



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hamburg University of Applied Sciences

## *Masterarbeit:*

# Untersuchung der Desintegration von biologisch abbaubaren Kunststoffen mit Lebensmittelkontakt

Svea Fick

März 2012

Fakultät Life Sciences- Master Food Science

HAW Hamburg

BFSV Hamburg/ K+E Kompost und Erden GmbH

**Tag der Abgabe:** 21.03.2012

**Vorgelegt von:** Svea Fick

**Geboren am:** 31.05.1983 , in Hamburg

**Erstgutachter:** Prof. Dr.-Ing. Bernd Sadlowsky

**Zweitgutachter:** Dipl.-Biol. Martin Rubbert

## Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Sadlowsky für die Bereitstellung des Themas der vorliegenden Masterarbeit, die Möglichkeit der Anfertigung meiner Masterarbeit in Zusammenarbeit mit dem Verpackungsinstitut Hamburg (BFSV) und die Betreuung dieser Masterarbeit als Erstgutachter. Ich danke auch allen Mitarbeitern des BFSV für ihre Unterstützung.

Außerdem danke ich der Firma K+E Kompost und Erden GmbH (K+E GmbH), insbesondere Herrn Dipl.-Biol. Martin Rubbert für die Möglichkeit, der Durchführung von Vergleichsversuchen, direkt im Unternehmen und die Betreuung der Masterarbeit als Zweitgutachter.

Viele Mitarbeiter der K+E Kompost und Erden GmbH haben mich bei der regelmäßigen Pflege der Vergleichsproben vor Ort in Norderstedt tatkräftig unterstützt. Auch Ihnen vielen Dank.

Auch den Mitarbeitern des Labors für Verfahrenstechnik an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg gilt mein Dank, für die dauerhafte Bereitstellung eines Laborarbeitsplatzes und die freundliche Betreuung.

Dankeschön auch an die Geschäftsführung der HAW Hamburg, Frau Dr. Petra Seling-Biehusen, für die Gestattung der Errichtung einer Versuchsanlage auf dem Hochschulgelände.

Vielen Dank auch an die Hochschulfotografin Frau Elke Stagat, die für professionelle Nahaufnahmen der Versuchsproben sorgte.

Mein besonderer Dank gilt meiner Studienkollegin Kathrin Labusch. Danke für deine Geduld, deine unerschrockene Art und deinen nicht einzuschüchternden Optimismus.

# Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	3
Abkürzungsverzeichnis.....	6
Abbildungsverzeichnis .....	7
1.Einleitung und Aufgabenstellung .....	9
2. Untersuchungsrahmen .....	11
3. Grundlagen.....	12
3.1 Kunststoff –Ein Werkstoff bringt Probleme .....	12
3.2 Verpackung von Lebensmitteln .....	17
3.3 Kunststoffverpackungen in Deutschland.....	18
3.4 „Biologisch abbaubare“ Kunststoffe .....	20
3.5 Kompostierungsprozesse .....	26
3.6 Gesetzliche Grundlagen und Normanforderungen .....	29
4. Durchführung .....	33
5. Ergebnisse .....	35
5.1 Markübersicht „Biologisch abbaubare“ Kunststoffe und Produktrecherche.....	35
5.2 Auswahl der Proben für den praktischen Versuch.....	37
5.3 Vor Ort Recherche in Form von Unternehmensbesichtigungen zweier Komposthersteller.....	38
5.4 Entwicklung und Bau eines Versuchskomposters im Labormaßstab .....	43
5.5 Vorbereitung der Proben für die praktischen Versuche .....	46
5.6 Einsetzen der Proben und Versuchsbeginn .....	48
5.7 Kompostierungsprozess und Anlagenpflege .....	50
5.8 Messung der Randparameter des Versuchs .....	51
5.8.1 Temperaturmessungen.....	51
5.8.2 Messung des Wassergehaltes.....	55
5.8.3 pH-Wert Messungen .....	57
5.9 Vergleichsmessungen .....	58
5.9.1 Großanlage.....	58
5.9.2 Eigenkomposter .....	61
5.10 Auswertung der Proben .....	62
5.10.1 Trocknen der Proben .....	62
5.10.2 Sieben der Proben .....	63
.....	65

5.10.3 Sortieren und Durchsicht der Proben .....	65
5.10.4 Reinigung und Rückwaage der Probenpartikel .....	66
5.10.5. Bestimmung der Wiederfindungsrate .....	67
5.11 Ergebnisse des Kompostierungsvorgangs .....	67
5.11.1 Veränderungen des Komposts während des Versuchs. ....	68
5.11.2 Ergebnisse „Biologisch abbaubare“ Proben- „To- Go –Becher Abdeckung.....	69
5.11.3 Ergebnisse „Biologisch abbaubare“ Proben-Tragetasche .....	75
5.11.4 Ergebnisse der Vergleichsmessungen.....	81
5.11.5 Validierung der Kompostierungsversuche.....	85
6. Fehlerbetrachtung .....	88
7. Zusammenfassende Bewertung und Ausblick .....	89
Quellenverzeichnis .....	93
Literaturquellen .....	93
Internetquellen .....	94
Eidesstattliche Versicherung.....	97

## Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz
BFSV	Institut für Beratung, Forschung, Systemplanung, Verpackungsentwicklung und-prüfung
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Normen
GAB mbh	Gesellschaft für Abfallwirtschaft und Abfallbehandlung mbH, 25494 Kummerfeld
HAW	Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
ISO	Internationale Organisation für Normung
K+E GmbH	K+E-Kompost und Erden GmbH, (22419 Hamburg-Norderstedt)
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PHF	Polyhydroxyfettsäuren
PLA	Polylactid
PP	Polypropylen
PS	Polysterol
PVC	Polyvinylchlorid

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Tupperware Anzeige der 50er Jahre Quelle: Flickr.com.....	12
Abbildung 2: Meeresströmungen vor der Westküste Nordamerikas Quelle: Greenpeace .....	14
Abbildung 3: An Kunststoffteilen verendeter Albatros Quelle: Greenaction.....	15
Abbildung 4: Kunststoffabfall an der Uferböschung der Elbe (Wedel, Februar 2012).....	15
Abbildung 5: Keimling Siegel/ Home OK Kompost-Siegel Quelle: Forum Gesundheit/ .....	26
Abbildung 6: "Biologisch abbaubare" Tragetasche von Aldi.....	37
Abbildung 7: "To-Go"-Becher Abdeckung von Biofutura .....	37
Abbildung 8: Konventionelle Tragetasche von ALDI .....	37
Abbildung 9: "To -Go"- Becher Abdeckung Mc Donald .....	37
Abbildung 10: Kompostmiete auf Rottefeld K+E GmbH.....	40
Abbildung 11: Beispielbild Rottetunnel , Quelle: awb-wetterau .....	43
Abbildung 12: Bildtafel Komposterbau 1 .....	45
Abbildung 13: Bildtafel Komposterbau 2.....	46
Abbildung 14: Zugeschnittene Einzelprobe.....	46
Abbildung 15: Probenverschluss mit Probennummer der Serie "Orange" .....	47
Abbildung 16: Mit Probe und Bioabfall gefüllter Probenbeutel .....	49
Abbildung 17: Probenplatzierung im Komposter .....	49
Abbildung 18befüllter: Befüllter Komposter.....	49
Abbildung 19: Belüftung des Komposts .....	50
Abbildung 20: Datenlogger zur Temperaturmessung.....	52
Abbildung 21: Für Einsatz vorbereiteter Datenlogger.....	52
Abbildung 22: Messergebnisse Datenlogger "Oben" .....	54
Abbildung 23: Messergebnisse Datenlogger Seite .....	54
Abbildung 24:Temperaturdaten Kompostmiete K+E GmbH.....	54
Abbildung 25: Ergebnisse Feuchtigkeitsmessungen HAW Komposter .....	56
Abbildung 26:Ergebnisse der Feuchtigkeitsmessungen K+E GmbH.....	56
Abbildung 27: Ergebnisse pH-Wertmessungen HAW-Versuchsanlage.....	57
Abbildung 28: Ergebnisse der pH-Wertmessungen K+E GmbH .....	58
Abbildung 29: Probenplatzierung im Kompostwerk K+E GmbH.....	59
Abbildung 30: Markierung der Proben Kompostwerk K+E GmbH.....	59
Abbildung 31: Wende-und Belüftungsmaschine K+E.....	60
Abbildung 32: Eigenkomposter Vergleichsversuch .....	61
Abbildung 33: Probenbeutel direkt nach der Entnahme aus dem Komposter .....	63
Abbildung 34:Siebmaschine AS 200 control "g" .....	64
Abbildung 35: Siebfraktion grober Korngröße .....	64
Abbildung 36: Siebfraktion mittlerer Korngröße .....	65
Abbildung 37: Siebfraktion feine Korngröße .....	65
Abbildung 38: "To-Go"-BecherDeckelbruchstücke, Woche 1, mittlere Fraktion.....	66
Abbildung 39: Volumenabnahme Versuchskompost.....	68
Abbildung 40: Ergebnisse Desintegration "To-Go"-Becher-Deckel .....	71
Abbildung 41: Ergebnisse der Desintegration des "To-Go"-Becher-Deckels.....	74
Abbildung 42: Probenfund ALDI Tragetasche nach einer Woche .....	75
Abbildung 43: Ergebnisse Desintegration: ALDI Tragetasche.....	77
Abbildung 44: Ergebnisse der Desintegration der ALDI-Tragetasche .....	80
Abbildung 45: "To-Go"-Becher-Deckel nach 12wöchiger Eigenkompostierung.....	83
Abbildung 46: ALDI Tragetasche nach 12wöchiger Eigenkompostierung .....	83
Abbildung 47: Konventioneller "To-Go"Deckel nach 12wöchiger Kompostierung .....	84

