaterial für 84 Proben (die Proben aus dem Kooperationsprojekt werden gleichzeitig kompostiert) vorhalten zu können. Zudem ist die Wärmeentwicklung durch die Mikroorganismen besser, je größer der Komposthaufen ist. Als

Grundfläche wurden 2x2 m² geplant, als Höhe 1,20 m, um noch etwas Luft im Kopfraum zu haben.

Als Standort wurde ein Platz direkt am HAW-Gebäude gewählt, um bei Wind und Wetter einen etwas geschützteren Platz zu haben. Gleichzeitig ist der Ort nach Süden hin ausgerichtet, so dass eine Sonneneinstrahlung auch im Winter möglich ist.

Der Behälter wurde direkt auf dem Rasen aufgestellt, lediglich Kaninchendraht wurde als Untergrund gewählt, um auch den Mikroorganismen aus dem Erdboden den Zugang zum Kompost zu ermöglichen. Gleichzeitig kann so verhindert werden, dass Schädlinge von außen in den Kompostbehälter eindringen können. Zudem wird durch einen offenen Boden verhindert, dass im Behälter Nässe eingestaut wird und es erfolgt eine Luftzufuhr.

Der restliche Aufbau wurde aus Kiefernholz gefertigt, da dieses Material verhältnismäßig kostengünstig ist, sich aber auch gut verarbeiten lässt und für den Zeitraum von zwölf Wochen haltbar ist. Als Befestigungsmaterial wurden Nägel gewählt, da diese leicht zu montieren sind und den Abbau des Behälters nach der Kompostierung vereinfachen. Das Baumaterial wurde bei Max Bahr, Kurt-A. Körber-Chaussee 83, 21033 Hamburg-Bergedorf eingekauft und teilweise dort zugeschnitten.

Das Grundgerüst besteht aus acht Pfosten (einer je Ecke, einer auf jeder Seitenmitte), die von oben und unten mit breiten Brettern fixiert wurden, siehe Abbildung 18. Für die Verbindungen wurden Winkeleisen eingesetzt.



Abb. 18: Das Grundgerüst des Behälters mit der ersten Seitenwand

Auf drei Seiten wurden die Außenwände mit Schalbrettern verkleidet. An der Vorderseite wurde mit einer Leiste eine Schiene gebaut, in die die Schalbretter lose eingesetzt werden können, damit der Behälter problemlos zum Umsetzen des Kompostes geöffnet werden kann. Aus Schalbrettern, die auf Leisten genagelt wurden, wurden zwei Deckel mit den Maßen 1x2 m² gefertigt, siehe Abbildung 19, die auf die Kiste nur lose aufgelegt wurden, um eine Belüftung durch Ritzen zu ermöglichen.



Abb. 19: Ein Deckel

Der gesamte Behälter wurde von außen zur Isolierung mit Baustyropor mit einer Dicke von 5 cm beklebt, zur besseren Fixierung wurden auch hier Nägel eingeschlagen. (EN 14045:2003, Absatz 5.1.1) Um die Wärme der Sonneneinstrahlung zu nutzen, wurden alle Außenflächen mit schwarzer Latexfarbe gestrichen.

Zur Absicherung vor fremdem Zugriff wurde der Behälter mit einer Kette und zwei Vorhängeschlössern versehen. Der fertige Behälter ist auf Abbildung 20 zu sehen.



Abb. 20: Der fertige Kompostbehälter

4.3.3 Der Bioabfall

Der für diesen Versuch verwendete Bioabfall stammt von der GAB - Gesellschaft für Abfallwirtschaft und Abfallbehandlung mbH in Tornesch/Kummerfeld.

Die in Bergedorf angelieferten vier m³ Bioabfall sind bereits so vorbehandelt worden, dass sie direkt zur Kompostierung angesetzt werden können. Die Vorbehandlung wird in Kapitel 4.3.1.2 beschrieben. Da der Abfall in der Regel schon zwei Wochen bei den Verbrauchern zu Hause in der Tonne lag sowie bei der GAB bereits einige Zeit gelagert wurde, war der Abfall nicht mehr „frisch“ und es haben bereits erste Kompostierungsvorgänge begonnen.

Trotz der Vorsortierung war noch Müll im Kompost vorhanden, vor allem Verpackungsfolien waren enthalten, aber auch Batterien, Glas, Besteck und ein Akkuladegerät, siehe Abbildung 21. Diese wurden im weiteren Verlauf noch teilweise aussortiert.



Abb. 21: Angelieferter Bio-Abfall mit Verunreinigungen

4.4 Probenvorbereitung

Die Proben sollen so, wie sie Verwendung im Konsum finden, auch in den Kompost eingebracht werden. Größere Stücke werden auf eine Größe von etwa 10x10 cm zerkleinert. (EN 14045:2003, Absatz 6.1.1.2)

Die Joghurtbecher wurden geleert und mit Wasser und Geschirrspülmittel gereinigt. Oben wurde der feste Rand abgeschnitten sowie der Boden. Aus der Seitenfläche wurde mit Hilfe einer Schablone ein 10x10 cm großes Stück ausgeschnitten. Die Deckel der Becher wurden nicht verwendet.

Ebenso wurde aus der Frischhaltefolie ein Stück dieser Größe geschnitten.

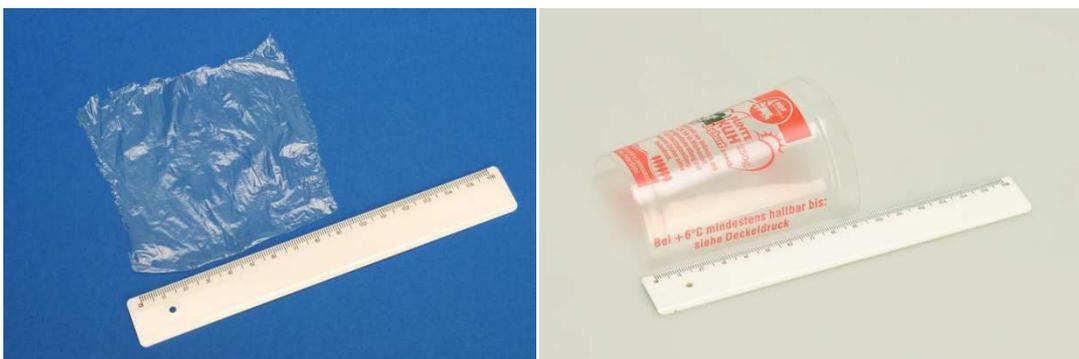


Abb. 22: Zugeschnittene Proben

Die Proben wurden alle einzeln auf einer Laboranalysewaage (Typ Kern ALS 220-4) eingewogen.

Für den Kompostierungsprozess wurden die Proben einzeln in sogenannte Litter-Bags verpackt. Diese haben eine Maschenweite von 1 mm (EN 14045:2003, Absatz 5.1.3). Gefertigt wurden die Beutel mit einem Außenmaß von 30x35 cm² aus Fliegengitter-Meterware. Das Fliegengitter besteht aus 100% Polyester und ist besonders reißfest (texdeko, o.J.). Die Beutel wurden zurechtgeschnitten und mit einer Nähmaschine mit Polyestergergarn zusammengenäht.

Als Verschluss wurden wiederverwendbare Kabelbinder gewählt, auf die ein nummerierter Vogelring zur Identifikation der Proben gefädelt wurde.

Jeder Beutel wurde mit 1-1,5 kg Kompost und einer Probe gefüllt. Dabei wurde darauf geachtet, dass keine Fremdkunststoffe aus dem Bioabfall mit in die Litter-Bags gelangten und dass die einzelne Probe gut von Kompost umschlossen war.

Abbildung 23 zeigt einen Litter-Bag, der fertig gefüllt ist.



Abb. 23: Befüllter Litter-Bag

Von jedem Produkt wurden insgesamt 20 Proben in den Komposthaufen gegeben, damit genügend Ersatz-Proben vorhanden waren. Zusätzlich wurden je eine Probe aus herkömmlichen Kunststoff kompostiert, so dass insgesamt 42 Proben vorhanden waren.

4.5 Der Kompostierungsprozess/Anlagenpflege

Am 10.10.2011 wurde der Bioabfall vom Entsorgungsunternehmen angeliefert. Der Kompost wurde sofort in die Kompostkiste geschichtet und die 42 Proben ein-

gesetzt, siehe Abbildungen 24 und 25. Gleichzeitig wurde der zweite Versuch des kooperationsprojektes (Aldi-Tragetasche und Deckel) durchgeführt, für den ebenfalls 42 Proben benötigt wurden.



Abb. 24: Befüllte Litter-Bags im Kompostbehälter



Abb. 25: Vollständig befüllter Kompostbehälter

Wöchentlich wurde nun der Kompost belüftet, indem der Abfall aus der Kiste geschaufelt und somit gewendet und neu durchmischt wurde, siehe Abbildung 26. (EN 14045:2003, Absatz 6.1.2)



Abb. 26: Aus dem Behälter geschaufter Kompost

Alle Litter-Bags wurden entnommen, geöffnet und der Inhalt der Netzbeutel mit der Hand gewendet. Die Reihenfolge der Litter-Bags wurde bei jedem neuen Einsetzen getauscht, damit die Proben an unterschiedlichen Orten in der Kiste lagen. Von jedem biologisch abbaubaren Produkt wurde je eine Probe zur Untersuchung entnommen. Dieser Vorgang dauerte jedes Mal insgesamt mit zwei Personen fünf Stunden.

Gleichzeitig wurde eine Kompostprobe für die Feuchtigkeits- und pH-Wertmessung genommen.

Aufgrund der Weihnachtsfeiertage konnte in der 11. Woche nach Versuchsbeginn keine Probe gezogen werden.

Nach zwölf Wochen wurde der Versuch beendet, so dass am 03.01.2012 die letzten Proben und auch die Proben aus herkömmlichem Kunststoff entnommen wurden.

4.6 Vergleichsmessungen

Neben der Kompostierung im Versuchsstand an der HAW wurden zwei weitere Versuchsreihen in einem Gartenkomposter sowie in einem Grünkompostierungswerk in Norderstedt durchgeführt.

Gartenkomposter

In einem studentischen Projekt zweier Biotechnologie-Studentinnen wurden die gleichen biologisch abbaubaren Produkte in einem Gartenkomposter untersucht. Hierfür ist ein handelsüblicher Gartenkomposter mit Gitterwänden aus Metall mit Proben bestückt worden. Als Kompostgrundlage dienten Gartenabfälle wie Rasenschnitt, Zweige und Laub. Die Befüllung erfolgte nach einer Anleitung von einem Baumarkt: Als unterste Schicht diente Strauchschnitt, danach wurden Grünschnitt und Strauchschnitt im Verhältnis 2:1 aufgeschichtet. Abbildung 27 zeigt die aufgebauten und befüllten Kompostbehälter.



Abb. 27: Befüllte Gartenkomposter

Die Probenvorbereitung erfolgte auf die gleiche Art wie im Heißkomposter. Zusätzlich wurde in jeden Litter-Bag ein Regenwurm gesetzt. Die Säcke wurden mit Gartenabfällen bedeckt, es wurden keine weiteren Abfälle zugeführt. Die Kompostbehälter wurden mit Komposterde „beimpft“. Weiterhin wurde ein stickstoffhaltiger Kompostbeschleuniger eingesetzt. Wöchentlich wurden auch hier Proben entnommen.

Grünkompostierung bei K+E Kompost und Erden GmbH

Um den direkten Vergleich der Proben mit einem Großkompostierungswerk zu haben, wurden bei der K+E Kompost und Erden GmbH in Norderstedt ebenfalls Proben eingesetzt. Hier ließ sich eine Probenplatzierung sowie Entnahme durchführen. In Tornesch bei der GAB wäre dies nicht möglich gewesen, da die Kom-

postierung in Rottetunneln stattfindet, in die der Umsetzer direkt einfährt. Eine Bergung der Proben wäre nicht möglich gewesen.

Die Probenvorbereitung erfolgte auf die gleiche Art wie für den Komposter auf dem HAW-Gelände. Von jedem biologisch abbaubaren Produkt wurden zwei Proben eingesetzt.

Die Proben wurden am 20.10.2011 in eine frisch aufgesetzte Kompostmiete eingelegt. Um das Wiederauffinden zu erleichtern, wurde die Stelle mit Markierungsstangen versehen und die Litter-Bags mit Absperrband verbunden, siehe Abbildung 28.



Abb. 28: Eingesetzte Proben mit Markierungsstangen

Die Kompostmiete wurde in unregelmäßigen Abständen, etwa alle ein bis zwei Wochen, mit dem Umsetzfahrzeug gewendet. Der Umsetzer hat sich so dicht wie möglich den Proben genähert, dann hat ein Radlader die Proben ausgegraben. Alle Litter-Bags wurden geöffnet und der Inhalt von Hand gewendet. Anschließend wurden die Litter-Bags wieder in die frisch umgesetzte Miete eingesetzt und mit Kompost bedeckt.

Da der Kompostierungsversuch im Herbst stattfand, wurde die Miete häufiger als normal (alle zwei bis drei Wochen) umgesetzt, weil im Herbst besonders viele Grünabfälle angeliefert werden. Aufgrund der Jahreszeit wurde die Kompostierung der Miete bereits nach neun Wochen beendet. Um die biologisch abbaubaren Proben mindestens zwölf Wochen kompostieren zu können, wurden diese wieder

in eine neu aufgesetzte Miene eingesetzt. Nach 12,5 Wochen wurde der Versuch beendet.

Bei jeder Umwälzung wurde eine Kompostprobe für die Feuchtigkeits- und pH-Wert-Bestimmung entnommen.

4.7 Auswertung der Proben

Die aus dem Kompost entnommenen Proben wurden aus den Litter-Bags genommen und auf Tablets ausgebreitet. Etwa eine Woche wurden die Proben bei Raumtemperatur getrocknet und zwischendurch mehrfach gewendet, um eine gleichmäßige Durchtrocknung zu erhalten.

Im Anschluss wurden die Proben mit der Siebmaschine (Typ AS 200 control „g“) gesiebt. Die Abbildung 29 zeigt die Siebmaschine.



Abb. 29: Siebmaschine AS 200 control „g“

Hierfür wurde ein Siebturm mit zwei Sieben sowie einer Auffangschale gebaut. Zum einen wurde ein Sieb mit einer Maschenweite von 2 mm gewählt, da dieses durch die EN 13432 vorgegeben ist. Zum anderen wurde ein Sieb mit einer Maschenweite von 5,6 mm gewählt, um gröbere Teilchen zur Vereinfachung der weiteren Auswertung abtrennen zu können.