Abbildung 48: Konventionelle Tragetasche nach 12wöchiger Kompostierung .....	84
Abbildung 49: Dewar-Gefäß .....	85
Abbildung 50: Temperaturwerte Reifegradbestimmung .....	86

## 1. Einleitung und Aufgabenstellung

Kunststoffe begleiten und bestimmen das Leben der Menschen heute in vielfältiger Form. Ein durchschnittliches Menschenleben in den Industriestaaten ist ohne den Gebrauch von Kunststoffen nicht mehr möglich. Seit den 50er Jahren werden verschiedenste Produkte aus Kunststoffen massenhaft gefertigt und haben die Welt im Sturm erobert.

Leider hat die Verwendung von Kunststoffen nicht nur Vorteile gebracht. Durch die universelle Nutzung von Kunststoffen entstehen zunehmend ernste Probleme. In vielen Ländern gibt es keine geregelte Abfallentsorgung und es fehlt das „Know How“ Abfälle, also auch Kunststoffe, schadstoffarm zu verwerten. Kunststoffabfälle geraten beispielsweise durch Niederschläge in unsere Gewässer und sammeln sich auf der Oberfläche unserer Ozeane. Kunststoffe haben, wenn sie in die Umwelt gelangen eine sehr lange Lebensdauer, bevor sie durch UV-Strahlung und Reibung zu Kleinstpartikeln zerfallen. Heute findet man sogar in einer Probe gewöhnlichem Sandstrand Kleinstpartikel aus Kunststoff. Diese werden durch Tiere wieder mit der Nahrung aufgenommen und geraten so über die Nahrungskette zurück zum Menschen. Niemand weiß bisher welche Auswirkungen diese Begebenheit dauerhaft auf Umwelt und Mensch haben wird.

(<http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,712863,00.html>)

Die weltweite Herstellungsmenge an Kunststoff steigt weiter an. Aufgrund der Umweltbelastungen, die mit Kunststoffen einher gehen und nicht absehbarer Folgen, wird nach alternativen Werkstoffen geforscht, die bei ähnlichen Materialeigenschaften eine umweltschonendere Entsorgungsmöglichkeit bieten.

In dieser Masterarbeit soll untersucht werden, ob heute im Handel erhältliche Produkte, aus laut Herstellerangabe „kompostierbaren Kunststoffen“ den Anforderungen der Din EN 14045 und, 13432 bezüglich der Desintegration, genügen. Dies erfolgt durch einen Langzeitkompostierungsversuch im Labormaßstab, der sich so weit wie möglich an den realen Bedingungen einer Großanlage zur Bioabfallverwertung anlehnt.

Die Desintegration ist die physikalische Zerlegung von Kunststoffverpackungen in sehr kleine Fragmente. So gelten Partikel, die nach einer Kompostierungsdauer bei definierten Bedingungen eine Partikelgröße von maximal zwei Millimetern aufweisen, als abgebaut. (DIN EN 13432 /A3.1.1)

Es soll durch die Versuche die Möglichkeit der „neuen“ Kunststoffe getestet werden, in Zukunft in einer gewöhnlichen Abfallverwertung für Bioabfälle entsorgt zu werden. Sie könnten so in Zukunft zu einer Verwertung kommen, die ihrer „Natur“ entspricht und somit

Ressourcen und Umwelt schont. Die durchgeführten Versuche sollen so praxisnah wie möglich ablaufen.

Generell soll ermittelt werden, ob „Biologisch abbaubare“ Kunststoffe im Bereich der Entsorgung eine Chance zur nachhaltigeren Entsorgung von Kunststoffabfällen bieten und so eine umweltschonendere Alternative zu konventionellen Kunststoffen darstellen. Es soll untersucht werden, ob die neuen Kunststoffe, die an sie gerichteten Erwartungen eines geschlossenen Wertstoffkreislaufes erfüllen, oder ob die Verwertung der Kunststoffe durch Kompostierung nach ihrem Gebrauch an Grenzen stößt.

Verpackungen sollen das Produkt lange und zuverlässig vor äußeren Einflüssen schützen. Gleichzeitig sollen „Biologisch abbaubare“ Verpackungen so schnell wie möglich rückstandsfrei zerfallen. Im Rahmen dieser Masterarbeit soll untersucht werden, ob dieser Widerspruch von den neuartigen Verpackungen erfüllt werden kann.

Die im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführten Kompostierungsversuche zur Untersuchung der Desintegration aktueller im Handel erhältlicher „Biologisch abbaubarer“ Kunststoffe erfolgten in Zusammenarbeit mit dem Verpackungsinstitut Hamburg (BFSV) und dem Unternehmen K+E Kompost und Erden GmbH (K+E GmbH).

## **2. Untersuchungsrahmen**

Die in dieser Masterarbeit beschriebenen Desintegrationsversuche „Biologisch abbaubarer“ Kunststoffe fanden im Rahmen einer größeren Untersuchung zum Thema „Desintegration Biologisch abbaubarer Kunststoffe“ statt.

So wurden nicht nur die beiden für diese Arbeit gewählten Kunststoffprodukte, sowohl in einer Laborversuchsanlage, als auch in einem Kompostwerk kompostiert.

In einem Vergleichsversuch in der gleichen Versuchsanlage an der HAW wurden im Rahmen einer zweiten Masterarbeit zwei weitere Proben „Biologisch abbaubarer“ Kunststoffe kompostiert.

Desweiteren wurden im Rahmen eines Scientific-Projects Vergleichsversuche in einem Eigenkomposter mit den gleichen Proben durchgeführt. Auch auf die Ergebnisse dieser Vergleichsversuche wird im Ergebnisteil dieser Arbeit eingegangen.

### 3. Grundlagen

Der Anspruch aussagekräftige Kompostierungsversuche mit „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffen durchzuführen, die mit den Realbedingungen großer Kompostierungswerke vergleichbar sind, erfordert Recherche in vielfältigen Bereichen. So muss zunächst die Bedeutung von Kunststoffen in der heutigen Zeit geklärt werden: Welchen Anspruch hat die Gesellschaft an einen Werkstoff wie Kunststoff heute? Welche „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffe gibt es? Außerdem spielen gesetzliche Anforderungen und technische Normen eine wesentliche Rolle. Auch die biologisch- chemischen Vorgänge einer Kompostierung müssen in das Gesamtkonzept einer erfolgreichen Kompostierung einfließen. Die folgenden Kapitel gehen auf diese grundlegenden Themengebiete ein.