Als Siebbodenbeschleunigung wurden 8 g gewählt, da die Betriebsanleitung 4 g für einen sehr steilen Wurf vorgibt, der eine sehr scharfe und auflockernde Siebung verursacht. Da in der Laborpraxis meist Mehrschichtenproben gesiebt wer-

den, kann der vorgegebene Wert mit dem Faktor 1,5-2 multipliziert werden. Da die Kompostproben sehr unterschiedliche Partikel und auch Klumpen aufwiesen, konnte nur mit dieser Siebbodenbeschleunigung ein gutes Ergebnis erhalten werden. (F. Kurt Retsch GmbH & Co. KG, 1997, S. 14) Die Siebdauer betrug 5 Minuten, da sich gezeigt hat, dass in dieser Zeit eine gute Trennung möglich ist. Nach dem Siebvorgang erhält man drei Fraktionen ($>5,6$ mm; $2-5,6$ mm; < 2 mm), siehe Abbildung 30.



Abb. 30: Siebturm mit den einzelnen Fraktionen

Diese wurden alle einzeln mit Hilfe eines Spatels und einer Pinzette durchsucht. Alle Kunststoffpartikel, die noch vorhanden waren, wurden aussortiert. Es wurden auch die Partikel, die kleiner als 2 mm waren, herausgenommen, um festzustellen, wie viele der Kunststoffe noch vorhanden waren, obwohl sie laut EN 13432 bereits abgebaut sein sollten.

Die Kunststoffpartikel werden im Anschluss mit Wasser gereinigt und getrocknet. (EN 14045:2003, Absatz 6.1.3.2) Im Verlauf der Kompostierung wurden die Kunststoffteilchen immer empfindlicher, so dass auf eine Reinigung mit Wasser verzichtet wurde. Die Partikel wurden nur noch manuell gereinigt, um grobe Schmutzanhaftungen zu beseitigen.

Im Anschluss wurden die Partikel, getrennt nach Fraktionen, mit der Analysenwaage (Typ Kern ALS 220-4) ausgewogen. Aus der Rückwaage wurde das Verhältnis zum Ausgangsgewicht, die Wiederfindungsrate, berechnet:

$$W = \frac{\text{Wiederfindung Probe[g]}}{\text{Anfangsgewicht Probe[g]}} \times 100\%$$

Neben diesen Messungen wurden auch Kompostproben für Mikroskopaufnahmen aufbereitet. Aus den Wochen 6 und 12 wurde aus von dem bereits durchsortierten Kompost der Fraktion < 2 mm eine Probe genommen und mit einem Sieb mit einem Durchmesser von 0,1 mm gesiebt. Zusätzlich wurde so auch je eine Probe aus dem Kompost aus der Kompostkiste aufbereitet. Mittels Klebefilm wurden davon einige Partikel aufgenommen und auf einen Objektträger aufgebracht. Mit einem Mikroskop (Typ Zeiss Axioskop 40) wurden bei 100-facher Vergrößerung Aufnahmen gemacht.

4.8 Randparametermessung

Um den Kompostierungsprozess überwachen zu können, wird wöchentlich die Feuchtigkeit und der pH-Wert gemessen, die Temperatur zweimal täglich.

Diese Parameter werden auch für die Kompostierung bei K+E Kompost und Erden GmbH erhoben.

Nach Beendigung der Kompostierung werden ein Kresstest sowie die Bestimmung des Reifegrades durchgeführt.

Die einzelnen Methoden werden im Folgenden beschrieben.

4.8.1 Temperaturmessung

Während eines Kompostierungsprozesses zur Überprüfung der Desintegration von Verpackungen soll mindestens einmal pro Werktag eine Temperaturmessung vorgenommen werden. (EN 14045:2003, Absatz 6.2.2.3)

Um diese Messung zu vereinfachen, wurden die USB-Datenlogger EL-USB-1 der Firma Lascar Electronics verwendet, siehe Abbildung 31.



Abb. 31: USB-Datenlogger EL-USB-1

Diese sind für einen Temperaturbereich von -35 °C bis $+80\text{ °C}$ geeignet mit einer Auflösung von $0,5\text{ °C}$ und können auch im feuchten Bereich eingesetzt werden. Die Messintervalle können von zehn Sekunden bis zwölf Stunden variiert werden. Zur Auswertung der Daten können die Logger an der USB-Schnittstelle eines Computers mit Hilfe einer beigefügten Software ausgelesen werden. (Conrad Electronic SE, o.J.)

Für die Messung im Komposthaufen wurden drei Datenlogger platziert:

1. Seite: Datenlogger befand sich direkt an der Seitenwand der Kiste, etwa 20 cm unter der Kompost-Oberfläche.
2. Mitte: Datenlogger wurde an einem Blumenstab zur besseren Wiederauffindbarkeit mittig im Kompost platziert. Abbildung 32 zeigt diesen Datenlogger.
3. Oben: Datenlogger wurde 5-10 cm unter der Oberfläche mittig platziert.

Alle drei Logger wurden zusätzlich in einen Gefrierbeutel verpackt, um eine Beschädigung durch den Kompost zu verhindern. Zusätzlich wurde in jeden Gefrierbeutel ein Stück Zellstoff gelegt, um entstehendes Kondenswasser aufsaugen zu können.



Abb. 32: Datenlogger „Mitte“

Als Messintervall wurden zwölf Stunden gewählt, da dies die größtmögliche Zeitspanne darstellt. Kleinere Zeitabstände waren nicht nötig. Als Messzeiten wurde 5.00 Uhr und 17.00 Uhr gewählt, da zu diesen Zeiten keine Umwälzung des Kompostes stattfand.

Bei jedem Umwälzprozess wurden die Messeinheiten aus dem Kompost genommen und die Daten ausgelesen. Nach einer erneuten Programmierung der Logger wurden diese erneut im Bioabfall platziert.

Die Temperaturmessung bei K+E Kompost und Erden GmbH erfolgt durch stationäre Messfühler, an denen an Werktagen die Temperatur abgelesen wird.

4.8.2 pH-Messung

Zur Überprüfung des Rotteverlaufs wird nach jedem Umsetzten eine pH-Wertmessung vorgenommen. Dazu wurde der Kompost im Verhältnis 1:5 mit deionisiertem Wasser gemischt, auf Basis des Feuchtegewichts. Es wurden 20 g Kompost mit 100 g Wasser vermengt. Die Messung wird im flüssigen Überstand vorgenommen, nachdem der Kompost sich fünf Minuten abgesetzt hat. (EN 14045:2003, Absatz 6.1.1.1)

Gemessen wurde mit einem pH-Meter (Typ Greisinger GPH 014). Es wurde vor jeder Messung neu gemäß Gebrauchsanweisung kalibriert. Zunächst wurden dafür die Pufferlösungen mit pH 4 und pH 7 verwendet, nach zunehmendem pH-Wert des Kompostes die Pufferlösungen mit pH 7 und pH 10.

4.8.3 Messung der Feuchtigkeit

Nach jedem Umsetzen wird dem Kompost eine Probe zur Bestimmung der Feuchtigkeit entnommen. (EN 14045:2003, Absatz 6.2.2.2)

Zur Überprüfung des Wassergehaltes werden 20-30 g der feuchten Kompostprobe mit der Analysenwaage (Typ Kern ALS 220-4) in gläserne Tiegel eingewogen und anschließend im Trockenschrank (Typ Hareus UT 5042 E) bei 105°C für vier Stunden getrocknet. Danach werden die Tiegel eine Stunde im Exsikkator abgekühlt und die Tiegel zurückgewogen. Die Feuchtigkeit wird mit folgender Formel berechnet:

Berechnung Trockensubstanz:

$$TS [\%] = \frac{\text{Trockenmasse (105°C)} \times 100}{\text{Einwaage (naturfeucht)}}$$

Berechnung Wassergehalt/Feuchtigkeit:

$$\text{Wassergehalt } W [\%] = 100 - TS [\%]$$

Es wird eine Doppelbestimmung durchgeführt und der durchschnittliche Wassergehalt ermittelt. (Fiedler, H.J., 1997, S. 64f.)

4.8.4 Bestimmung des Rottegrades

Zur Bestimmung des Rottegrades wird ein Selbsterhitzungsversuch durchgeführt. Dafür wird frischer Kompost auf <10 mm abgesiebt. Der Wassergehalt wird mittels „Faustprobe“ überprüft: In der Faust wird etwas vom Kompost gedrückt, tritt Wasser aus, ist er zu nass und muss getrocknet werden, zerfällt die Probe beim Öffnen der Faust, ist sie zu trocken und muss gewässert werden.

In ein Dewar-Gefäß (doppelwandiges Isoliergefäß), siehe Abbildung 33, werden 1,5 L des so aufbereiteten Komposts gefüllt. Im unteren Drittel des Behälters wurde ein USB-Datenlogger (siehe Kapitel 4.8.1) platziert, der auf eine Messung alle sechs Stunden programmiert wurde.



Abb. 33: Dewar-Gefäß

Der offene Behälter wird bei Raumtemperatur für 10 Tage aufbewahrt. Am Ende wird das Temperaturmaximum ausgelesen und einem Rottegrad zugeordnet. (Oberholz, o.J., S. 91ff)

4.8.5 Kressetest

Der Kressetest wird verwendet, um die Pflanzenverträglichkeit des Kompostes zu ermitteln. Kresse ist eine empfindliche Pflanze, die nur bei guten Bedingungen zu keimen beginnt.

Für den Test wird frischer Kompost auf <10 mm abgeseibt und in Schalen mit etwa 12 cm Durchmesser 7 cm hoch aufgeschüttet. Der Kompost wird angegossen und 1 g Kresse auf die Oberfläche gestreut und angedrückt. Die Schalen werden mit einer Glasplatte abgedeckt und aufgrund des fehlenden Gewächshauses bei Raumtemperatur am Fenster aufbewahrt. Neben einer Kompostprobe wird auch eine Keimung auf gedüngter Einheitserde (Blumenerde) angesetzt. Zusätzlich wurden Kompostproben aus je einem Litter-Bag mit einem dünnen und einer stabileren, festeren biologisch abbaubarem Kunststoff untersucht.

Nach sieben Tagen werden die Pflanzen miteinander verglichen.

4.9 Ergebnisse des Versuchs

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Messungen dargestellt, indem nächst die Parameter der Kompostüberwachung aufgeführt werden und danach die Messwerte der Proben.

4.9.1 Ergebnisse des Komposters

Die Ergebnisse der einzelnen Messungen, mit denen der Kompostierungsfortschritt überwacht und bestimmt wird, werden vorgestellt.

4.9.1.1 Ergebnisse der Temperatur

Während des Messprozesses hat sich gezeigt, dass der Datenlogger „Mitte“ defekt ist, da nur sehr unregelmäßig gemessen wurde. Daher können diese Daten nicht ausgewertet werden.

Es liegen demnach nur die Daten der Messstellen „Seite“ und „Oben“ vor, siehe Abbildungen 34 und 35. Nur „Seite“ hat während der gesamten Versuchsdauer regelmäßig gemessen, „Oben“ nur teilweise.

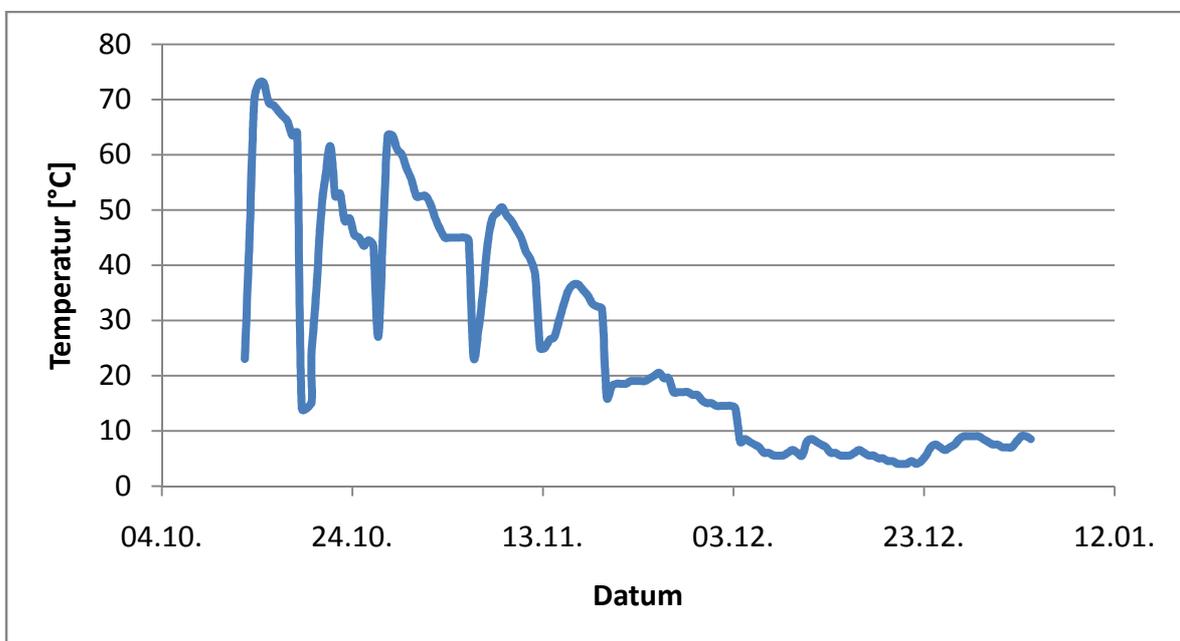


Abb. 34: Temperatur HAW-Komposter „Seite“

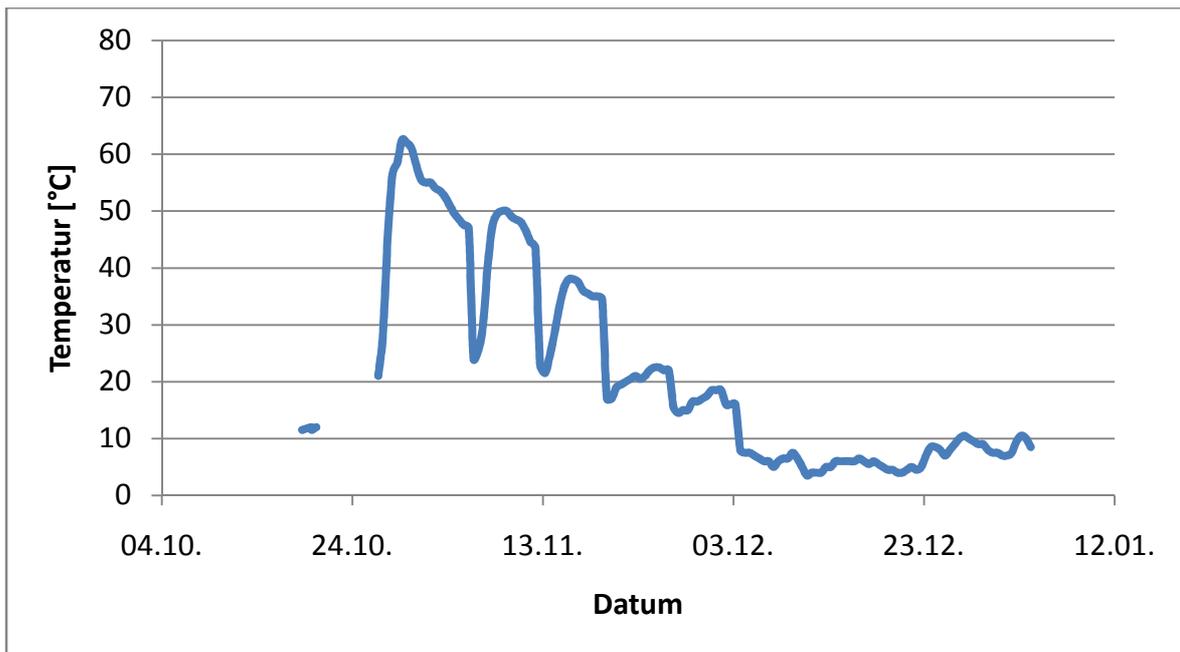


Abb. 35: Temperatur HAW-Komposter „Oben“

Die regelmäßigen starken Abfälle der Temperatur zu Beginn der Kompostierung sind auf das Umsetzen des Komposts zurückzuführen. Da dieser Vorgang bis zu fünf Stunden dauerte, ist der Kompost aufgrund der niedrigeren Umgebungstemperatur abgekühlt. In den letzten Wochen der Kompostierung hat sich die Temperatur immer stärker der Umgebungstemperatur angenähert.