#### 3.1 Kunststoff – Ein Werkstoff bringt Probleme

Kunststoffe waren schon im 19. Jahrhundert Gegenstand der Forschung, dennoch dauerte es viele Jahre bis Verbindungen geschaffen wurden, die so bestechende Eigenschaften besaßen, dass sie zur ernstzunehmenden Konkurrenz für andere Werkstoffe und zum Gebrauchsgegenstand des 20. Jahrhunderts wurden. 1926 wurden in den USA die ersten Haushaltsgegenstände aus Kunststoff verkauft und ab 1942 war die Verbreitung von Kunststoffen in Privathaushalten nicht mehr zu bremsen. In diesem Jahr brachte das Unternehmen Tupper, die ersten Produkte auf den Markt, die bald in jeder Küche zu finden waren. (Pretting, 2010, S. 19f)



Abbildung 1: Tupperware Anzeige der 50er Jahre Quelle: Flickr.com

In den 50er Jahren folgen die ersten Verpackungen aus Kunststoff. Sie passten perfekt in eine Zeit des Wandels, von der Bedienung in kleinen Läden zur Selbstbedienung in „neuartigen“ Supermärkten. Produkte mit Kunststoffverpackung ließen sich nach dem Kauf gut transportieren, das Anpreisen der Ware vor Ort, also die Rolle des Verkäufers übernahm die Verpackung durch erste aufgedruckte Marketingkomponenten. Die Transportwege von Waren wurden in den Folgejahren länger. Auch hier boten Kunststoffe durch ihr geringes Gewicht Vorteile gegenüber bis dahin gängigen Verpackungsmaterialien. Zudem blieben Gemüse und Obst unter Kunststofffolien länger frisch. (Pretting, 2010, S. 22f)

Heute werden Kunststoffe für unzählige Produkte verschiedener Bereiche genutzt. So finden sie sich nicht nur in jedem Haushalt der Industriestaaten wieder, sondern werden zum Beispiel ebenso in Industrie und Medizintechnik verwendet. Sie werden in vielfältiger Weise genutzt, da sie für bestimmte Verwendungen, gegenüber anderen Werkstoffen, viele Vorteile aufweisen. Diese Vorteile, zum Beispiel die Möglichkeit der Herstellung beliebiger Formen, machen Sie interessant für vielfältige Verwendungszwecke.

Rund ein Drittel des weltweit produzierten Kunststoffs wird für Verpackung genutzt. Kunststoff ist heute ein Wegwerfprodukt, welches beim Konsumenten wenig Wertschätzung erfährt. (Pretting, 2010, S. 24f)

Leider hat die Verwendung von Kunststoffen nicht nur Vorteile gebracht. Durch die universelle Nutzung in riesigen Mengen entstehen zunehmend Probleme für Umwelt, Mensch und Natur.

So sind Produkte aus Kunststoff schwierig zu recyceln und nicht schadstofffrei zu verbrennen. Viele Länder haben weder die Infrastruktur, noch die technischen Möglichkeiten Abfälle zentral zu sammeln, zu sortieren und zu trennen, und sie danach gesondert einer Verwertung zuzuführen oder zum Beispiel auch Kunststoffe umweltschonend zu verbrennen. Gleichwohl werden diese Produkte durch die Globalisierung auch in diesen Ländern verwendet oder aus höher entwickelten Staaten in diese Länder exportiert. Hier werden Kunststoffe deponiert oder ganz simpel, einfach vergraben. (Pretting, 2010, S. 70f).

Ein weiteres Problem ist, dass Produkte heute in immer aufwendigeren Verpackungen verpackt werden. Dies geschieht einerseits zum Schutz der Produkte auf teils langen Transportwegen, andererseits wurden die Verpackungen, nach einer kurzen Phase der Verpackungsreduzierung in den 90er Jahren, aus Marketinggründen, im letzten Jahrzehnt immer aufwändiger. Die ultimative Verpackung soll am „Point of Sale“ zum Kauf verleiten.

Ein Yoghurtbecher, der ein Produkt für wenige Wochen schützen soll, benötigt mehrere Hundert Jahre, bis er in der Umwelt zerfällt. Besonders Verpackungen aus Kunststoff landen häufig in der Umwelt, in der sie langsam in Kleinstteile zerfallen. Und auch dies geschieht

nicht rückstandsfrei. Vielmehr entstehen durch ultraviolette Strahlung und Reibung immer kleinere Teilchen. (Pretting, 2010, S. 25f)

Die Kunststoffindustrie weist das Problem des Kunststoffs in der Umwelt von sich. Für die richtige Entsorgung ist nach ihrer Meinung der Verbraucher zuständig. (Pretting,2010, S. 26f)

Doch eine große Menge Kunststoff schafft es durch die obig genannten Gründe nicht in eine richtige Entsorgung. Von 6,8 Millionen Tonnen Kunststoff, die in Nordamerika jedes Jahr produziert werden, werden nur 450.000 Tonnen recycelt. (Pretting,2010, S.62)

Eine weitaus größere Menge wird der Verbrennung zugeführt. Aber auch diesen Weg gehen viele Verpackungen nicht: Viele Kunststoffe gelangen durch Gewässer in die Weltmeere und verteilen sich von dort aus ubiquitär.

Durch Meeresströmungen gelangen solche Abfälle immer an zentrale Punkte. Ein Beispiel: Im Pazifischen Ozean zwischen Hawaii und der kalifornischen Küste fließen sie durch Strömungen des „Subtropischen Wirbels des pazifischen Ozeans“ immer in das Zentrum des Wirbels. Dort gibt es einen Kunststoffteppich der 1998 schon rund drei Millionen Tonnen schwer war. 2008 wurde die Größe des sogenannten „Great Pacific Garbage Patch“ auf die von Mitteleuropa geschätzt. (Pretting,2010, S. 59ff)



**Abbildung 2: Meeresströmungen vor der Westküste Nordamerikas Quelle: Greenpeace**

So erschreckend diese Zahlen auch sein mögen: Der Größte Teil des Kunststoffabfalls im Meer befindet sich nach Angaben von Experten unterhalb der Wasseroberfläche. Etwa 70 Prozent der Kunststoffe schwimmen demnach unsichtbar im Meer. Durch die Sonneneinstrahlung und Reibung zerfallen diese Abfälle in immer kleiner pulverisierte Teilchen. In Teilen des Pazifischen Ozeans schwimmen 60 mal so viel Kunststoffteilchen, samt ihrer teils giftigen Inhaltstoffe, als Plankton im Wasser. (Pretting,2010, S. 62f)

Fische und andere Tiere, die sich normalerweise von Plankton ernähren, nehmen diese im Wasser schwebenden Teilchen als Nahrung auf. So gelangt der Kunststoff wieder in die Nahrungskette. Heute kann man auch in einer Probe gewöhnlichem Sandstrand kleinste

Kunststoffpartikel nachweisen. Die genauen Auswirkungen sind im Detail noch völlig unbekannt. Untersuchungen zu diesem Problem sind Gegenstand heutiger Forschungen von Biologen weltweit. Tiere können die aufgenommenen Stoffe an den Menschen weitergeben, doch neben der schleichenden Vergiftung, sterben auch viele Lebewesen besonders Wasservögel wie Albatrosse, Eissturmvögel oder verschiedene Möwenarten direkt an dem aufgenommenen Kunststoffvolumen, weil sie zu große Kunststoffteile fressen, die sie mit Beutetieren verwechseln. (Pretting, 2010, S. 64f)



**Abbildung 3: An Kunststoffteilen verendeter Albatros Quelle: Greenaction**

Dieses Problem gibt es nicht nur in anderen Ländern. Durch diese Aufnahme (Foto einfügen) die im Februar 2012 bei einem Elbspaziergang in Wedel entstanden ist, kann eindrucksvoll bewiesen werden, dass das Problem der ubiquitären Verteilung von Kunststoffen in unserer Umwelt längst auch an deutschen Flüssen angekommen ist.



**Abbildung 4: Kunststoffabfall an der Uferböschung der Elbe (Wedel, Februar 2012)**

Auch gibt es den Verdacht, dass die Aufnahme bestimmter Kunststoffbestandteile bei einigen Tierarten die Fortpflanzung beeinträchtigt. So gelten heute auch in der Europäischen

Union Grenzwerte für den in einigen Kunststoffen enthaltenen Stoff Bisphenol A, der in der Lage ist, in einem lebenden Organismus ein Hormon nachzuahmen und so den Hormonhaushalt durcheinander bringen kann. (Pretting,2010, S. 95f)

Ein weiteres Problem ist, dass durch die Herstellung von Kunststoffen auf fossile Ressourcen zurückgegriffen wird, dadurch Schadstoffe entstehen und es örtliche Umweltprobleme gibt. Diese Beispiele sind nur einige von vielen Problemen, die mit der Nutzung von Kunststoffen einhergehen.

Aber auch die Entsorgung von Kunststoffen in den Industriestaaten bringt Probleme mit sich. So kann diskutiert werden, ob die Verbrennung die geeignete Entsorgung für Kunststoffe darstellt oder ob es insgesamt gesehen ein Gewinn für die Umwelt wäre, wenn diese Kunststoffe kompostiert werden könnten.

Auch wenn sofort mit der Produktion von Kunststoff aufgehört werden würde, würden die obig genannten Umweltprobleme noch mehrere Jahrhunderte bestehen bleiben.

Der traurige Fakt ist: Kunststoffe gelangen, wenn Sie nicht einem geeigneten Recyclingsystem zugeführt werden in die Umwelt.