Die maximal gemessene Temperatur war 73 °C. Somit lag die Temperatur nicht über 75 °C. In mindestens einer Woche war die Temperatur über 60 °C, in vier aufeinanderfolgenden Wochen über 40 °C. So sind diese Werte laut EN 14045 als gültig für die Prüfung zu betrachten. (EN 14045:2003, Absatz 8)

Damit liegen die Temperaturwerte auch für mindestens eine Woche über 60 °C (für offene Systeme 65 °C) beziehungsweise in zwei aufeinanderfolgenden Wochen über 55 °C. Somit entspricht dies den Vorgaben der Bioabfallverordnung. (Bioabfallverordnung v. 21.09.1998, Anhang 2, Absatz 2.1)

Die Rohdaten der Temperaturmessung für den HAW-Komposter finden sich in Anhang 4.

Auch bei K+E Kompost und Erden GmbH lag die Temperatur nicht über 75 °C, eine Temperatur für vier Wochen über 40°C und eine Temperatur über 60°C für eine Woche wurde erreicht, siehe Abbildung 36. Neben den Vorgaben der EN 14045 konnten auch die Vorgaben der Bioabfallverordnung eingehalten werden. Die Temperaturaufzeichnung des Kompostierungsprozess erfolgte nicht über den

gesamten Zeitraum, da diese beendet werden, wenn die Vorgaben der Bioabfallverordnung erreicht wurden.

Die Rohdaten der Temperaturmessung bei K+E Kompost und Erden GmbH finden sich im Anhang 5.

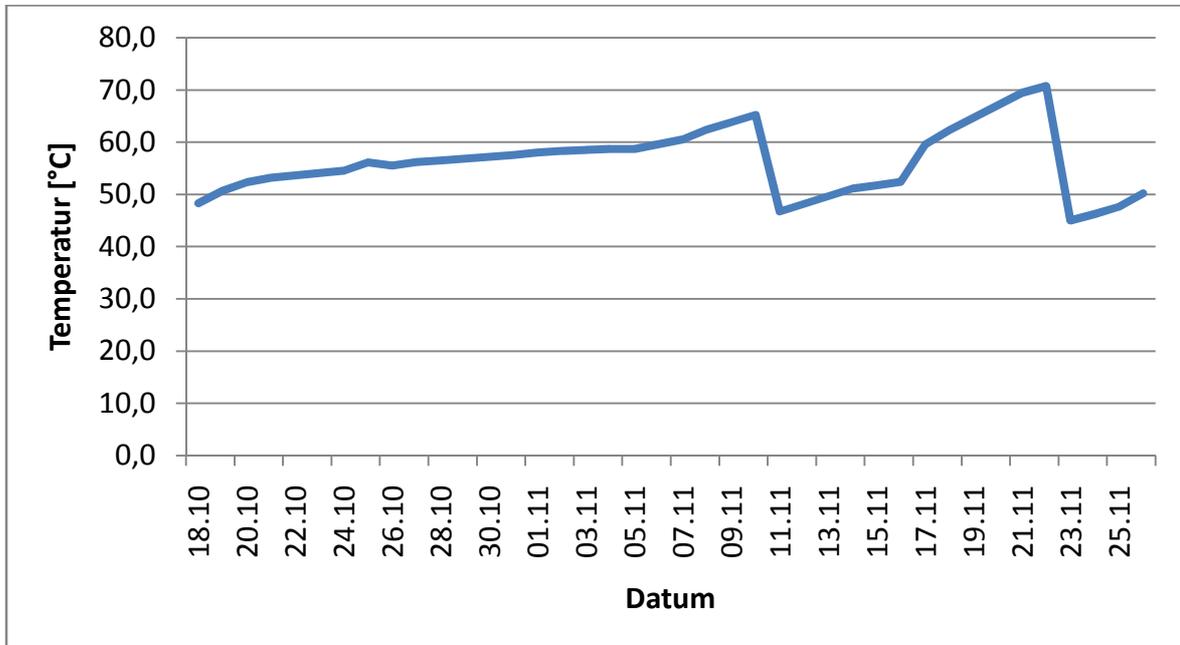


Abb. 36: Temperaturwerte für K+E Kompost und Erden GmbH

4.9.1.2 Ergebnisse des pH-Werts

Der pH-Wert im HAW-Komposter betrug zu Beginn der Kompostierung 4,98 und lag damit knapp unterhalb des vorgegebenen Wertes von pH 5, siehe Abbildung 37. (EN 14045:2003, Absatz 6.1.1.1) Es wurde verzichtet, den pH-Wert zu korrigieren, da der Messwert nur eine geringe Abweichung vom Soll-Wert zeigte. Im Verlauf der Messung sollte sich ein pH größer als 7 einstellen. (EN 14045:2003, Absatz 8) Innerhalb der ersten drei Wochen stieg der pH-Wert auf 8,34 an und pendelte sich im Verlauf des weiteren Versuches auf 7,5-8,00 ein.

Die Rohdaten für die pH-Wert-Messung des HAW-Komposters befinden sich im Anhang 6.



Abb. 37: pH-Werte des HAW-Komposters

Bei K+E Kompost und Erden GmbH war der pH-Wert etwas höher. Bis auf zwei Messungen waren alle Werte über zwischen pH 8 und 9. Den genauen Verlauf zeigt Abbildung 38.

Die Rohdaten für die pH-Wert-Messung bei K+E Kompost und Erden GmbH befinden sich im Anhang 7.

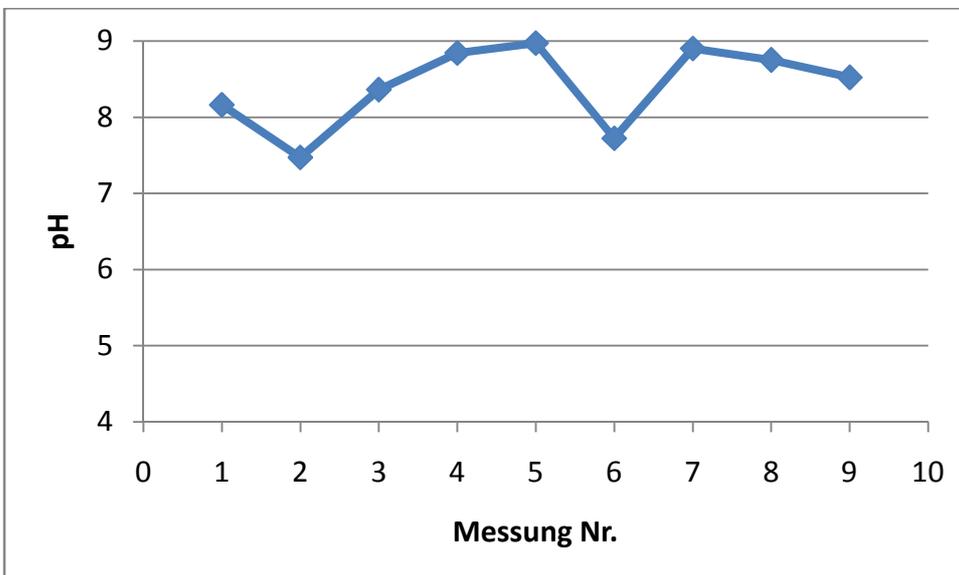


Abb. 38: pH-Werte bei K+E Kompost und Erden GmbH

4.9.1.3 Ergebnisse der Feuchtigkeit

Zu Beginn der Kompostierung muss der Bioabfall mindestens einen Wasseranteil von 50 % aufweisen. (EN 14045:2003, Absatz 6.1.1.1) Im Verlauf der Messung soll er mindestens 40 % haben. (EN 14045:2003, Absatz 6.2.2.2)

Zu Beginn der Messung hatte der Kompost einen Wassergehalt von knapp unter 50 %. Auf eine Korrektur wurde verzichtet, da dieser nur leicht vom Sollwert abwich. Nach zwei Wochen kam es zu einem Anstieg des Wassergehaltes. Dies ist auf starke Niederschläge, vor allem während des Umwälzens in Woche 1 zurückzuführen. In den folgenden Wochen sank der Feuchtegehalt aufgrund des für Oktober/November (Woche 2-6) recht warmen und trockenen Wetters auf unter 40 %, daher wurden beim Umwälzen in Woche 5 120 L Leitungswasser schichtweise in den Kompost eingebracht. In Woche 6 konnte der Effekt der Wässerung deutlich wahrgenommen werden. In den folgenden Wochen stieg der Wassergehalt im Kompost aufgrund des niederschlagsreichen Dezembers (Woche 7-10) stark an. Der Deckel des Kompostbehälters hat einen Teil der Niederschläge durchgelassen.

Den Verlauf der Feuchtigkeit zeigt Abbildung 39.

Die Rohdaten für die Feuchtigkeits-Messung des HAW-Komposters befinden sich im Anhang 8.

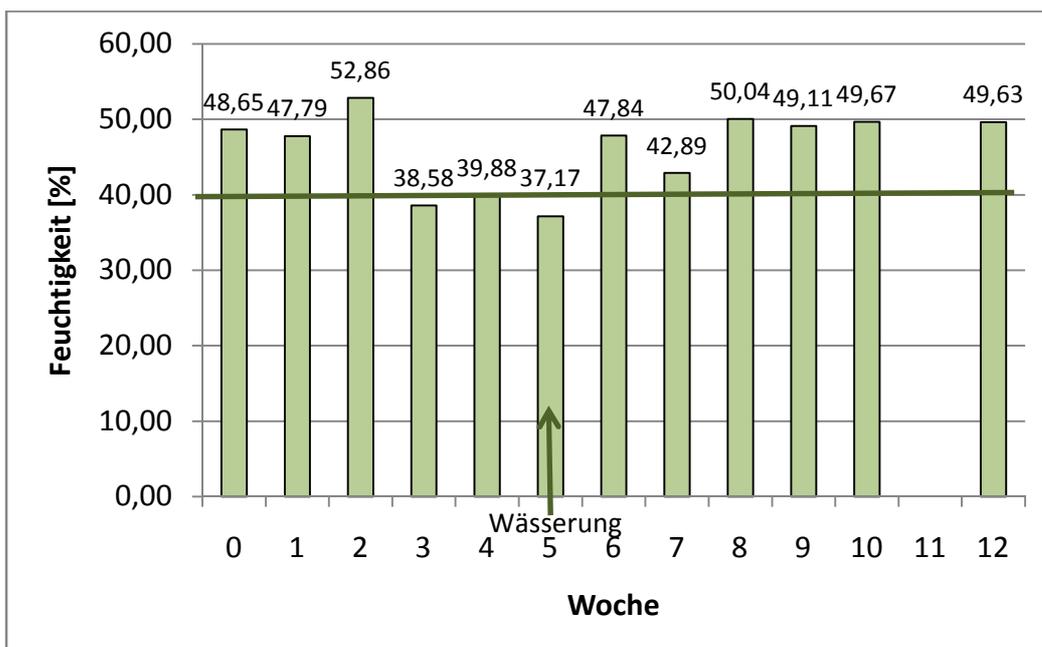


Abb. 39: Feuchtigkeitsverlauf des HAW-Komposters

Bei der K+E Kompost und Erden GmbH war der Wassergehalt geringer, zeitweise lag er unter 40 % und stieg zum Ende stark an. Da die Rotte hier unter freiem Himmel stattfindet, ist der Kompost stark den Außentemperaturen sowie den Niederschlägen ausgesetzt, so dass es hier zu Schwankungen kommen kann. Eine Bewässerung fand während des Versuchs nicht statt. Den genauen Verlauf zeigt Abbildung 40.

Die Rohdaten für die Feuchtigkeits-Messung des HAW-Komposters befinden sich im Anhang 9.

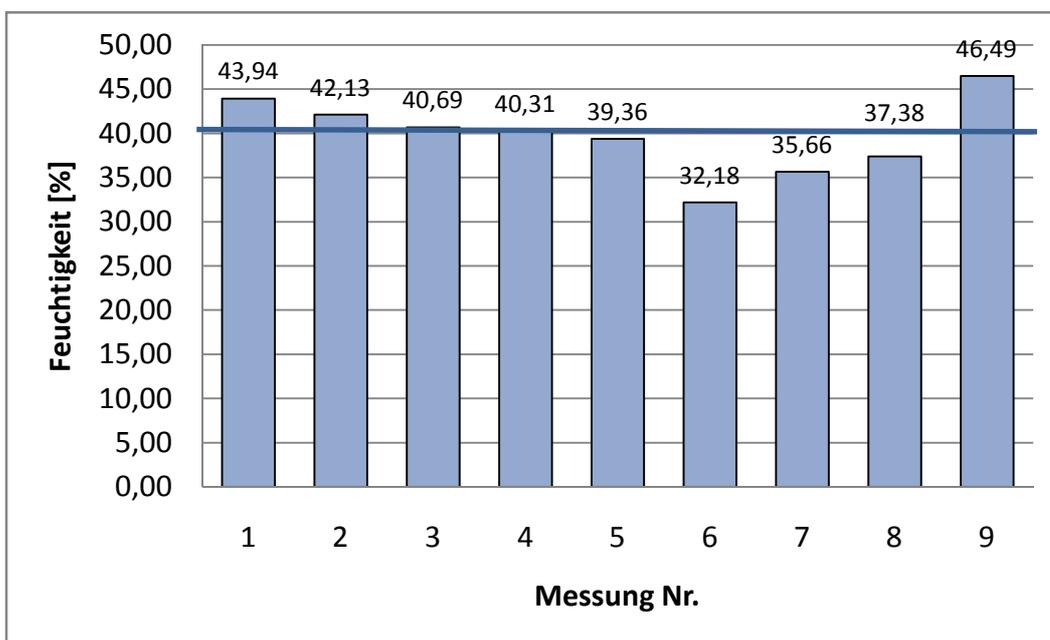


Abb. 40 Feuchtigkeitsverlauf bei K+E Kompost und Erden GmbH

4.9.1.4 Ergebnisse der Rottegrad-Bestimmung

Die Temperatur im Kompost ist während der gesamten Versuchsdauer von zehn Tagen unterhalb von 20 °C geblieben, siehe Abbildung 41.