Nur ein geringer Anteil an Kunststoffen wird recycelt oder ist Teil eines Mehrwegsystems, wie zum Beispiel dem Mehrweg- PET-System einiger Getränkehersteller. Immerhin zwölf „Durchläufe“ schafft eine Mehrweg- Kunststoffflasche bis zur Entsorgung. Eine Glasflasche kommt auf das Fünffache und kann danach wieder eingeschmolzen werden. Sie hat allerdings den Nachteil, dass ihr Transportgewicht höher ist. Doch auch die PET-Flasche kann nach Gebrauch noch verwendet werden. Sie wird zu Fleece- Produkten, wie zum Beispiel Kleidung, verarbeitet. (Pretting,2010, S. 82f)

Wird der Fleecepullover nach Gebrauch verbrannt, haben die enthaltenen Kunststoffe einen nicht unerheblichen Heizwert. Doch auch durch die Verbrennung gelangen, besonders unter niedrigen technischen Standards, Rückstände der Verbrennung als Schadstoffe in die Umwelt. Reststoffe wie Schlackebeton oder Rückstände aus Filteranlagen werden verbaut oder müssen deponiert werden. Pro Tonne verbranntem Restmüll entsteht in einer technisch effizient arbeitenden Anlage rund ein Kilogramm giftiger Deponieabfall. Die Verbrennung von Abfällen kann demnach nur als Massereduktion von Abfall und Nutzung der Restenergie betrachtet werden. (Pretting,2010, S. 89f)

Dieses Beispiel der PET-Flasche verdeutlicht anschaulich, dass das Problem „Kunststoff“ ein sehr vielschichtiges ist und eine generelle Bewertung nicht möglich ist. Es muss vielmehr je nach Produkt neu entschieden werden, welcher Werkstoff für die Verpackung am geeignetsten und am ökologisch sinnvollsten ist.

Wenn man die durch Kunststoffe ausgelösten Umweltprobleme zu Grunde legt, sollten in der Zukunft deshalb zunehmend Alternativen in Betracht gezogen werden.

Eine Möglichkeit der Reduzierung der Abfallmengen wäre der Ersatz von konventionellem Kunststoff durch neuartige „Biologisch abbaubare“ Kunststoffe.

### **3.2 Verpackung von Lebensmitteln**

Grundsätzlich werden in der modernen Welt des globalen Handels nahezu alle Güter verpackt. In den Industrieländern ist im 20. Jahrhundert ein Wandel hin zu Selbstbedienungsmärkten geschehen. Das macht das Verpacken von Lebensmitteln generell erforderlich, nicht nur weil dieser Wandel mit großen Personaleinsparungen im direkten Lebensmittelverkauf einher ging. An Lebensmittel werden heute verlängerte Haltbarkeitsanforderungen gestellt, da sie je nach Produkt auch längere Lagerzeiten erfahren. (Stehle, 1997, S. 3)

Besonders bei Lebensmitteln helfen Verpackungen, die Haltbarkeit von Produkten zu verlängern und eine gleichbleibende Qualität sicher zu stellen.

Verpackungen schützen das Lebensmittel vor einer Vielzahl von Einflüssen, wie ultravioletter-Strahlung (UV-Strahlung), Verunreinigungen, wie zum Beispiel Mikroorganismen oder unberechtigter Entnahme am Verkaufsort (Originalitätssicherung). Aber auch ein gewünschter Gasaustausch mit der Umgebung kann durch bestimmte Materialien realisiert werden. Diese Schutzfunktionen sind der Hauptgrund für eine Produktverpackung. Werden für ein Lebensmittel die richtigen Verpackungsmaterialien eingesetzt, bleibt es länger frisch und die Zusammensetzung und sensorischen Eigenschaften des Produkts werden vor Veränderungen geschützt. (Jenkins, Harrington, 1991, S. 4f)

Produkte werden heute durch den globalen Handel auf immer längeren Wegen distribuiert, die verschiedene Anforderungen an die Primär- und Sekundärverpackungen stellen. Einige Lebensmittel haben lange Transportwege auf denen unterschiedliche Anforderungen auf die Verpackung auftreten. Eine Verpackung kann auf Transportwegen vor Sauerstoff-, Licht- und Wärmeeinflüssen, sowie Feuchtigkeit schützen. Waren können zudem durch eine geeignete Verpackung gebündelt oder auf eine genau definierte Menge abgepackt werden. Eine abgestimmte Verpackung ermöglicht eine gute Logistik der Produkte. So sorgt eine Verpackung, dessen Abmessung konform mit Europaletten und im Handel gängigen Regalen ist, für eine einwandfreie Logistik. (Stehle, 1997, S. 3ff)

Auch der Schutz vor mechanischen Belastungen wie Stößen, Schwingungen oder Stapeldruck, wie sie beim Transport, Umschlag und Lagerung in der Logistik auftreten können, ist Aufgabe der Verpackung oder Umverpackung.

Verpackungen haben auch Präsentationswirkung. Die Verpackung ist der Verkäufer der Supermarktwelt. Der Aufdruck einer Verpackung sorgt für die Information des Kunden am Verkaufsort, präsentiert die Marke und kann weitere Kaufanreize kommunizieren. So ist eine Verpackung heute auch immer Werbeträger.

Auch nach dem Kauf soll die Verpackung dem Konsumenten Vorteile geben. So kann eine Verpackung beispielsweise Zubereitungsempfehlungen kommunizieren oder bringt Vorteile in der Handhabung des Lebensmittels für zu Hause. (Stehle, 1997, S. 3ff)

Verpackungen, die nicht mehr benötigt werden, sollen umweltschonend entsorgt werden können. So soll eine Verpackung auf der einen Seite das Produkt lange und zuverlässig vor Umwelteinflüssen unterschiedlichster Art schützen, auf der anderen Seite möglichst unproblematisch zu entsorgen sein. Gerade für Verpackungen aus „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffen ist dies eine enorme Herausforderung, da von ihnen ein rückstandsfreier Zerfall erwartet wird. Umfassender Schutz für eine definierte Zeit und danach Zerfall in einer möglichst geringen Zeitspanne ist ein Widerspruch in sich.

Heute wird die „Biologische Abbaubarkeit“ der Verpackung von einigen Unternehmen genutzt, um den Absatz ihrer Produkte zu erhöhen. Ob es sich um seriöses Engagement der Firmen handelt, darf bezweifelt werden. Neben kleinen Unternehmen mit oft ehrbaren Absichten, nutzen Großkonzerne „Biologisch abbaubare“ Verpackungen, um ihre Produkte beim Kunden umweltfreundlicher und „grüner“ erscheinen zu lassen Dies ist Teil eines weltweiten Greenwashing Trends großer Unternehmen zu Marketingzwecken.

### **3.3 Kunststoffverpackungen in Deutschland**

260 Millionen Tonnen beträgt die Kunststoffherzeugung und der Kunststoffverbrauch heute weltweit, Die Wachstumsrate dieses Sektors beträgt fünf Prozent. Nach Energieerzeugung und Transport steht die Verwendung von Kunststoffen an dritter Stelle der Erdölnutzung. (Pretting,2010,S.179)

So werden für die globale Kunststoffindustrie heute zwischen vier und sechs Prozent der globalen Fördermenge an Rohöl benötigt. Der weit größere Teil wird für die Energieversorgung und für die Herstellung von Kraftstoffen verwendet. Der Steigerungsrate der Kunststoffherstellung steht einer Verknappung der fossilen Reserven beziehungsweise Ressourcen gegenüber. Die wichtigsten synthetischen Werkstoffe sind die Thermoplasten Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polysterol (PS), Polyethylenterephthalat (PET) und Polyvinylchlorid (PVC). 90 Prozent der technischen Kunststoffe und Konsumgüter sind aus Thermoplasten (Abts, 2010, S.83).