Die Rohdaten dieses Versuches finden sich in Anhang 10.

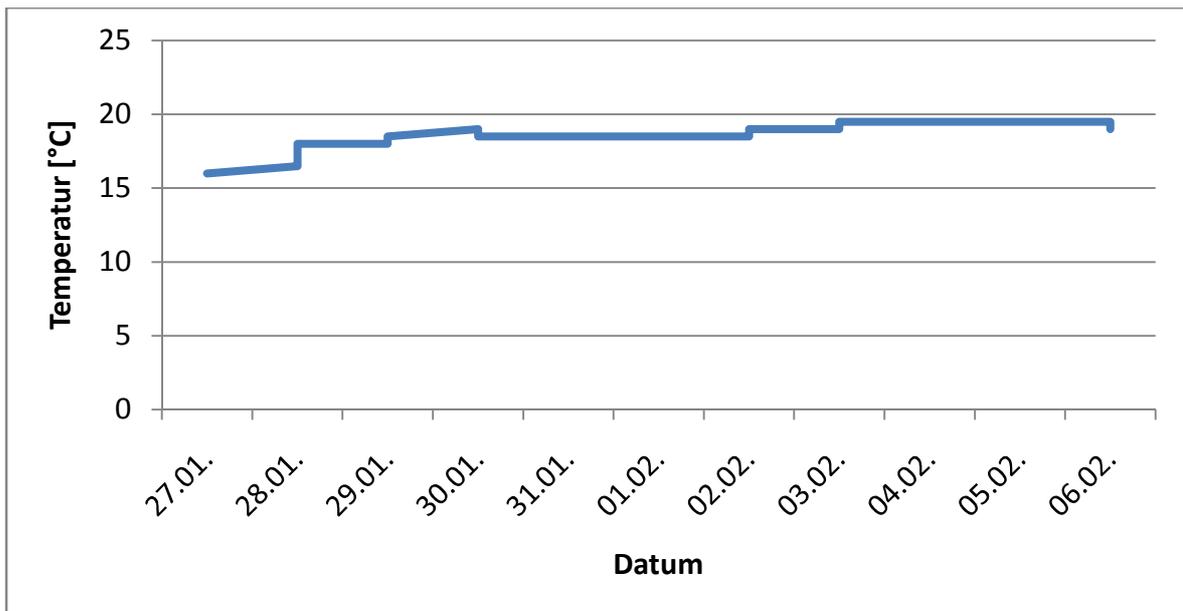


Abb. 41: Temperaturverlauf der Rottegrad-Bestimmung

Für den Kompostreifegrad von V darf während des Versuches ein Temperaturmaximum von 20-30 °C auftreten. Es kann also von einem Kompost mit dem Reifegrad V, dem höchsten Reifegrad, ausgegangen werden. (EN 14045:2003, Absatz 6.2.3.1)

4.9.1.5 Ergebnis des Kressetests

Der Kressetest hat gezeigt, dass die Kresse auf allen vier Ansätzen begonnen hat zu keimen. Alle Pflanzen waren lindgrün und sind gleichmäßig gewachsen. Abbildung 42 zeigt die Kressekeime auf dem Kompost ohne biologisch abbaubare Kunststoffe.



Abb. 42: Kressekeime auf dem Kompost ohne biologisch abbaubare Kunststoffe

Die Höhen der Pflanzen waren etwas unterschiedlich:

Tabelle 2: Kressehöhe auf den unterschiedlichen Proben

Probe	Höhe
Einheitserde	5-7,5 cm
Kompost	4-6 cm
Kompost (fester Kunststoff)	4-6 cm
Kompost (Folie)	3,5-5 cm

Die Kresse auf der Kompostprobe mit dem festen Kunststoff ist etwas geringer gewachsen und hat auch später gekeimt als auf den anderen beiden Kompostproben. Ob diese Hemmung durch die Folie oder durch andere Umstände zustande gekommen ist, müsste eine genauere Untersuchung zeigen. Die Pflanzenhöhe auf der Einheitserde war am größten. Dennoch hat sich gezeigt, dass der Kompost, der in Bergedorf produziert wurde, keine keimhemmende Wirkung auf Kresse hat.

4.9.2 Ergebnisse der Frischhaltefolie

Aus der Wiederfindungsrate W wurden zwei Ergebnisse errechnet. Zum einen die Wiederfindungsrate laut der EN 13432, hier wurde nur das Gewicht der Kunststoffpartikel, die größer als zwei mm sind, als Rechengrundlage verwendet. Zum anderen wurde eine Wiederfindungsrate gesamt berechnet, für die als Rechengrundlage das Gesamtgewicht aller wiedergefundenen Partikel herangezogen wurde.

Die Messungengenauigkeit der Analysenwaage (Typ Kern ALS 220-4) beträgt nur 0,0002 g, daher wurde auf die Einbeziehung einer Standardabweichung verzichtet.

Die Wiederfindungsrate im Wochenverlauf zeigt Abbildung 43, die Rohdaten befinden sich im Anhang 11.

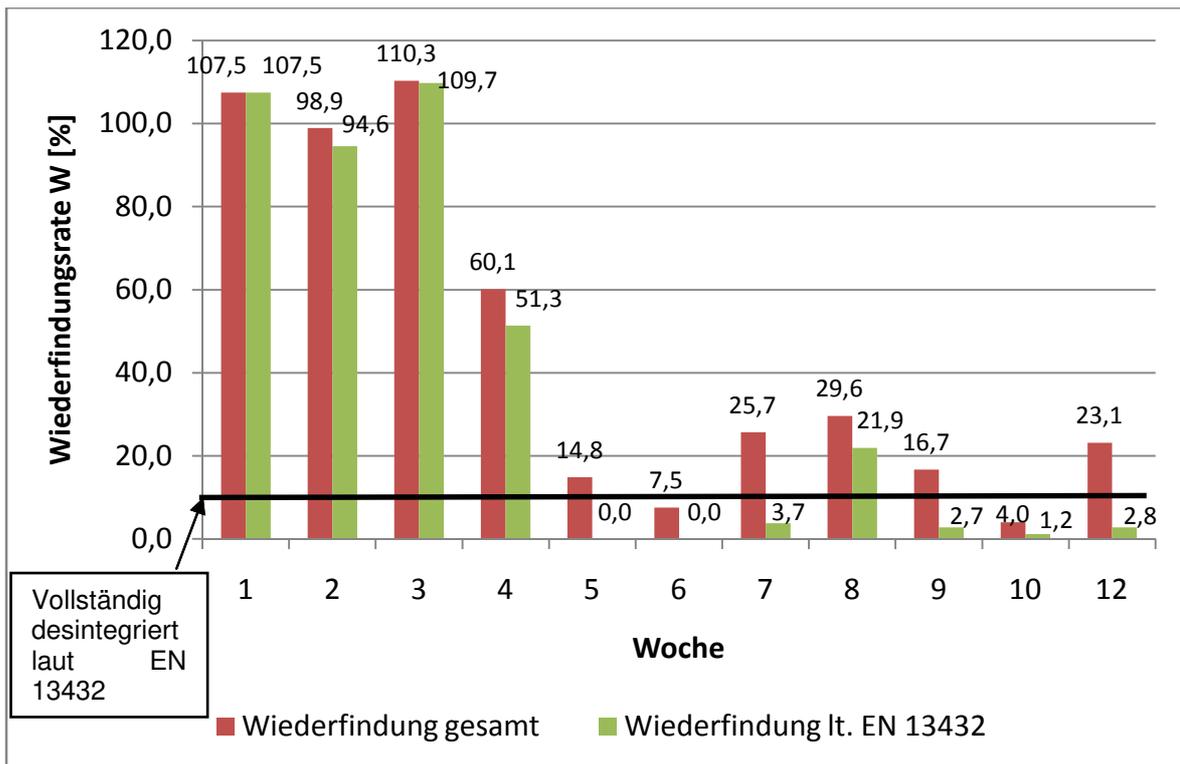


Abb. 43: Wiederfindungsrate der Frischhaltefolie

Innerhalb der ersten drei Wochen fand noch kein Abbau statt, es wurden sogar teilweise mehr als 100 % des Ausgangsgewichtes gefunden. Dies lag daran, dass an den Folienpartikeln noch Schmutzanhaftungen waren, die sich nicht entfernen ließen. Abbildung 44 zeigt, dass die Folie auch nach drei Wochen Kompostierung in größeren, zusammenhängenden Partikeln vorliegt.

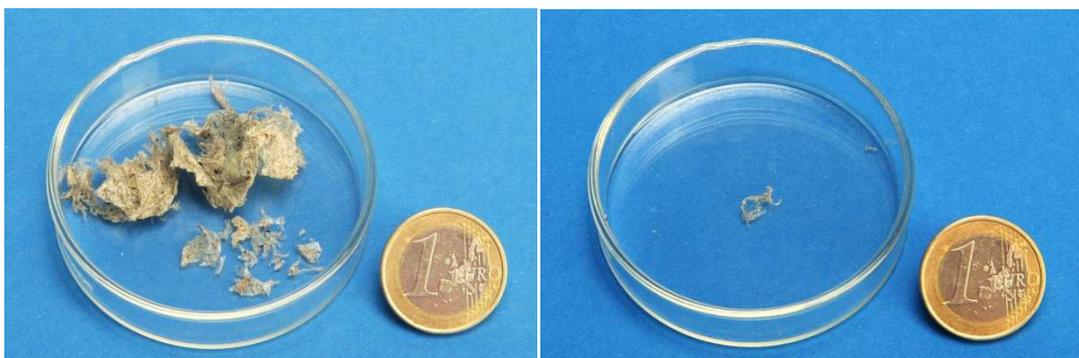


Abb. 44: Frischhaltefolie nach Woche 3, > 5,6 mm, < 2 mm (von links nach rechts)

Erst nach vier Wochen kam es zu einem starken Abbau, es wurde nur noch die Hälfte des Ausgangsgewichts normkonform wiedergefunden. In den beiden Folgewochen wurden bereits keine Partikel, die größer als zwei mm sind, gefunden.

Allerdings wurden in Woche 7 bis 12 (für Woche 11 gibt es keinen Messwert) wieder Teilchen der Folie gefunden, die größer als zwei mm waren. Ab Woche 9 sind weniger als 10 % des ursprünglichen Gewichts vorhanden, wenn nur die Partikel, die laut EN 13432 noch vorhanden sind, als Rechengrundlage genutzt werden. Laut EN 13432 ist die Frischhaltefolie nach neun Wochen vollständig desintegriert. Abbildung 45 zeigt, dass auch nach zwölf Wochen Kompostierung noch Partikel der Frischhaltefolie gefunden wurden, sowohl Partikel kleiner als auch größer 2 mm. Insgesamt war noch fast ein Viertel des ursprünglichen Ausgangsgewicht sichtbar. Eine Bildtafel aller Proben findet sich im Anhang 12.



Abb. 45: Frischhaltefolie nach Woche 12, 2-5,6 mm, < 2 mm (von links nach rechts)

Dennoch schwankt die Wiederfindungsrate gesamt, sowie die Wiederfindungsrate laut EN 13432 gerade in den letzten Wochen. Dies kann zum einen daran liegen, dass die einzelnen Proben in der Anfangsphase, als die Temperaturen sehr hoch waren, nicht alle in der Mitte gelegen haben. Am Rand waren die Temperaturen immer etwas geringer, so dass bei geringeren Temperaturen unter Umständen ein langsamerer Abbau vonstättenging. Zum anderen ist der angelieferte Bioabfall kein homogenes Gemenge gewesen. Es ist möglich, dass in manchen Litter-Bags Stoffe waren, die die Desintegration der Folie verschlechtern oder aber verbessern haben. Neben diesen Möglichkeiten kann es auch sein, dass die Folie nicht gleichmäßig ist, so dass sich nicht alle Bereiche gleich schnell abbauen. Eine Beschreibung, in welcher Größenordnung sich die Partikel der einzelnen Fraktionen im Wochenverlauf bewegen, gibt Tabelle 3.

Tabelle 3: Größenordnung der Folien-Partikel im Wochenverlauf

Woche	< 2 mm	2-5,6 mm	> 5,6 mm
1	-	-	ein zusammenhängendes Stück
2	1-2x5-10 mm ²	3x15 mm ²	10x45 mm ²
3	1-2x3-5 mm ²	-	größere zusammenhängende Stücke
4	1-2x5-10 mm	3-5x10-20 mm ²	größere zusammenhängende Stücke
5	0,5-2x2-5 mm ²	-	-
6	0,5-2x2-5 mm ²	-	-
7	0,5-2x1-5 mm ²	1-3x5-7 mm ²	-
8	0,5-2x1-5 mm ²	3-7x5-10 mm	-
9	0,5-2x1-4 mm ²	5x5-10 mm ²	-
10	0,5-2x2-3 mm ²	5x5-10 mm ²	-
12	0,5-2x2-3 mm ²	3-5x5-20 mm ²	-

Die Probe bei K+E Kompost und Erden GmbH hat ein ähnliches Ergebnis gebracht. Nach 12,5 Wochen Kompostierung waren insgesamt noch 5,5 % des ursprünglichen Ausgangsgewichts vorhanden, laut EN 13423 waren noch 1,8 % nicht desintegriert. Die Rohdaten finden sich in Anhang 11.

Damit hat sich die Folie bei K+E Kompost und Erden GmbH vollständig laut Norm desintegriert, siehe Abbildung 46.

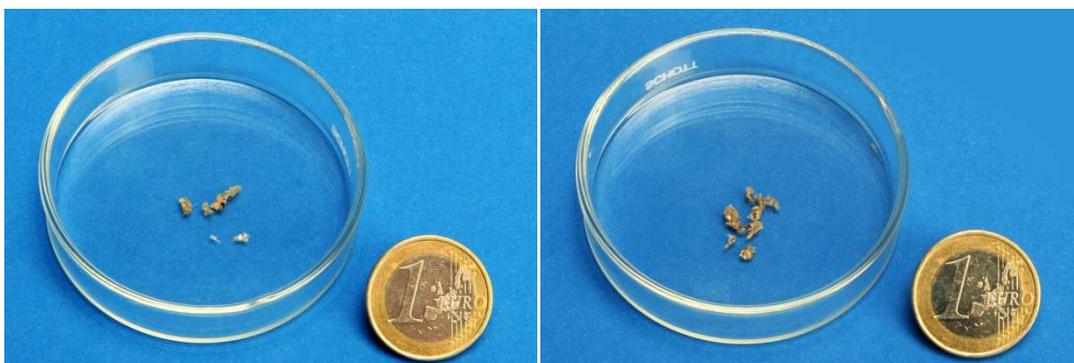


Abb. 46: Frischhaltefolie bei K+E Kompost und Erden GmbH nach 12,5 Wochen, 2-5,6 mm, < 2 mm (von links nach rechts)

Die biologisch abbaubare Frischhaltefolie im Gartenkomposter dagegen wurde nicht desintegriert, sie ist auch nach zwölf Wochen Kompostierung völlig unversehrt, siehe Abbildung 47.

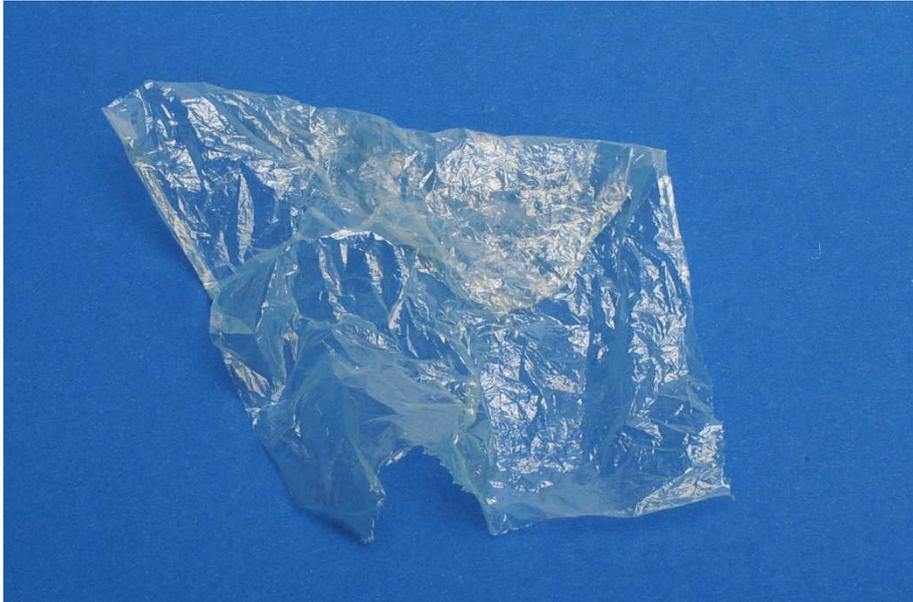


Abb. 47: Frischhaltefolie nach zwölf Wochen im Gartenkomposter

Die herkömmliche Frischhaltefolie von Folia hat sich in den zwölf Wochen im HAW-Komposter nicht abgebaut wie Abbildung 48 zeigt. Die Wiederfindung beträgt 100%.



Abb. 48: Die Folia-Frischhaltefolie nach 12 Wochen Kompostierung

4.9.3 Ergebnisse des Joghurtbechers

Auch für den Joghurtbecher wurden zwei Wiederfindungsraten berechnet, einmal gesamt und einmal laut EN 13432.

Der Joghurtbecher hat sich sehr schnell desintegriert, bereits nach einer Woche hat eine deutliche Desintegration stattgefunden, siehe Abbildung 49.



Abb. 49: Joghurtbecher nach Woche 1, > 5,6 mm, 2-5,6 mm, > 2 mm (von links nach rechts)

Den genauen Verlauf der Wiederfindung im Wochenverlauf zeigt Abbildung 50. Die Rohdaten befinden sich im Anhang 13.

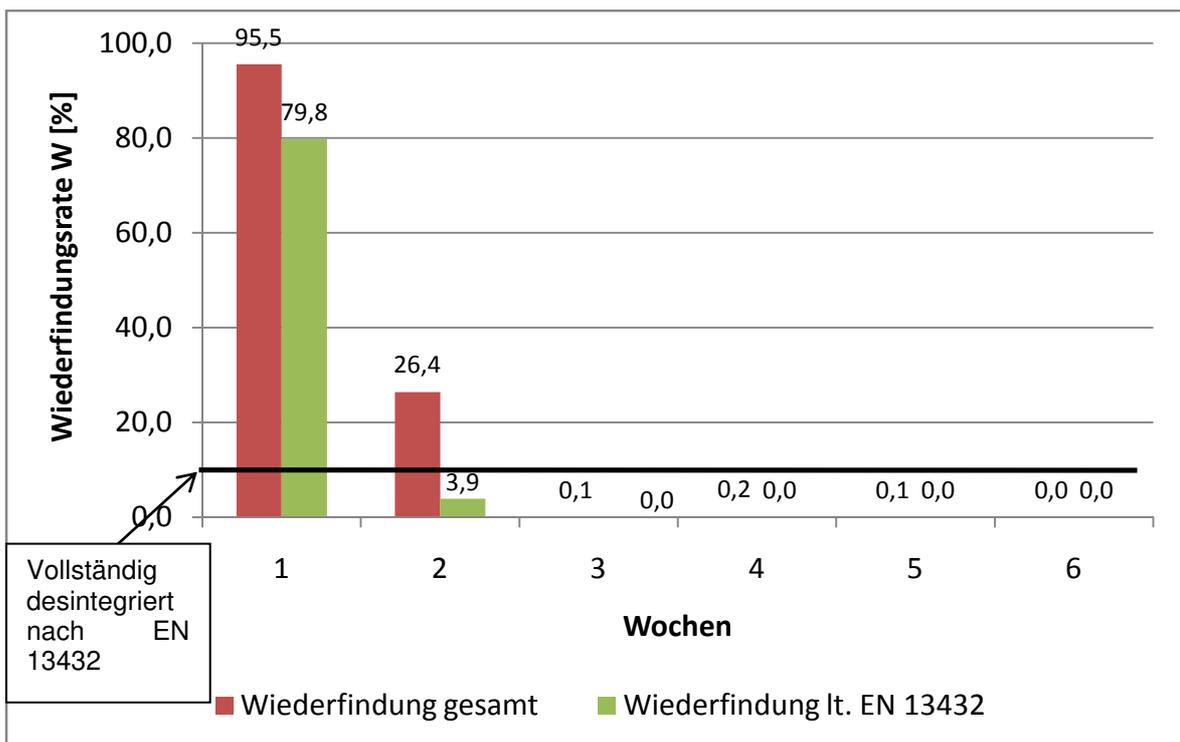


Abb. 50: Wiederfindungsrate des Joghurtbechers

Bereits nach drei Wochen Kompostierung konnten nur noch Partikel wiedergefunden werden, die kleiner als zwei mm waren, siehe Abbildung 51. Eine Bildtafel, die alle Proben zeigt, findet sich in Anhang 14.



Abb. 51: Joghurtbecher nach Woche 3, < 2 mm

In den Folgewochen blieb die Wiederfindung der Partikel kleiner zwei mm weiter sehr gering, bis ab Woche 6 keine Partikel des Joghurtbechers mehr gefunden werden konnten.

Gleich zu Beginn ist der Becher in längliche Streifen zerfallen, die im weiteren Verlauf in kleinste Partikel zerfallen. Auffällig war, dass ab Woche drei fast nur noch rote „Folienpartikel“ auffindbar waren. Dies ist die Farbe des Aufdrucks, der sich abgelöst hat.

Eine Beschreibung, in welcher Größenordnung sich die Partikel der einzelnen Fraktionen bewegen, gibt Tabelle 4.

Tabelle 4: Größenordnung der Becher-Partikel im Wochenverlauf

Woche	< 2mm	2-5,6mm	> 5,6mm
1	2x25-35 mm ²	3-4x25-40 mm ²	5-6x60 mm ²
2	1-2x1-3 mm ²	-	-
3	fast nur Farbpartikel	-	-
4	fast nur Farbpartikel, 1-2x3-4 mm ²	-	-

Mikroskopaufnahmen von Kompost aus den Litter-Bags nach sechs und zwölf Wochen im Vergleich mit dem Kompost, der lose im Kompostbehälter war, zeigen keine Unterschiede, siehe Abbildung 52 und 53. Es ist daher nicht klar, ob noch kleinste Partikel vorhanden sind, die weder mit bloßem Auge noch mit 100-facher Vergrößerung sichtbar sind.

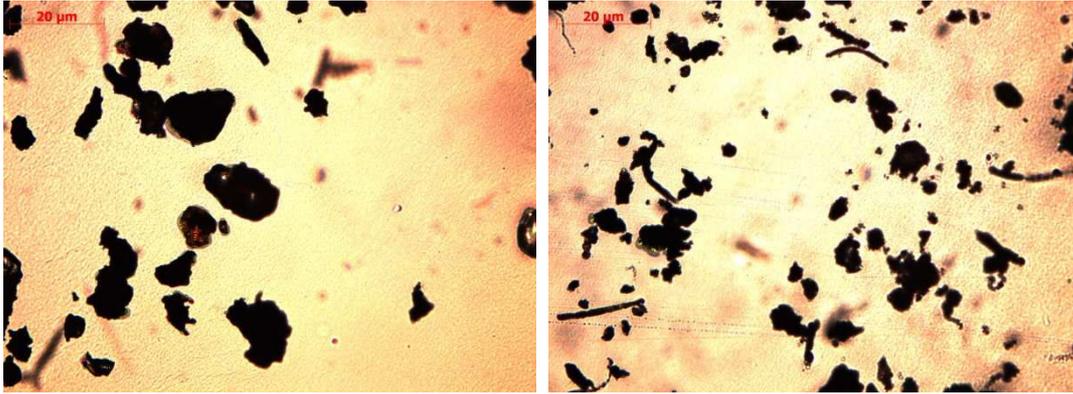


Abb. 52: Mikroskop-Aufnahmen nach Woche 6 (100-fach vergrößert), links: Kompost, rechts: Kompost aus Litter-Bag mit Joghurtbecher

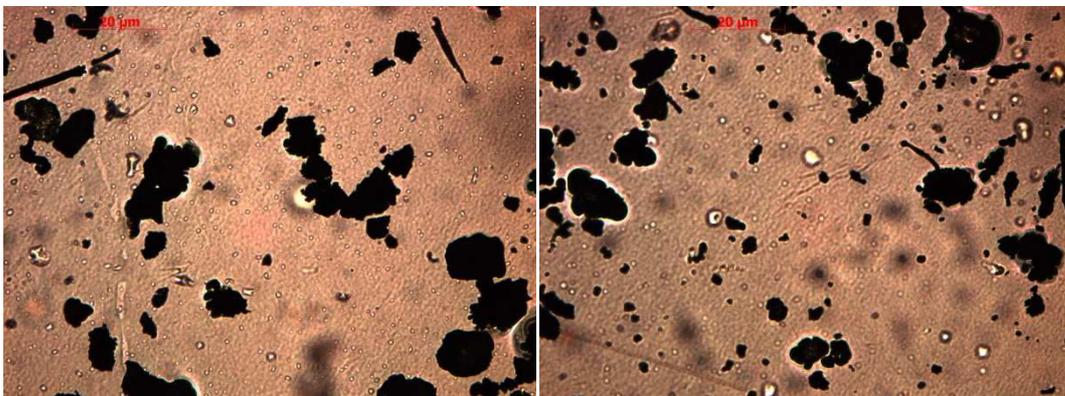


Abb. 53 Mikroskop-Aufnahmen nach Woche 12 (100-fach vergrößert), links: Kompost, rechts: Kompost aus Litter-Bag mit Joghurtbecher

Die Joghurtbecherproben, die bei K+E Kompost und Erden GmbH kompostiert wurden, haben sich so stark desintegriert, dass nach zwölf Wochen keine Partikel mehr auffindbar waren, die Rohdaten finden sich in Anhang 13.

Dagegen war die Probe, die im Gartenkomposter untersucht wurde, auch nach zwölf Wochen Kompostierung bis auf einige Risse, die vermutlich durch die Gewichtsbelastung der darüber liegenden Gartenabfälle kommen, völlig unversehrt, siehe Abbildung 54.



Abb. 54: Joghurtbecher nach zwölf Wochen Kompostierung im Gartenkomposter

Der „froop“-Joghurtbecher hat im HAW-Komposter zwar nach zwölf Wochen nur noch eine Wiederfindungsrate von etwa 91%. Der Papieraufkleber hat sich teilweise zersetzt und es kam zu einer Verformung aufgrund der starken Hitze zu Beginn der Kompostierung sowie durch das Gewicht des darüber liegenden Kompostes. Es ist möglich, dass hierdurch Gewichtsverringierungen zustande gekommen sind.



Abb. 55: froop-Joghurtbecher nach zwölf Wochen Kompostierung

4.9.4 Ergebnisse Aldi-Tragetasche und Deckel

Die in einer Vergleichsmessung durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass auch der biologisch abbaubare Deckel, der aus dem gleichen Material wie der Joghurtbecher besteht, bereits nach zwei Wochen gemäß der EN 13432 abgebaut wurde. Nach vier Wochen waren keine Partikel mehr zu finden.

Die Aldi-Tragetasche dagegen hat sich sehr viel langsamer abgebaut. Auch sie war nach fünf Wochen normgemäß abgebaut, allerdings konnten in der Fraktion < 2 mm auch nach zwölf Wochen noch Partikel gefunden werden.

5. Zusammenfassende Bewertung/Ausblick

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass es derzeit auf dem deutschen Markt nur sehr wenige Artikel gibt, die aus biologisch abbaubaren Kunststoffen hergestellt werden. Das Einsatzgebiet erstreckt sich neben landwirtschaftlichen Folien noch hauptsächlich auf Müllbeutel für den Bioabfalleimer, Tragetaschen sowie Einweggeschirr. Nur wenige Lebensmittelprodukte sind direkt in biologisch abbaubare Kunststoffe verpackt, es handelt sich daher zurzeit noch um ein Nischenprodukt.

Die Eigenschaften der biologisch abbaubaren Produkte konkurrieren mit denen der herkömmlichen Kunststoffe. Sie sind aber noch nicht in allen Fällen, zum Beispiel bezüglich der Beständigkeit gegenüber heißen Temperaturen, ebenbürtig. Derzeit sind sie auch noch teurer als die herkömmlichen Kunststoffe. Dies könnte sich aber mit zunehmender Verbreitung von biologisch abbaubaren Kunststoffen mit gleichzeitiger Verteuerung des Erdöls und damit der petrochemischen Kunststoffe ändern.