Thermoplasten haben je nach Art sehr gute Materialeigenschaften: (Tänzer, 2000, S.17)

1. Mechanische Festigkeit
2. Feuchtigkeits- und Gasundurchlässigkeit
3. Transparenz
4. Unempfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen
5. Verarbeitung durch Hitzeeinwirkung (thermoplastisch)
6. Hohe Bruchfestigkeit
7. Geringes Gewicht
8. Niedrige Herstellungskosten

Mehr als ein Drittel aller weltweit hergestellten Kunststoffe werden für die Herstellung von Verpackungen verwendet. Nach einer Phase der Verpackungsreduzierung in den 90er Jahren werden seit der Jahrtausendwende vor allem die Primärverpackungen aus Kunststoff wieder aufwändiger. Auch für den Schutz von Produkten auf, durch den globalen Handel, längeren Transportwegen werden Um- und Schutzverpackungen aus Kunststoff verwendet. (Abts,2010,S. 116)

Rund sieben Prozent der in Deutschland ankommenden Abfälle sind Kunststoffabfälle. Die Deponierung von Kunststoffen ist in Deutschland seit dem Jahr 2005 verboten. (Hellerich,2010,S.53)

Werkstoffabfälle sollen in Deutschland nach folgender Rangfolge verwendet werden:

1. Wiederverwertung
2. Recycling des Werkstoffs (werkstoffliches Recycling)
3. Recycling der Werkstoffbestandteile (Rohstoffliches Recycling)
4. Energetische Verwertung

Laut Verpackungsverordnung ist die Wiederverwertung von Werkstoffen das Ziel und einer Abfallbeseitigung vorzuziehen. (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit)

Kunststoffe, die in Deutschland in die Abfallverwertung gegeben werden, werden zu 90 Prozent einer Zweitbestimmung zugeführt. Rund 30 Prozent der Kunststoffabfälle wird zu neuen Werkstoffen recycelt. (werkstoffliches Recycling) Die restlichen Kunststoffe werden einer Verwertung durch Verbrennung zugeführt (energetische Verwertung). (Abfallforum/ Recycling Technologie 11/2009) Die Kunststoffverbrennung hat einen nicht unerheblichen Anteil an der gesamten, in Deutschland durch Müllverbrennung erzeugten, Energiemenge. Dieser beträgt etwa 15- 25 Prozent.

Kunststoffe tragen mit ihrer hohen Energiedichte zum einwandfreien Betrieb von derzeitigen Verbrennungsanlagen bei. Ein gewisser Kunststoffanteil des Abfalls ist von den Betreibern

erwünscht, beziehungsweise die vollständige Trennung der Kunststoffe vom Restmüll als ökonomisch nachteilig angesehen. (Abfallforum/ Recycling Technologie 11/2009)

Es bleibt abzusehen, ob sich der Anteil der Kunststoffe, die einer Verwertung durch Verbrennung zugeführt werden in Zukunft verändert. In Anbetracht der weltweit steigenden Rohstoffnachfragen und Umweltprobleme ist es allerdings wahrscheinlich, dass sich die Kunststoffverwertung in Zukunft verändern wird.

### **3.4 „Biologisch abbaubare“ Kunststoffe**

Besonders das Auftreten von Problemen in der Abfallwirtschaft, sowie die Erkenntnis, dass die fossilen Rohstoffe der Erde nicht unendlich sind, führten vor rund zwanzig Jahren dazu, dass die Möglichkeit fossile Rohstoffe durch natürlichere zu ersetzen in Betracht gezogen wurde. So wurden steigende Rohölpreise zum Motor neuer Verpackungstechnologien. (Pretting, 2010,S.177)

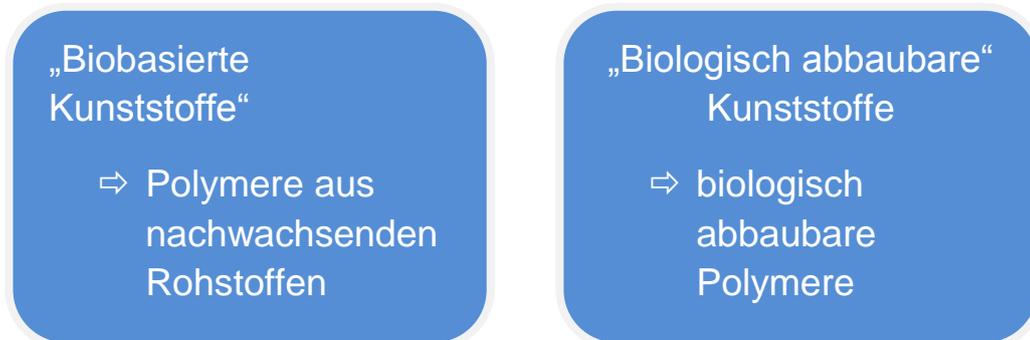
Aufgrund steigender Abfallmengen wird schon in der Verpackungsverordnung des Jahres 1990 gefordert den Einsatz rein synthetischer Kunststoffe zu verringern oder gegen neu entwickelte, ökologisch günstigere Varianten zu ersetzen. (Tänzer,2000,S.13)

Auch neue Erkenntnisse über den Klimawandel und die damit nötigen Einsparungen von Treibhausgasemissionen trugen dazu bei, dass nach Alternativen für Kunststoffe aus fossilen Rohstoffen geforscht wurde. In den letzten Jahren nahmen sich auch große Konzerne, wie zum Beispiel BASF dieses Themas an um neue Verpackungsinnovationen auf den Markt bringen zu können. Sie waren so in der Lage, durch gezieltes Marketing im hart umkämpften Lebensmittelmarkt, beim Verbraucher einen Vorsprung gegenüber der Konkurrenz zu erwirken. Das Umweltbewusstsein einiger Gesellschaftsschichten steigt. Einige Verbraucher sind bereit, mehr für umweltgerechtere Verpackungen zu bezahlen. Umweltbewusstsein wird vermarktet. (Pretting,2010,S.177; Umweltbundesamt, 2009)

In Deutschland werden 1,8 Millionen Tonnen Kunststoffe für Wegwerfprodukte des einmaligen Gebrauchs produziert. Diese Produkte, wie zum Beispiel Catering-Produkte oder Hilfsstoffe aus dem Landschafts- und Gartenbau könnten teilweise durch Produkte aus Bio-Kunststoffen ersetzt werden. Für andere Produkte mit langlebigeren Anwendungsbereichen, wie zum Beispiel Kunststoffrohren, trifft dies nicht zu. (Pretting,2010,S.179)

Insbesondere den Anforderungen für Produkte mit langfristiger Verwendung oder technisch anspruchsvollen Anwendungen können Bio-Kunststoffe häufig nicht standhalten. (Abts,2010,S.116)

Der Begriff „Bio-Kunststoff“ ist bis heute als sehr schwammig zu betrachten. Eine einheitliche Definition ist nicht vorhanden. Vielmehr ist es ein Übergriff, der mehrere Werkstoffgruppen umfasst. (Abts, 2010, S.116):



Zum einen gibt es Kunststoffe, die teilweise oder vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen produziert werden. Diese werden als biobasiert bezeichnet.

Zum anderen gibt es die Bezeichnung „Biologisch abbaubarer“ Kunststoff. Diese Bezeichnung meint einen Kunststoff, der nach definierten Kriteriumsangaben der DIN EN 13432 in seine Kleinstfragmente zerfällt. (Umweltbundesamt, 2009)

Beide Bezeichnungen schließen sich nicht zwangsläufig gegenseitig aus. So kann, zum Beispiel ein Kunststoff aus nachwachsenden Rohstoffen biologisch abbaubar sein oder nicht. Auch gibt es biologisch abbaubare Kunststoffe, die aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden. (Abts,2010,S.116)

Die Fähigkeit eines Kunststoffes biologisch abbaubar zu sein, richtet sich also nicht nach dem Ausgangsstoff des Kunststoffes, sondern nach seiner chemischen Struktur und der Reaktion auf biochemische Vorgänge. Biologisch abbaubare Kunststoffe werden während einer Kompostierung in Wasser, Kohlenstoffdioxid, Methan und Biomasse abgebaut. Insgesamt beschäftigen sich heute circa 16 Firmen mit der Erforschung und Herstellung von biologisch abbaubaren Kunststoffen. Diese Kunststoffe werden besonders für den Bereich Catering und Verpackung hergestellt. (Umweltbundesamt, 2009)

Zum Begriff Biokunststoffe gehören sowohl biologisch nicht abbaubare Kunststoffe, wie zum Beispiel Holz-Kunststoff- Verbundwerkstoffe als auch „Biologisch Abbaubare“ Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen.

Bei den pflanzlichen Rohstoffen sind hier besonders die Stärkederivate zu nennen.

Andere sind tierischen Ursprungs, wie zum Beispiel bestimmte Proteine oder werden durch Prozesse von Mikroorganismen gebildet, wie zum Beispiel PLA.

Bei den biologisch abbaubaren Kunststoffen aus fossilen Rohstoffen sind besonders die abbaubaren Polyester zu erwähnen. (Umweltbundesamt)

Das größte Segment der auf dem Markt befindlichen „Bio-Kunststoffe“ stellen die „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffe pflanzlichen Ursprungs dar. Abbaubare Kunststoffe mit tierischem oder mikrobiologischem Ursprung oder aus fossilen Rohstoffen spielen wirtschaftlich gesehen eine untergeordnete Rolle. (Umweltbundesamt)

Die hauptsächlichsten Rohstoffe biologisch abbaubarer Kunststoffe sind Zellulose, Zucker und Stärke, aus zum Beispiel Mais, Kartoffeln oder Weizen. Der am häufigsten verwendete „Biologisch abbaubare“ Kunststoff ist die thermoplastische Stärke mit einem Gesamtmarktanteil von rund 80 Prozent. Ein weiterer wichtiger Vertreter der biologisch abbaubaren Kunststoffe ist das Polylactid (PLA), polymerisierte Milchsäure Monomere. Die Milchsäure für diesen Werkstoff wird aus Maisstärke gewonnen. PLA Kunststoffe werden neben ihrem Einsatz für Produkte der Medizintechnik (Nahtmaterial, im Körper abbaubare Implantate) vor allem für Verpackungen eingesetzt. (Abts,2010,S.116)

Die dritte bedeutende Gruppe „Biologisch abbaubarer“ Kunststoffe wird unter zur Hilfenahme von bakteriellen Prozessen aus Zucker oder Stärke gewonnen. Diese Werkstoffe heißen Polyhydroxyfettsäuren (PHF). Hier gibt es je nach Rohstoff, der bei der Herstellung eingesetzt wird verschiedene Produkte mit unterschiedlichen Eigenschaften. (Umweltbundesamt)

Das Wichtigste an einem „Biologisch abbaubaren“ Kunststoff ist, dass er in Bezug auf seine Eigenschaften seinen konventionellen Konkurrenten in nichts nachsteht. Um dieses Ziel zu erreichen, werden biologisch abbaubaren Kunststoffen in herstellerepezifischen Mengen bestimmte Additiva zur Eigenschaftsverbesserung zugesetzt. Diese sind meist petrochemischen Ursprungs. (Umweltbundesamt)

Additiva sind zum Beispiel Stabilisatoren oder Antistatika. Es gibt biologisch abbaubare Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen, die bis zu 50 Prozent aus fossilen Additiva bestehen (Fossile Rohstoffe wie Erdöl werden grundsätzlich trotz ihres pflanzlichen Ursprungs aufgrund der langen Zeitperiode der Rohstoffentstehung nicht als nachwachsend bezeichnet).

Bestimmte Additiva können bei biologisch abbaubaren Kunststoffen nicht eingesetzt werden, beispielsweise Flammenschutzmittel, da sie dem Abbau des Kunststoffs entgegen wirken können oder als Rückstände im Abbauprodukt nicht erwünscht sind. (Abts,2010,S.116)

Einen biologisch abbaubaren Kunststoff mit identischen Produkteigenschaften ohne diese Zugaben herzustellen, ist nicht möglich. In diesem Fall müssen Abstriche in der Produktqualität hingenommen werden. Auch werden bei der Herstellung von biologisch abbaubaren Kunststoffen häufig gentechnisch veränderte Rohstoffe verwendet. (Umweltbundesamt )

Gängige Produkte aus biologisch abbaubaren Kunststoffen sind zum Beispiel Müllsäcke, Einweggeschirr, Trays für Gemüse und Obst oder Verpackungsfolien. Auch Produkte aus dem Gartenbaubereich oder der Landwirtschaft, wie Blumentöpfe oder Agrarfolien, sind häufig anzutreffen. Neuerdings werden diese Werkstoffe auch für die Gehäuse technischer Geräte verwendet. (Siehe Kapitel 5.1) (Umweltbundesamt)

Die Herstellungsmengen biologisch abbaubarer Kunststoffe sind nicht genau bekannt. Aus dem Jahr 2005 gibt es Schätzungen der Herstellungsmengen der Bio-Kunststoffe insgesamt (biobasierend und biologisch abbaubar). Dem zufolge wurden im genannten Jahr in Deutschland 5.000 Tonnen und in Europa 50.000 Tonnen verbraucht. Das entspricht etwa 0,09 Prozent der Herstellungsmenge konventioneller Kunststoffe in Europa, beziehungsweise rund 0,06 Prozent der deutschen Herstellungsmenge.

2006 wurden weltweit 350.000 Tonnen Biokunststoffe hergestellt, davon rund ein Drittel in Europa. Deutschland hält mit einer Herstellungsmenge von 20.000 Tonnen derzeit ein fünftel des europäischen Marktes. Es wird davon ausgegangen, dass 90 Prozent dieser Biokunststoffe sowohl biobasiert, als auch biologisch abbaubar ist.

Derzeit werden weltweit die Produktionskapazitäten für Bio-Kunststoffe ausgebaut. (Umweltbundesamt)

Produkte aus Bio-Kunststoffen pflanzlichen Ursprungs sind im Bezug auf die nötigen Rohstoffe derzeit im Vorteil gegenüber Kunststoffen fossiler Basis, da die Rohstoffpreise für Agrarprodukte weit unter den der fossilen Rohstoffe liegen. Ob dieses in Zukunft so bleibt, ist ungewiss. Die Verteuerung von fossilen Rohstoffpreisen ist generell immer mit politischen Unsicherheiten verbunden. Aber auch die nachwachsenden Rohstoffe könnten in Zukunft teurer werden, wenn die der Landwirtschaft zur Verfügung stehende Fläche nicht nur für die Herstellung von Lebensmitteln, sondern auch von „Biokraftstoff“ und „Biokunststoff“ reichen soll. So wird die Flächennutzung zur ethischen Fragestellung. Letztlich wird es eine Entscheidung der politischen Führung sein, wie in Zukunft Subventionen in der Landwirtschaft verteilt werden.

Da Bio-Kunststoffe allerdings in der Herstellung teurer sind, sind sie, je nach Werkstoff zwei bis viermal so teuer, als konventionelle Kunststoffe. Förderprogramme der Bundesregierung zur Forschung und Entwicklung von Bio-Kunststoffen beschränken sich auf solche, deren Rohstoffe nachwachsenden Ursprungs sind. (Umweltbundesamt)

Die Themen „Bio Kunststoffe“ sowie „Biologisch abbaubare Kunststoffe“ werden seit Jahren kontrovers diskutiert. Meinungen dazu kommen von Seiten vielfältiger Interessenvertreter, wie zum Beispiel Produzenten herkömmlicher und „neuartiger“ Kunststoffe, Bauernverbänden, Recyclingunternehmen, Umweltschutzverbänden und der Politik. Es werden die für die jeweiligen Interessengruppen bestehenden Vor- und Nachteile aufgezeigt,

denn wie bei jeder Innovation gibt es durch neue Entwicklungen auch Verlierer oder vermeintliche Verlierer.

So bieten Kunststoffe aus nachwachsenden Ressourcen beispielsweise Produktions- und Einkommensalternativen für die Bauern. Gleichzeitig kritisieren Umweltschutzverbände unter anderem eine weitere Ausbreitung der Agrarsteppen, die mögliche Verschärfung der Landschaftsvermüllung und die Nutzung gentechnisch veränderter Pflanzen in Deutschland. Auch bestehen Unsicherheiten ob durch biologisch abbaubare Kunststoffe bei der Herstellung weniger toxische und allergene Produkte entstehen. (Pretting, 2010, S.179; Tänzer, 2000, S.11)

Die Hersteller konventioneller Kunststoffe sehen sich mit möglichen Umsatzeinbußen konfrontiert. Recyclingunternehmen und große Kompostierungsanlagen bemängeln bisher nicht eindeutig geklärte Entsorgungswege der neuartigen Kunststoffe. Durch das Auftreten der „neuen“ Kunststoffe als Störstoff in ihren Anlagen erschweren sie die dortigen Prozessabläufe. Eigene Sammelsysteme für Biokunststoff wären von Nöten, denn die Zersetzung „Biologisch abbaubarer“ Kunststoffe verläuft nur unter bestimmten physikalischen Bedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, Sauerstoffzugabe) einwandfrei. (Tänzer, 2000, S.16f)

Generell ist Kenntnis über die Abläufe beim Abbau und die entstehenden Abbauprodukte, beziehungsweise einer daraus resultierenden Umweltgefährdung noch nicht gegeben. (Tänzer, 2000, S.15f)

Recycelte Kunststoffprodukte oder Komposterden erfahren möglicherweise eine Qualitätsminderung. Zudem können im Bereich der Abfallentsorgung höhere Kosten entstehen. (Pretting, 2010, S.179; Umweltbundesamt)

Die größte Frage bei der Diskussion „Biologisch abbaubarer“ Kunststoffe ist allerdings die Frage nach der tatsächlichen Umweltschutzwirkung. So könnten beispielsweise Treibhausgasemissionen bei Verwendung nachwachsender Rohstoffe vermindert werden, denn biologisch abbaubare Kunststoffe sind, sofern sie aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen, zu diesem Anteil CO<sup>2</sup>-neutral. (Tänzer, 2000, S.14)

Auch das Abfallaufkommen kann durch Kompostierung vermindert werden. (Umweltbundesamt)