Die Kompostierungsversuche haben gezeigt, dass sich die biologisch abbaubaren Kunststoffe innerhalb von zwölf Wochen gemäß den Vorschriften der EN 13432 desintegrieren. Von dem Joghurtbecher waren nach sechs Wochen mit bloßem Auge keine Partikel mehr auffindbar, bereits nach zwei Wochen war er gemäß EN 13432 desintegriert. Die Folie war erst nach neun Wochen normgemäß desintegriert, es waren auch nach zwölf Wochen noch Partikel auffindbar. Diese verunreinigen den Kompost zumindest visuell, da sie sich auch nicht mit Sieben abtrennen lassen, da meist höhere Korngrößen für den Fertigkompost verwendet werden. Sie stellen daher einen Qualitätsmangel dar, der auch dem Verbraucher des fertigen Komposts auffällt.

Die Kompostierungszeit in vielen gewerblichen Heißkompostierungsbetrieben beträgt weniger als zwölf Wochen (in Tornesch zum Beispiel 6-7 Wochen), so dass nach einer verkürzten Kompostierungszeit auch eine verringerte Desintegration auftreten würde.

Hier zeigen sich die Mängel der EN 13432, da die vorgegebene Zeit von zwölf Wochen zu lang gewählt ist. Außerdem sind auch Partikel, die kleiner als 2 Millimeter sind, noch deutlich für das Auge sichtbar. Zudem wird der lichte Durchmesser der Partikel nicht berücksichtigt.

Die Überprüfung zahlreicher Parameter (Feuchtigkeit, pH-Wert, Temperatur, Rottegrad) haben ergeben, dass der Kompostierungsprozess an der HAW vergleichbar mit einem industriellen Prozess war.

Die Kompostierung im Gartenkompost ist mit den untersuchten Produkten im Zeitraum von zwölf Wochen nicht möglich. Die Produkte haben nicht einmal Anzeichen einer beginnenden Desintegration.

Eine weitere Verbreitung von biologisch abbaubaren Kunststoffen für Lebensmittelverpackungen ist im Moment noch nicht ratsam, da der Verbraucher diese als nachhaltiges und umweltfreundliches Produkt wahrnehmen soll. Die Verbrennung als derzeit beste Entsorgungsmöglichkeit widerspricht diesem Gedanken.

Die Entsorgung über die Biotonne ist problematisch, da die Entsorgungsgesellschaften kaum handhabbar haben, um die biologisch abbaubaren Kunststoffe von den herkömmlichen zu unterscheiden und somit im Zweifelsfalle alle Kunststoffe der Entsorgung über den Restmüll zugeführt werden. Für die Vermarktung als Dünger fehlen die rechtlichen Grundlagen.

Der Verbraucher selbst muss bei jeder Verpackung bei der Entsorgung entscheiden, ob sie biologisch abbaubar ist und in die Biotonne gehört. Vorteilhaft bei Lebensmitteln kann die vereinfachte Entsorgung der Lebensmittelreste mit der Verpackung über den Bioabfall sein.

Es gibt noch keine Aussagen darüber, wie hoch der Anteil von biologisch abbaubaren Kunststoffen im Bioabfall maximal sein darf, um noch eine reibungslose Kompostierung durch die Mikroorganismen zu gewährleisten und ob sich nicht doch Stoffe im Kompost anreichern.

Eine Frage, die man sich in Zukunft stellen muss, ist, ob die Verbreitung von biologisch abbaubaren Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen die Anbauflächen für Lebensmittel reduziert. Derzeit ist die Flächennutzung durch biologisch abbaubare Kunststoffe sehr gering, so dass sich keine Effekte ableiten lassen. Bei einer Zunahme kann eine Verknappung und Verteuerung von Lebensmitteln die Folge sein. Auch die ethische Frage, dass Lebensmittel zur Herstellung von Kunststoffen genutzt werden, muss, ähnlich wie bei Biokraftstoffen, geklärt werden.

Eine sinnvolle Alternative wäre die Herstellung von biologisch abbaubaren Kunststoffen aus Abfallprodukten, zum Beispiel bei der Lebensmittelherstellung.

Literaturverzeichnis

Ahlhaus, O.E. (1997). Verpackung mit Kunststoffen. München: Karl Hanser Verlag.

Beier, W. (2009). Biologisch abbaubare Kunststoffe. Umweltbundesamt. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3834.pdf>. Stand: 17.02.2012.

Bioabfallverordnung vom 21. September 1998 (BGBl. I S. 2955), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1504) geändert worden ist.

Bio Futura (o.J.a). Certificaten. Bio Futura. <http://www.biofutura.nl/certificaten>. Stand: 26.02.2012.

Bio Futura (o.J.b) Frischhaltefolie biologisch abbaubar - 20 Meter Rolle in Abreißschachtel. Bio Futura. <http://www.bioeinwegartikel.de/frischhaltefolie-biologisch-abbaubar-20-meter-rolle-in-abreisschachtel.html>. Stand: 28.02.2012.

Bundsgütegemeinschaft Kompost e.V. (o.J.a). Ablauf Kompostierung: Kompost. Bundsgütegemeinschaft Kompost e.V. <http://www.kompost.de/index.php?id=610&L=0%3Cbr%2F%3E%3Fiframe%3Dtrue#c858>. Stand: 21.02.2012.

Bundsgütegemeinschaft Kompost e.V. (o.J.b). Der Kompostierungsprozess. Bundsgütegemeinschaft Kompost e.V. <http://kompost.de/index.php?id=446&L=0%2525253Cbr%2525252F%2525253E>. Stand: 21.02.2012.

Bundsgütegemeinschaft Kompost e.V. (2005). Kompostierungsanlage Viersen. Bundsgütegemeinschaft Kompost e.V. http://kompost.de/fileadmin/docs/kompostportal/Anlagenbeschreibungen/Anlage_Viersen_3005_H_K1-05.pdf. Stand: 26.02.2012.

Ceresana Research (2011). Marktstudie Biokunststoffe (2. Auflage). Ceresana Research. <http://www.ceresana.com/de/marktstudien/kunststoffe/biokunststoffe/biokunststoffe-markt-anteil-kapazitaet-angebot-nachfrage-prognose-innovation-anwendung-wachstum-produktion-industrie.html>. Stand: 14.02.2012.

Conrad Electronic SE (o.J.). Lascar Electronics EL-USB-1 -35 bis +80 °C-Datenlogger, Messschreiber, 16382. Conrad Electronic SE. http://www.conrad.de/ce/de/product/122571/EL-USB-1-Mess-Datenlogger/SHOP_AREA_17210&promotionareaSearchDetail=005. Stand: 05.01.2012.

Der Grüne Punkt - Duales System Deutschland GmbH (o.J.). Marktführer für Rücknahmelösungen. Der Grüne Punkt - Duales System Deutschland GmbH. <http://www.gruener-punkt.de/corporate/unternehmen/portraet.html>. Stand: 21.02.2012.

Emberger, J. (1993). Kompostierung und Vergärung. Würzburg: Vogel Verlag.

EN ISO 14855-1:2007. Bestimmung der vollständigen aeroben Bioabbaubarkeit von Kunststoff-Materialien unter den Bedingungen kontrollierter Kompostierung — Verfahren mittels Analyse des freigesetzten Kohlenstoffdioxides — Teil 1: Allgemeines Verfahren.

EN 13432:2000. Verpackung - Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbau.

EN 14045:2003. Verpackung - Bewertung der Desintegration von Verpackungsmaterialien in praxisorientierten Prüfungen unter definierten Kompostierungsbedingungen.

EN 14806:2005. Verpackung — Vorbeurteilung des Auflösens von Verpackungsmaterial unter simulierten Kompostierungsbedingungen im Labormaßstab.

EN ISO 20200:2005. Kunststoffe - Bestimmung des Zersetzungsgrades von Kunststoffmaterialien unter nachgebildeten Kompostierungsbedingungen mittels einer Prüfung im Labormaßstab.

Endres, H.-J., Siebert-Rath, A. (2009). Technische Biopolymere - Rahmenbedingungen, Marktsituation, Herstellung, Aufbau und Eigenschaften. München: Carl Hanser Verlag.

European Bioplastics e.V. (o.J.). Labelling, logos, charts. European Bioplastics e.V. <http://en.european-bioplastics.org/press/press-pictures/labelling-logos-charts/#>. Stand: 26.02.2012.

European Bioplastics e.V. (2010). Fact Sheet – Home composting. European Bioplastics e.V. http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2011/04/fs/FactSheet_Home_Composting.pdf . Stand: 17.02.2012.

Fiedler H.J. (1997). Transport, Lagerung und Aufarbeitung von Bodenproben, in: Dunger, W., Fiedler, H.J. (Hrsg.), Methoden der Bodenbiologie, Jena: Gustav Fischer Verlag, S. 64-65.

F. Kurt Retsch GmbH & Co. KG (1997). Bedienungsanleitung Analysensiebmaschine Typ AS 200 control „g“.

Funda, K., Kern, M., Raussen, Th., Bergs, C.-G., Hermann, T. (2009). Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen - Anregungen für kommunale Entscheidungsträger. Umweltbundesamt. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_bioabfaelle_bf.pdf. Stand: 26.02.2012.

Gahle, Ch., Carus, M., Geuder, M. (2008). Globale Marktsituation der Biokunststoffe. nova-Institut GmbH. http://www.recyclingportal.eu/pdf/Marktsituation_Biokunststoffe.pdf. Stand: 20.02.2012.

Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (2011). Verbände des Fachhandels. Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). <http://www.oekolandbau.de/haendler/grundlagen/verbaende-des-fachhandels/>. Stand: 04.01.2012.

GROMART S.p.A. (o.J.) Mater-Bi. GROMART S.p.A. <http://www.gromlovesworld.it/mobile/eng/materbi.php>. Stand: 26.02.2012.

Hogan, R. (2011). Entwicklung für die Zukunft – Die Suche nach der nachhaltigen Verpackung. in: Verpackungsrundschau, 3/2011. S. 56-57.

Jenkins, W.A., Harrington, J.P. (1991). Packaging Foods with Plastics. Lancaster (USA): Technomic Publishing Co. Inc.

Jungbauer, A. (1994). Recycling von Kunststoffen. Würzburg: Vogel Verlag.

Klement, Th. (o.J.) Verarbeitung. E-learnforum. <http://www.elearnforum.net/index.php?m1=m13510&c1=c135161&c2=c135162&c3=c135163&c4=c135164>. Stand: 26.02.2012.

Krüger, O. (2008). Anorganische nichtmetallische Werkstoffe. in: Bargel, H.-J., Schulze, G. (Hrsg.), Werkstoffkunde, Berlin: Springer-Verlag.

Kunststoff-Schweiz (o.J.). Polylactid. Kunststoff-Schweiz. <http://www.kunststoff-schweiz.ch/html/polylactid.html>. Stand: 26.02.2012.

Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. August 2011 (BGBl. I S.1770), das durch Artikel 2 Absatz 17 des Gesetzes vom 22. Dezember 2011 (BGBl. I S. 3044) geändert worden ist.

Lindner, S. (o.J.). Biologisch abbaubare Kunststoffe. PlasticsEurope Deutschland e.V.. <http://www.plasticseurope.de/das-ist-kunststoff/kunststoffsorten/biokunststoffe/bioabbaubare-k.aspx>. Stand: 15.02.2012.

LINZ AG (o.J.) Pressebilder. LINZ AG. http://www.linzag.at/portal/portal/linzag/metanavigationheader/presse/pressebilder_1/pressebilderdetail_1_p_3463. Stand: 26.02.2012.

Middendorf, E. (2005). Im Aufbruch. in: neue verpackung, 12/2005, S.3.

neue verpackung (2011). Die Zeit für Biofolien ist reif. in: neue verpackung, 04/2011, S. 68-70.

Oberholz, A. (o.J.). Kompost. Bonn: Friedhelm Merz Verlag KG.

texdeko (o.J.). Fliegengitter Meterware in Weiß – Insektenschutz. <http://www.texdeko.de/p/2408087/a-t-fliegengitter-meterware-in-weiss-insektenschutz>. Stand: 31.01.2012.

Umweltbundesamt (2012). Verpackungsaufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen. Umweltbundesamt. <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2315>. Stand: 21.02.2012.

Van Gulp, B. (2012). Bio Futura. E-Mail-Kontakt.

Verordnung (EG) Nr. 1935/2004 des europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Oktober 2004 über Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen und zur Aufhebung der Richtlinien 80/590/EWG und 89/109/EWG.

Verpackungsverordnung vom 21. August 1998 (BGBl. I S. 2379), die zuletzt durch Artikel 14 der Verordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1504) geändert worden ist.

wer zu wem GmbH (o.J.a). Supermärkte. wer zu wem GmbH. <http://www.wer-zu-wem.de/handel/Supermaerkte.html>. Stand: 04.01.2012.

wer zu wem GmbH (o.J.b). Verbrauchermärkte. wer zu wem GmbH. <http://www.wer-zu-wem.de/handel/Verbrauchermaerkte.html>. Stand: 04.01.2012.

wer zu wem GmbH (o.J.c). Discounter. wer zu wem GmbH. <http://www.wer-zu-wem.de/handel/discounter.html>. Stand: 04.01.2012.

wer zu wem GmbH (o.J.d). Drogerien. wer zu wem GmbH. <http://www.wer-zu-wem.de/handel/Drogerien.html>. Stand: 04.01.2012.