Auf der anderen Seite wird bei der Herstellung einiger biologisch abbaubarer Kunststoffe mehr Energie verbraucht, als bei ihren konventionellen Pendanten. (Tänzer, 2000, S.15)

Kunststoffabnehmer bemängeln den hohen Preis der neuartigen Kunststoffe. Allerdings werden die Entsorgungskosten in der Preiskalkulation häufig nicht eingerechnet. So ist die

Entsorgung eines konventionellen Kunststoffes teurer, als die eines biologisch abbaubaren Kunststoffes. (Tänzer,2000, S.15)

Eine umfassende Bewertung der Vor-und Nachteile von biologisch abbaubaren Kunststoffen für die Umwelt steht noch aus. Schwierig ist auch die Sicherstellung der Aufnahme aller relevanten Kriterien. Die Bewertung nach DIN EN ISO 14040 und 14044 betrachtet beispielsweise allein den Rohstoff und Energieverbrauch, sowie die entstehenden Emissionen und Abfälle. Für eine ganzheitliche Lebenswegbetrachtung eines Produktes müssten jedoch auch andere Auswirkungen wie etwa der Beitrag zur Boden-und Gewässerversäuerung, der Flächenverbrauch oder die Auswirkungen auf die Tier und Pflanzenwelt einbezogen werden. (Umweltbundesamt)

Umfassende Wirkungen biologisch abbaubarer Kunststoffe, die den Umweltschutz betreffen, sind bis heute also nur teilweise gesichert oder werden vermutet, beziehungsweise erwartet. Die resultierenden Argumente werden von verschiedenen Interessengruppen zur Positionierung von Unternehmen und ihren Produkten verwendet, sind aber nicht ausreichend wissenschaftlich belegt. Werbewirksame Umweltaussagen sind von den Unternehmen nicht bewiesen, sondern werden in einer gesetzlich nicht geregelten Grauzone publiziert.

An einem Vergleich von Einweggeschirr aus unterschiedlichsten Materialien, unter anderem auch aus biologisch abbaubarem Material, konnte jedoch gezeigt werden, dass Mehrweglösungen was die Ökobilanz betrifft generell von Vorteil sind. (Umweltbundesamt)

Bei konventionellen Kunststoffen ist der allgemeine Erfahrungsschatz groß. Bei den Bio-Kunststoffen müssen noch viele Fragen abschließend geklärt werden.

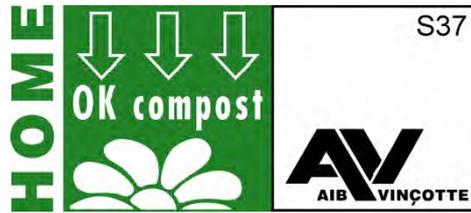
Auch wenn das Thema „Biologisch abbaubare Kunststoffe“ kein neues ist, besteht weiterhin ein hoher Forschungsbedarf. Es ist davon auszugehen, dass die Möglichkeiten dieser Kunststoffe noch nicht ausgeschöpft sind. (Tänzer, 2000,S.17)

Biologisch abbaubare Kunststoffe dürfen in der EU ein Siegel zur Kennzeichnung ihres Charakters tragen (Keimling Siegel). In Zusammenhang mit dem Siegel wird auf Verpackungen häufig der Zusatz „Kompostierbar“ verwendet. Nicht hingewiesen wird der Verbraucher jedoch darauf, dass diese Eigenschaft nur bei einer Heißkompostierung (siehe Kapitel 3.5.) erfüllt wird.

In anderen Ländern, wie zum Beispiel Belgien kann zusätzlich ein Siegel verwendet werden, welches auf die Eignung der Verpackung entweder zur Eigenkompostierung beim Verbraucher zuhause oder ausschließlich zu industrieller Kompostierung hinweist (Abbildungen siehe Folgeseite).



kompostierbar



**Abbildung 5:**  
**Keimling Siegel/  
Home OK  
Kompost-Siegel**  
Quelle: Forum  
Gesundheit/

### 3.5 Kompostierungsprozesse

Kompost ist ein stabiles Verrottungsprodukt, welches aus tierischen und pflanzlichen Abfällen entsteht. Für die Kompostierung eignen sich alle Materialien, die einen organischen Ursprung haben, dazu gehören beispielsweise Garten- und Küchenabfälle aus Privathaushalten, aber auch Pflanzenschnitt gewerblichen oder öffentlichen Ursprungs. (Oberholz, S.13f).

Das Einbringen von fertigem Kompost in den Erdboden hat viele positive Effekte. Dieser „Boden“ ist sehr nährstoffreich und kann zur Bodenaufwertung und Pflanzendüngung benutzt werden. Komposte können nach verschiedenen Kriterien unterschieden werden, zum Beispiel nach der Art ihres Ausgangsmaterials, ihrer Korngröße oder ihres Rottegrads, das heißt nach ihrer Reife. Kompostieren bedeutet natürliche Verrottungsprozesse der Natur nachzuahmen, beziehungsweise auch, sie durch technische Maßnahmen zum Erreichen optimaler Kompostierungsbedingungen zu beschleunigen. (Oberholz, S.13f).

Ein Kompostierungsprozess hängt insbesondere von der Temperatur und dem Wassergehalt des Ausgangsmaterials ab. Diese beiden Parameter beeinflussen den aeroben Verrottungsprozess, das heißt den Verrottungsprozess unter Sauerstoffzufuhr besonders stark. Auch die Sauerstoffzufuhr an sich spielt eine große Rolle.

Die biochemischen Veränderungen, die sich im Laufe einer Kompostierung ergeben, sind das Produkt von Umwandlungsprozessen, die bei Anwesenheit aerober Mikroorganismen geschehen. (Oberholz, S.24).

Bakterien, Aktinomyzeten Pilze und Protozyten sind für einen Großteil der Stoffumwandlungen verantwortlich. (Bidlingmaier, S.40f).

Die Dauer eines Kompostierungsprozesses hängt zum einen von der Zusammensetzung und Struktur des Ausgangsmaterials, aber auch von anderen Faktoren wie zum Beispiel pH-

Wert oder Wassergehalt ab. Ein natürlicher Abbau organischen Materials kann mehrere Jahre andauern. Durch Optimierung der Einflussfaktoren kann dieser Zeitraum drastisch verkürzt werden. Dies geschieht beispielsweise in Großkompostierungsanlagen. (Oberholz, S.24).

Einflussfaktoren, die während eines Kompostierungsprozess von Bedeutung sind, sind wie obig schon dargestellt, die Sauerstoffversorgung, der Wassergehalt und die Temperatur.

Grundsätzlich werden zwei Arten der Kompostierung unterschieden:

Heiße  
Kompostierung in  
Großanlagen

Eigenkompostierung  
bzw. Haus oder  
Gartenkompostierung

Bei der Kompostierung in Großanlagen handelt es sich um die Kompostierung von großen Mengen Abfall. In diesen Anlagen werden Temperaturen von über 70° C erreicht, was zu einer wesentlich beschleunigten Kompostierung führt. So sind größere Anlagen in der Lage, innerhalb weniger Wochen fertigen Kompost herzustellen. In Zeiten großer Anlieferungsmengen (Spätsommer und Herbst) ist eine Verkürzung der Kompostierungsdauer sogar von Nöten. (Expertengespräch K+E GmbH, siehe Kapitel 5.3)

Durch den Abbau der organischen Abfälle durch Mikroorganismen werden große Mengen an Wärme frei. In großen Anlagen mit relativ großem Volumen wird die Wärme nur teilweise als Abwärme abgeführt. Das ist der Grund für den starken Temperaturanstieg in der Miete. (Bidlingmaier, 2000, S.37)

Angelieferte, organische Materialien werden aufbereitet. Sie werden weitestgehend von Metall und Restmüllanteilen befreit. Danach erfolgt eine Zerkleinerung der groben Anteile und Durchmischung des Materials, um den Mikroorganismen eine möglichst große Angriffsfläche zu bieten. In verschiedenen Rottephasen erfolgt dann die Umwandlung zu Kompost durch die Mikroorganismen. (Oberholz, S.33f).

Die Sauerstoffversorgung erfolgt durch Umwälzen, beziehungsweise Wenden des Materials. Der hauptsächliche Grund hierfür ist die Versorgung der Mikroorganismen während der Kompostierung. (Bidlingmaie,2006, S.43)

Der Wassergehalt bei einer Großkompostierung sollte zwischen 45 und 65 Prozent liegen. Das Wasser trägt zur Nährstoffversorgung der Mikroorganismen bei. Während der sehr heißen Vorrotte (Temperaturen bis 65-70° Celsius), beziehungsweise Intensivrotte, werden

krankheitserregende Keime abgetötet. Bei einer gewerblichen Kompostierung werden Temperaturen erreicht, die ausreichen um hygienisch einwandfreien Kompost zu produzieren. (Oberholz, S.33f).