Wessendorf, A. (2011). „Die Ampeln stehen auf Grün“. in: FLEXO+TIEF-DRUCK, 3/2011, S. 30-33.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Anhang

Anhang 1: Ergebnisse der E-Mail-Anfragen	2
Anhang 2: Produktübersicht.....	5
Anhang 3: Fragebogen für Betriebsbesichtigung	6
Anhang 4: Rohdaten der Temperaturmessung des HAW-Komposters	7
Anhang 5: Rohdaten der Temperaturmessung bei K+E Kompost und Erden GmbH.....	10
Anhang 6: Rohdaten der pH-Werte für den HAW-Komposter	11
Anhang 7: Rohdaten der pH-Werte für K+E Kompost und Erden GmbH.....	12
Anhang 8: Rohdaten für die Feuchtigkeitsmessung des HAW-Komposters	13
Anhang 9: Rohdaten für die Feuchtigkeitsmessung bei K+E Kompost und Erden GmbH	14
Anhang 10: Anhang 5: Rohdaten der Temperaturmessung für die Bestimmung des Rottegrades	15
Anhang 11: Rohdaten Frischhaltefolie	16
Anhang 12: Bildtafel Frischhaltefolie	17
Anhang 13: Rohdaten Joghurtbecher	21
Anhang 14: Bildtafel Joghurtbecher	22

Anhang 1: Ergebnisse der E-Mail-Anfragen

Tabelle 1: Supermärkte und Discounter

Markt	Rückmeldung	Ergebnis
Aldi Nord	mail@aldi-nord.de, Herbert Voss	derzeit keine Produkte aus-biologisch abbaubare Kunststoffen, Markt wird beobachtet, ggf. Umstellung bei Marktreife (Anmerkung: Tragetasche nicht erwähnt)
Aldi Süd	mail@aldi-sued.de, Barbara Rupp-recht	Tragetasche aus biologisch abbaubaren Kunststoffen
Cap	-	-
Edeka	Marissa.Bleeke@minden.edeka.de; 2. Antwort: Azubi-Vertrieb.Neumuenster@edeka.de, Jörn Voss	wird derzeit nicht genutzt, auch nicht in naher Zukunft, zu VP der einzelnen Produkte kann keine Auskunft gegeben werden, 2. Antwort: bisher keine Verpackung /Trage-taschen im Unternehmen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen
Familanordost	kontakt@familia-nordost.de	keine Produkte
Familanordwest	-	-
Hit	dcolligs@dohle.com	Paclan Umwelt-Abfallsäcke 120l, -Pely Bio-Papiertüten 10l,-Swirl Bio-Abfallbeutel 10l
Hofer	info@hofer.at	kompostierbare Tragetaschen
Jibi	DSchoene@jibi.de	nur Antwort auf dem Postweg möglich
Kaisers/ Tengelmann	markus.schmitz@ktmh.de; 2. Ant-wort: psomer@ktmh.de	Produkt: Volvic naturelle 0,5 L (Eigene Recherche: 20% biologisch abbaubare Kunststoffe), 2. Antwort: ak-tuell haben wir in dem Be-reich Tiefkühlkost, Molkerei-produkte, Frühstück, Brot, Kuchen, Nahrungsmittel, Konser-ven keine kompostierbaren Kunststoff-verpackungen
Kaufland	service@kaufland.de	kann keine Aufstellung geben
Lidl	-	-
Markant	-	-
Marktkauf	-	-
Nahkauf	-	-
Netto	-	-
Niedrig preis	-	-
Norma	-	-
Penny	-	-
Real	-	-
Rewe	Qualitaetssicherung@rewe-group.com, Nathalie Dröge	Tragetaschen , in geringen Mengen bei Obst-und Gemü-sefolien

Sky (+ Coop, Plaza)	Anika.Spallek@coop.de.	derzeit Tüten aus recyceltem Kunststoff, event. Umstellung auf Zuckerrohr-Tüten, zu Verpackung der einzelnen Produkte kann keine Auskunft gegeben werden
Spar Österreich	-	-
Tegut	info@gourmondo.de	keine Artikel
Toom	-	-
Wasgau	Rebecca.Hornung@wasgau-dlog.de	Hinweis auf Activia von Danone
Woolworth	-	-

Tabelle 2: Großmärkte

Markt	Rückmeldung	Ergebnis
Fegro	-	-
Handelshof	-	-
Metro	markus.meyer@metro-cc.de	Eigenmarken derzeit nicht in biologisch abbaubaren Kunststoffen, Thema wird bei Lieferanten und Einkaufsabteilungen thematisiert

Tabelle 3: Drogeriemärkte

Markt	Rückmeldung	Ergebnis
Budni	christine.andrzejewski@budni.de	keine Produkte
Dm	ServiceCenter@dm-drogeriemarkt.de	Antwort nur nach weiteren Informationen möglich
Kloppenburg	-	-
Kodi	Heike_Schneider@kodi.de,	keine Artikel oder Verpackung erhältlich
Konsum Dresden	-	-
Konsum Leipzig	-	-
Müller	Kundenservice@mueller.de, Biranka Kitzki	bisher keine Artikel im Eigenmarkenbereich, Ziel: Einführung in naher Zukunft
Rossmann	-	-
Schlecker	A.Voelksch@de.schlecker.net	keine eindeutige Antwort möglich, hausinterne Recherche hat keine Ergebnisse ergeben

Tabelle 4: Biomärkte

Markt	Rückmeldung	Ergebnis
Alnatura	-	-
Basic (Deutschland)	-	-
Bio Company	thomas.hommel@biocompany.biz, manuel.pundt@biocompany.biz	haben keine Übersicht ihrer Produkte diesbezüglich
Dengel + Schwarz	info@dengelbiomarkt.de	keine Produkte
Ebl. Naturkost	Maria.Nusser@ebl-naturkost.de	keine Produkte
Erdkorn	-	-
Füllhorn	Michael.Eckert@fuellhorn-naturmarkt.de	-
Grüner Markt	info@gruener-markt.de	Obst-/Gemüse-/Kräuter-Verpackungen, Dessert- und Früchtebecher, Fa. Sonnentor, Gepa
Super Bio Markt	Michael.Radau@superbiomarkt.com	Bio-to-go: Becher für Smoothies und Säfte, Salatschalen
Tjadens Bio Frischemarkt HH	-	-
Vitalia Reformhaus	florian.bauer@vitalia-reformhaus.de	bisher noch keine Produkte, Thema kontrovers, beschäftigen sich aber damit
Vollcorner Biomarkt	-	-

Anhang 2: Produktübersicht

Produkt	Firma	Art der Verpackung	Anmerkung	Link
Prabhub-da'sToothpaste	Allvegi	Zahnpastatube	In Schweden erhältlich	http://www.verpackungsrundschau.de/news/show/branchen-news/38633
Activia	Danone	Joghurtbecher	Becher aus PLA, wird nicht als kompostierbar bezeichnet	http://www.natuerlicher-verpackt.de/index.php
	Bio Futura	Einweggeschirr, Müllbeutel, Frischhaltefolie	Einweggeschirr	http://www.bioeinwegartikel.de/bio-produkte/bio-pla-becher.html
Mineralwasser	Sant Anna	Flasche		http://www.santanna.it/en/acqua_en/bio_bottle_en.html
Bio-Nudeln	Birkel	Folien-Beutel		http://www.birkel.de/marke/birkel/teigwaren/birkels-bio/
Joghurt	Hof Weitenfeld	Joghurtbecher		http://www.hofweitenfeld.de/hof.htm
Hundekotbeutel				http://www.tiierisch.de/produkt/hundekotbeutelspender-mit-tuetenkompostierbar?ref=shopwahl
Frischhaltefolie	Novamont	Folie		http://www.novamont.com/detail.asp?c=18&p=1&id=5227
Einkaufstasche	REWE, Aldi, toom	Tragetasche		
Agrarfolien	bioMat, Iakufo, Polynature GmbH, polyden usw.			
Ecoflex	BASF		Verschiedene Einsatzmöglichkeiten	
Öko-Windeln-Verpackung	Alana	Folienbeutel	Erhältlich bei Budni, dm	http://www.dm-drogerie-markt.de/cms/servlet/segment/de_homepage/alana_windeln_home/alana_windeln_produkte/16726/alana_windeln_midi.html
Pantene Pro V naturrefusion	Procter & Gamble	Shampoo-Flasche		http://www.natuerliche-verpackungen.de/news/
UHT milk for Ninho, NinhoLevinho, Ninho Low Lactose und Molico brands	Nestlé	PE-Verschluss für Milchpackung	In Zusammenarbeit mit Braskem, Zuckerrohrabfall	http://www.kompostierbaresgeschirr.de/
Einkaufstüte	Globetrotter			
	CoffeeFellows	Verschiedenes Einweggeschirr		
Brain Food-Mix	Snack Time	Becher	Bei Edeka erhältlich	

Anhang 3: Fragebogen für Betriebsbesichtigung

1. Welche Menge an Bioabfällen wird bei Ihnen jährlich angeliefert? Welche Menge an Humus entsteht daraus?
2. Woher stammt der Bioabfall?
3. Woraus besteht der bei Ihnen angelieferte Bioabfall? (Prozentuale Verteilung, jahreszeitliche Schwankungen)
4. Wird auch mit Hilfe von Organismen (Bakterien, Pilzen, Einzellern, Springschwänzen, Würmern etc.) kompostiert oder wird nur mittels Feuchtigkeit, Mechanik und Wärme kompostiert?
5. Verändert sich die Dauer des Kompostiervorgangs mit den Jahreszeiten?
6. Haben Sie Probleme mit Schadstoffen im fertigen Humus, wenn ja welche?
7. Welche Erfahrungen haben Sie mit biologisch abbaubaren Kunststoffen? Werden diese bei Ihnen aussortiert oder mit kompostiert? Gibt es Probleme bei der Unterscheidung zu „normalen“ Kunststoffen?
8. Verschlechtern die „Kunststoffe“ die Qualität des entstehenden Humus (Druckfarben etc.)?
9. Wurden Sie eine weitere Verbreitung/ Nutzung dieser „Kunststoffe“ befürworten?
10. Gibt es ein Mitspracherecht Ihrerseits, ob diese Kunststoffe in die Biotonne dürfen?
11. Was denken Sie: Wie hoch dürfte der „Kunststoffanteil“ im Bioabfall höchstens werden?
12. Welche prozessbegleitenden Parameter werden bei Ihnen gemessen? pH-Wert? Temperatur? Wassergehalt? Sonstiges?
13. Welche Arbeitssicherheitsmaßnahmen werden in Ihrem Unternehmen in Bezug auf den Kompostierungsprozess ergriffen?
14. Wie können Kompostbrände verhütet werden?
15. Woher können wir Bioabfall für unsere Versuche bekommen?
16. Haben Sie Tipps für unsere Versuche? Worauf sollten wir achten?
17. Haben Sie Informationsmaterialien für uns?

Anhang 4: Rohdaten der Temperaturmessung des HAW-Komposters

Datum	Seite [°C]	Oben [°C]
12.10.2011 17:00	23	
13.10.2011 05:00	45	
13.10.2011 17:00	70	
14.10.2011 05:00	73	
14.10.2011 17:00	73	
15.10.2011 05:00	69,5	
15.10.2011 17:00	69	
16.10.2011 05:00	68	
16.10.2011 17:00	67	
17.10.2011 05:00	66	
17.10.2011 17:00	63,5	
18.10.2011 05:00	64	
18.10.2011 17:00	14	11,5
19.10.2011 17:00	15	12
19.10.2011 17:00	23,5	11,5
20.10.2011 05:00	35	12
20.10.2011 17:00	49	
21.10.2011 05:00	56,5	
21.10.2011 17:00	61,5	
22.10.2011 05:00	52,5	
22.10.2011 17:00	53	
23.10.2011 05:00	48	
23.10.2011 17:00	48,5	
24.10.2011 05:00	45,5	
24.10.2011 17:00	45	
25.10.2011 05:00	43,5	
25.10.2011 17:00	44,5	

Datum	Seite [°C]	Oben [°C]
26.10.2011 05:00	43,5	
26.10.2011 17:00	27	21
27.10.2011 05:00	45,5	28,5
27.10.2011 17:00	63,5	45,5
28.10.2011 05:00	63,5	56,5
28.10.2011 17:00	61	58,5
29.10.2011 05:00	60	62,5
29.10.2011 17:00	57,5	62
30.10.2011 05:00	55,5	61
30.10.2011 17:00	52,5	58
31.10.2011 05:00	52,5	55,5
31.10.2011 17:00	52,5	55
01.11.2011 05:00	51	55
01.11.2011 17:00	48,5	54
02.11.2011 05:00	46,5	53,5
02.11.2011 17:00	45	52,5
03.11.2011 05:00	45	51
03.11.2011 17:00	45	49,5
04.11.2011 05:00	45	48,5
04.11.2011 17:00	45	47,5
05.11.2011 05:00	44,5	47
05.11.2011 17:00	23,5	24
06.11.2011 05:00	28	25,5
06.11.2011 17:00	35	30
07.11.2011 05:00	44	40,5
07.11.2011 17:00	48,5	47,5
08.11.2011 05:00	49,5	49,5

Datum	Seite [°C]	Oben [°C]
08.11.2011 17:00	50,5	50
09.11.2011 05:00	49	50
09.11.2011 17:00	48	49
10.11.2011 05:00	46,5	48,5
10.11.2011 17:00	45	48
11.11.2011 05:00	42,5	46,5
11.11.2011 17:00	41	44,5
12.11.2011 05:00	38	43,5
12.11.2011 17:00	25	23
13.11.2011 05:00	25	21,5
13.11.2011 17:00	26,5	24,5
14.11.2011 05:00	27	28,5
14.11.2011 17:00	30	33
15.11.2011 05:00	33	36,5
15.11.2011 17:00	35,5	38
16.11.2011 05:00	36,5	38
16.11.2011 17:00	36,5	37,5
17.11.2011 05:00	35,5	36
17.11.2011 17:00	34,5	35,5
18.11.2011 05:00	33	35
18.11.2011 17:00	32,5	35
19.11.2011 05:00	32	34,5
19.11.2011 17:00	16	17
20.11.2011 05:00	18	17
20.11.2011 17:00	18,5	19
21.11.2011 05:00	18,5	19,5
21.11.2011 17:00	18,5	20
22.11.2011 05:00	19	20,5
22.11.2011 17:00	19	21

Datum	Seite [°C]	Oben [°C]
23.11.2011 05:00	19	20,5
23.11.2011 17:00	19	21
24.11.2011 05:00	19,5	22
24.11.2011 17:00	20	22,5
25.11.2011 05:00	20,5	22,5
25.11.2011 17:00	19,5	22
26.11.2011 05:00	19,5	22
26.11.2011 17:00	17	15,5
27.11.2011 05:00	17	14,5
27.11.2011 17:00	17	15
28.11.2011 05:00	17	15
28.11.2011 17:00	16,5	16,5
29.11.2011 05:00	16,5	16,5
29.11.2011 17:00	15,5	17
30.11.2011 05:00	15	17,5
30.11.2011 17:00	15	18,5
01.12.2011 05:00	14,5	18,5
01.12.2011 17:00	14,5	18,5
02.12.2011 05:00	14,5	16
02.12.2011 17:00	14,5	16
03.12.2011 05:00	14	16
03.12.2011 17:00	8	8
04.12.2011 05:00	8,5	7,5
04.12.2011 17:00	8	7,5
05.12.2011 05:00	7,5	7
05.12.2011 17:00	7	6,5
06.12.2011 05:00	6	6
06.12.2011 17:00	6	6
07.12.2011 05:00	5,5	5

Datum	Seite [°C]	Oben [°C]
07.12.2011 17:00	5,5	6
08.12.2011 05:00	5,5	6,5
08.12.2011 17:00	6	6,5
09.12.2011 05:00	6,5	7,5
09.12.2011 17:00	6	6,5
10.12.2011 05:00	5,5	5
10.12.2011 17:00	8	3,5
11.12.2011 05:00	8,5	4
11.12.2011 17:00	8	4
12.12.2011 05:00	7,5	4
12.12.2011 17:00	7	5
13.12.2011 05:00	6	5
13.12.2011 17:00	6	6
14.12.2011 05:00	5,5	6
14.12.2011 17:00	5,5	6
15.12.2011 05:00	5,5	6
15.12.2011 17:00	6	6
16.12.2011 05:00	6,5	6,5
16.12.2011 17:00	6	6
17.12.2011 05:00	5,5	5,5
17.12.2011 17:00	5,5	6
18.12.2011 05:00	5	5,5
18.12.2011 17:00	5	5
19.12.2011 05:00	4,5	4,5
19.12.2011 17:00	4,5	4,5
20.12.2011 05:00	4	4
20.12.2011 17:00	4	4
21.12.2011 05:00	4	4,5
21.12.2011 17:00	4,5	5

Datum	Seite [°C]	Oben [°C]
22.12.2011 05:00	4	4,5
22.12.2011 17:00	4,5	5
23.12.2011 05:00	5,5	7
23.12.2011 17:00	7	8,5
24.12.2011 05:00	7,5	8,5
24.12.2011 17:00	7	8
25.12.2011 05:00	6,5	7
25.12.2011 17:00	7	8
26.12.2011 05:00	7,5	9
26.12.2011 17:00	8,5	10
27.12.2011 05:00	9	10,5
27.12.2011 17:00	9	10
28.12.2011 05:00	9	9,5
28.12.2011 17:00	9	9
29.12.2011 05:00	8,5	9
29.12.2011 17:00	8	8
30.12.2011 05:00	7,5	7,5
30.12.2011 17:00	7,5	7,5
31.12.2011 05:00	7	7
31.12.2011 17:00	7	7
01.01.2012 05:00	7	7,5
01.01.2012 17:00	8	9,5
02.01.2012 05:00	9	10,5
02.01.2012 17:00	9	10
03.01.2012 05:00	8,5	8,5

Anhang 5: Rohdaten der Temperaturmessung bei K+E Kompost und Erden GmbH

Datum	Temperatur [°C]
18.10.2011	48,3
19.10.2011	50,7
20.10.2011	52,3
21.10.2011	53,2
24.10.2011	54,5
25.10.2011	56,1
26.10.2011	55,5
27.10.2011	56,2
28.10.2011	56,5
31.10.2011	57,5
01.11.2011	58,0
02.11.2011	58,3
03.11.2011	58,5
04.11.2011	58,7
05.11.2011	58,7
07.11.2011	60,5
08.11.2011	62,4
09.11.2011	63,8
10.11.2011	65,2
11.11.2011	46,7
14.11.2011	51,1
15.11.2011	51,7
16.11.2011	52,4
17.11.2011	59,5
18.11.2011	62,3
21.11.2011	69,4
22.11.2011	70,7
23.11.2011	45,0
24.11.2011	46,2
25.11.2011	47,6
26.11.2011	50,2

Anhang 6: Rohdaten der pH-Werte für den HAW-Komposter

Woche	Datum Probennahme	pH-Wert
0	11.10.2011	4,98
1	18.10.2011	5,83
2	26.10.2011	6,50
3	05.11.2011	8,34
4	12.11.2011	8,58
5	19.11.2011	7,69
6	26.11.2011	7,71
7	03.12.2011	7,80
8	10.12.2011	7,50
9	17.12.2011	7,62
10	21.12.2011	7,93
11		
12	03.01.2012	7,56

Anhang 7: Rohdaten der pH-Werte für K+E Kompost und Erden GmbH

Messung Nr.	Datum der Probenentnahme	pH-Wert
1	28.10.2011	8,16
2	04.11.2011	7,47
3	10.11.2011	8,36
4	16.11.2011	8,84
5	22.11.2011	8,97
6	30.11.2011	7,72
7	07.12.2011	8,90
8	20.12.2011	8,75
9	10.01.2012	8,52

Anhang 8: Rohdaten für die Feuchtigkeitsmessung des HAW-Komposters

Woche	Datum	Einwaage (feucht) [g]	Trockenmasse [g]	Feuchtigkeit [%]	Feuchtigkeit (Durchschnitt) [%]
0	11.10.2011	26,2102	13,5741	48,21	
0	11.10.2011	34,0970	17,3558	49,10	48,65
1	18.10.2011	35,9018	19,3753	46,03	
1	18.10.2011	40,0080	20,1883	49,54	47,79
2	26.10.2011	22,9513	11,5424	49,71	
2	26.10.2011	20,2936	8,9290	56,00	52,86
3	05.11.2011	25,5687	15,9620	37,57	
3	05.11.2011	20,8096	12,5710	39,59	38,58
4	12.11.2011	22,8916	14,4393	36,92	
4	12.11.2011	20,7518	11,8617	42,84	39,88
5	19.11.2011	22,8929	14,2113	37,92	
5	19.11.2011	24,4110	15,5220	36,41	37,17
6	26.11.2011	26,6258	13,7254	48,45	
6	26.11.2011	21,7847	11,4978	47,22	47,84
7	03.12.2011	20,0735	11,6568	41,93	
7	03.12.2011	20,8285	11,6963	43,84	42,89
8	10.12.2011	22,7417	11,5768	49,09	
8	10.12.2011	23,5409	11,5401	50,98	50,04
9	17.12.2011	26,8864	13,9392	48,16	
9	17.12.2011	24,7270	12,3458	50,07	49,11
10	21.12.2011	26,7856	13,1806	50,79	
10	21.12.2011	21,6021	11,1141	48,55	49,67
11					
11					
12	03.01.2012	25,5836	12,6127	50,70	
12	03.01.2012	25,1304	12,9271	48,56	49,63

Anhang 9: Rohdaten für die Feuchtigkeitsmessung bei K+E Kompost und Erden GmbH

Mes- sung Nr.	Datum	Einwaage (feucht) [g]	Trockenmasse [g]	Feuchtigkeit [%]	Feuchtigkeit (Durchschnitt) [%]
1	28.10.2011	20,0644	10,9282	45,53	
1	28.10.2011	22,1999	12,7980	42,35	43,94
2	04.11.2011	20,5195	12,1409	40,83	
2	04.11.2011	22,3967	12,6725	43,42	42,13
3	10.11.2011	25,9867	15,8668	38,94	
3	10.11.2011	25,6752	14,7799	42,44	40,69
4	16.11.2011	21,1103	12,3052	41,71	
4	16.11.2011	20,4356	12,4841	38,91	40,31
5	22.11.2011	20,6625	12,3261	40,35	
5	22.11.2011	22,8081	14,0548	38,38	39,36
6	30.11.2011	22,4027	14,3633	35,89	
6	30.11.2011	26,1201	18,6828	28,47	32,18
7	07.12.2011	20,7964	13,2662	36,21	
7	07.12.2011	20,5976	13,3663	35,11	35,66
8	20.12.2011	33,9897	21,9308	35,48	
8	20.12.2011	32,4016	19,6705	39,29	37,38
9	10.01.2012	24,3244	13,6340	43,95	
9	10.01.2012	21,0127	10,7116	49,02	46,49

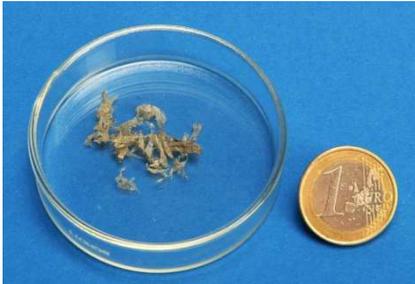
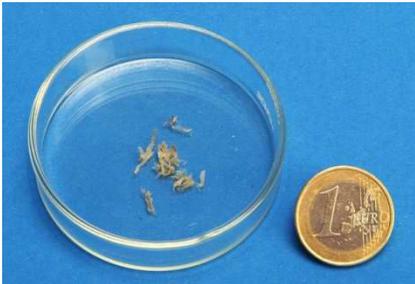
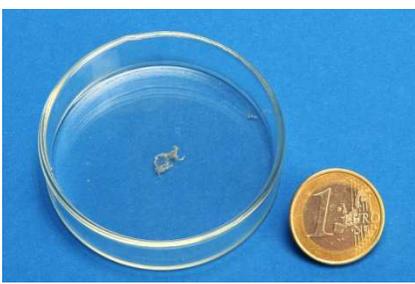
Anhang 10: Anhang 5: Rohdaten der Temperaturmessung für die Bestimmung des Rottegrades

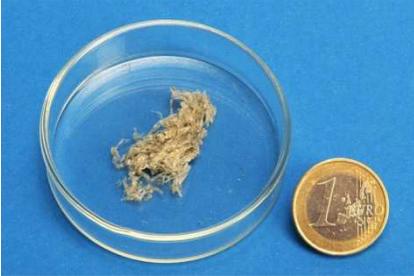
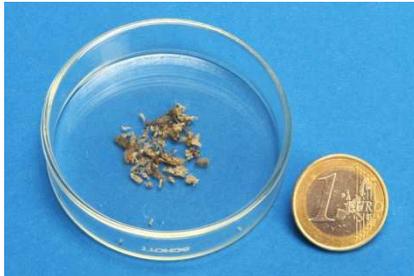
Zeit	Temperatur [°C]
27.01.2012 14:00	16
27.01.2012 20:00	16
28.01.2012 02:00	16,5
28.01.2012 08:00	17
28.01.2012 14:00	17,5
28.01.2012 20:00	18
29.01.2012 02:00	18
29.01.2012 08:00	18,5
29.01.2012 14:00	18,5
29.01.2012 20:00	18,5
30.01.2012 02:00	19
30.01.2012 08:00	18,5
30.01.2012 14:00	18,5
30.01.2012 20:00	18,5
31.01.2012 02:00	18,5
31.01.2012 08:00	18,5
31.01.2012 14:00	18,5
31.01.2012 20:00	18,5
01.02.2012 02:00	18,5
01.02.2012 08:00	18,5
01.02.2012 14:00	18,5
01.02.2012 20:00	18,5
02.02.2012 02:00	18,5
02.02.2012 08:00	18,5
02.02.2012 14:00	18,5
02.02.2012 20:00	19
03.02.2012 02:00	19
03.02.2012 08:00	19
03.02.2012 14:00	19,5
03.02.2012 20:00	19,5
04.02.2012 02:00	19,5
04.02.2012 08:00	19,5
04.02.2012 14:00	19,5
04.02.2012 20:00	19,5
05.02.2012 02:00	19,5
05.02.2012 08:00	19,5
05.02.2012 14:00	19,5
05.02.2012 20:00	19,5
06.02.2012 02:00	19,5
06.02.2012 08:00	19

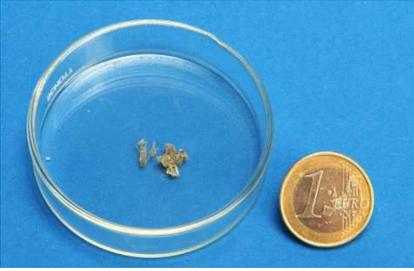
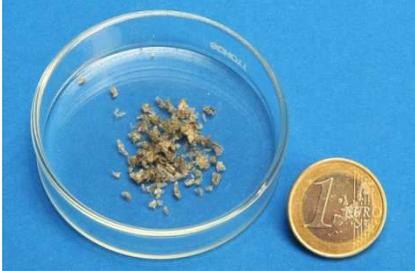
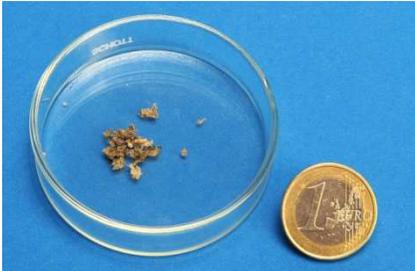
Anhang 11: Rohdaten Frischhaltefolie

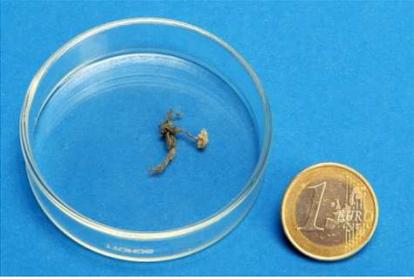
Entnahme- woche	Anfangsge- wicht Probe [g]	Wiederfindung			Wiederfindungs- rate gesamt [%]	Wiederfindungs- rate lt. EN [%]
		Frakti- on >5,6 [g]	Frakti- on 2,0- 5,6 [g]	Frakti- on <2,0 [g]		
1	0,1204	0,1294	0	0	107,5	107,5
2	0,1181	0,0944	0,0173	0,0051	98,9	94,6
3	0,1221	0,134	0	0,0007	110,3	109,7
4	0,1313	0,0534	0,014	0,0115	60,1	51,3
5	0,1159	0	0	0,0172	14,8	0,0
6	0,1395	0	0	0,0105	7,5	0,0
7	0,1228	0	0,0046	0,0269	25,7	3,7
8	0,1362	0	0,0298	0,0105	29,6	21,9
9	0,1168	0	0,0032	0,0163	16,7	2,7
10	0,1101	0	0,0013	0,0031	4,0	1,2
12	0,1253	0	0,0035	0,0255	23,1	2,8
K+E	0,01189	0	0,0021	0,0044	5,5	1,8

Anhang 12: Bildtafel Frischhaltefolie

Woche	>5,6 mm	2-5,6 mm	<2 mm
1		-	-
2			
3		-	

4			
5	-	-	
6	-	-	

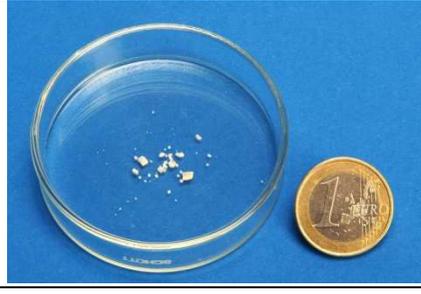
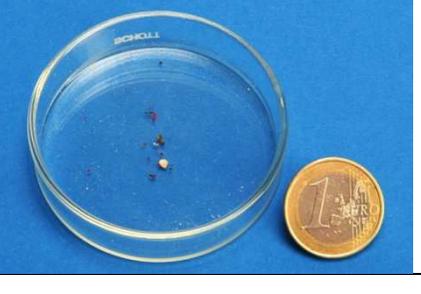
7	-		
8	-		
9	-		

10	-		
12	-		

Anhang 13: Rohdaten Joghurtbecher

Entnahme- woche	Anfangsge- wicht Probe [g]	Wiederfindung			Wiederfin- dungsrate ge- samt	Wiederfin- dungsrate lt. EN
		Frak- tion >5,6 [g]	Frak- tion 2,0-5,6 [g]	Frak- tion <2,0 [g]		
1	2,1089	0,8768	0,8055	0,3327	95,5	79,8
2	2,2209	0,0173	0,0692	0,5002	26,4	3,9
3	2,1337	0	0	0,0019	0,1	0,0
4	2,4909	0	0	0,0058	0,2	0,0
5	2,4119	0	0	0,0016	0,1	0,0
6	2,2159	0	0	0	0,0	0,0
K+E	2,1672	0	0	0	0,0	0,0

Anhang 14: Bildtafel Joghurtbecher

Woche	>5,6 mm	2-5,6 mm	<2 mm
1			
2			
3	-	-	

4	-	-	
5	-	-	