Das Volumen des Komposts nimmt in dieser Phase stark ab. In der Nachrotte erfolgt dann der Abschluss der Kompostierung. In dieser Phase erfolgt der Ab- und Umbau der organischen Stoffe zu einem stabilen Endprodukt. Danach wird das Endprodukt in der Kompostierungsanlage auf die gewünschte Korngröße gesiebt. (Oberholz,S.34f)

Eine zügig ablaufende gewerbliche Kompostierung erfordert die ständige Kontrolle und Steuerung des Rotteprozesses. So sollte die Temperatur kontrolliert und überschüssige Wärme gegebenenfalls durch Belüftung abgeführt werden. Auch der Wassergehalt muss stetig überprüft werden. (Biermaier, 2006, S 8f)

Bei der zweiten Möglichkeit der Kompostierung, der Eigenkompostierung, handelt es sich um die Kompostierung eines haushaltstypischen Volumens, in einem Behälter oder selbstgebautem Verschlag oder ähnlichem von meist einem halben bis einem Kubikmeter Größe. Meist handelt es sich um eine Art der Abfallminderung, beziehungsweise Erstellung von Gartendünger zum Eigenbedarf. (Bidingmaier,2006, S.56)

Wichtig ist, dass der „Komposthaufen“ an einem geschützten, mäßig sonnigen beziehungsweise schattigen Ort aufgebaut wird. Außerdem muss Kleinstlebewesen, durch den Standort direkt auf dem Boden, der Zugang zum Material ermöglicht werden. Durch das im Verhältnis geringe Volumen erfolgt im Laufe der Kompostierung ein wesentlich moderaterer Anstieg der Temperaturen, als bei einer Großkompostierung. Der Kompostierungsprozess dauert neun bis zwölf Monate. (Oberholz, S.31ff). Möglich ist eine Vorbehandlung des Materials in einem geschlossenen Behälter. Dies bietet den Schutz der Ausgangsmaterialien vor Tieren wie zum Beispiel Nagern. Auch können in der ersten Rottephase höhere Temperaturen erreicht werden, die den Kompostierungsprozess beschleunigen. (Oberholz, S.32f).

Während bei der gewerblichen Kompostierung nur Bakterien und Pilze die treibende Kraft der Umwandlung darstellen, nehmen bei der Eigenkompostierung auch Würmer, zum Beispiel Rotwürmer und Insekten einen höheren Stellenwert ein. (Oberholz, S.33f).

Bei der Eigenkompostierung werden meist nicht die Temperaturen erreicht, die zur Herstellung eines hygienisch einwandfreien Komposts nötig sind. Privat hergestellter Kompost kann deshalb auch Krankheitserreger enthalten. (Oberholz, S.33)

### **3.6 Gesetzliche Grundlagen und Normanforderungen**

Die Verwertung von Abfällen ist in Deutschland durch verschiedene Gesetze und Verordnungen geregelt. Das Kreislaufwirtschafts und Abfallgesetz von 1996 hat den Zweck der Förderung der Kreislaufwirtschaft und soll die umweltverträgliche Beseitigung von Abfällen sichern. (Tänzer, 2000, S.200)

Die Verpackungsverordnung besagt, dass eine Wiederverwertung der Abfälle einer Abfallbeseitigung vorzuziehen ist. (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, §1; Abs.1)

Kunststoffe sollen zu einem Anteil von mindestens 22,5 Prozent wiederverwertet werden. Dabei werden nur Produkte als wiederverwertet betrachtet, die nach dem Prozess wieder neue Kunststoffe darstellen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, §1, Abs. 3)

Als Verpackungen werden laut Verordnung alle Primär- und Sekundärverpackungen sowie alle sonstigen Verpackungen betrachtet. (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, §3, Abs. 1)

Die Desintegrationsversuche, die im Rahmen dieser Arbeit an der HAW Hamburg durchgeführt werden sollen, sollen sich an den Bedingungen, die auch bei großen Kompostierungsanlagen vorzufinden sind, orientieren. Die Kompostierung von „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffen ist allerdings auch durch mehrere Normen geregelt:

Zum Thema Kompostierung von „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffen spielen besonders die DIN EN Normen 13432, 14045, und 14855 eine Rolle. Auch diese Normen wurden im Rahmen der durchgeführten Versuche so weit möglich beachtet.

Die Norm 14855 spielte dabei eine untergeordnete Rolle, da sie die vollständige aerobe Bioabbaubarkeit von Kunststoffmaterialien unter den Bedingungen kontrollierter Kompostierung mittels Analyse des freigesetzten Kohlenstoffdioxids untersucht.

Es konnten nicht alle von den Normen geforderten Voraussetzungen und Bedingungen eingehalten werden. Zunächst setzen die Normen voraus, dass das zu untersuchende Material genau in seinen Bestandteilen bekannt ist. (DIN EN 13432)

Da es sich nicht um eigene Versuche eines herstellenden Unternehmens handelte, war diese Vorgabe nicht einzuhalten. Andere Vorgaben konnten wegen des technischen Aufwands, zum Beispiel im Bereich Anlagenbau, nicht durchgeführt werden. So beschränken sich die durchgeführten Versuche auf eine praktische Kompostierung nach Realbedingungen, bei der so weit wie möglich die Anforderungen der DIN Normen beachtet wurden. Auch sollte in Vergleichsversuchen (Scientific Projekt, siehe Kapitel 2) die Desintegration der Proben in einem Eigenkomposter untersucht werden. Diese Art von Versuch wurde ohne die Beachtung von Fachwissen, Normen oder gesetzlichen Regelungen

durchgeführt. Es wurde in einer Form kompostiert, wie es viele Privathaushalte in Deutschland durchführen.

Die aufgeführten Normen definieren den Begriff Desintegration. Desintegration ist die physikalische Zerlegung von Verpackungen oder Packstoffen in sehr kleine Fragmente. (DIN EN 13432 3/3) Die Desintegration biologisch abbaubarer Kunststoffe wird im Rahmen dieser Masterarbeit untersucht. Der Untersuchung der generellen biologischen Abbaubarkeit hingegen genügen diese Normen nicht. (DIN EN 14045/ 1)

Die DIN EN Norm schreibt weiterhin vor, dass die Produkte in der Form kompostiert werden müssen, die bei der späteren Verwendung vorgesehen ist. Es soll also nicht der Rohstoff einer biologisch abbaubaren Folie Kompostierungsversuchen unterzogen werden, sondern die Folie selbst. Die Versuche sollen in einer Technikumsanlage oder in realen Kompostierungsanlagen erfolgen. (DIN EN 13432 /7) Die an der HAW durchgeführten Versuche fanden sowohl in einer Großkompostierungsanlage statt, als auch in einer nachgebauten Anlage, die den Anforderungen einer Großkompostierungsanlage nachempfunden war. Die Prüfdauer für Kompostierungsversuche beträgt 6 Monate. Das gewogene Verpackungsmaterial soll mit Bioabfall vermischt werden und für zwölf Wochen einem Kompostierungsprozess unterzogen werden. (DIN EN 14045/ 1). Das Prüfmaterial wird zusammen mit dem Bioabfall in geeigneten Prüfbehältern, die eine Selbsterhitzung ermöglichen, zum Beispiel Netzen, kompostiert. Die Behälterinhalte sollen eine adäquate Belüftung erfahren. (DIN EN 14045/ 5.1.1) Die Probennetze sollen aus textilem Material mit der Maschenweite von einem Millimeter sein und müssen aus hitzebeständigem und nicht biologisch abbaubarem Material bestehen. Das geforderte Volumen der Probennetze von 20 Litern wurde aus praktischen Gründen verkleinert. (DIN EN 14045/ 5.1.3) Es wären sonst sehr große Mengen Probenmaterial nötig gewesen, damit, normgerecht, ein Prozent des Prüfbehälterinhalts Probematerial betragen hätte. (DIN EN 14045/ 6.1.1.4) Der Verschluss des Probenbehälters muss aus nicht biologisch abbaubarem Material bestehen, die Kennzeichnung der Probenbehälter muss einem Kompostierungsprozess standhalten. (DIN EN 14045/ 6.1.1.5) Für die Kompostierung soll homogener Bioabfall aus gleicher Quelle und gleichen Alters, mit einer Korngröße von höchstens fünf Zentimetern verwendet werden. Es sollte sich, sofern möglich, um Bioabfälle handeln, die in eine Kompostierungsanlage geliefert wurden. Der Abfall sollte so weit wie möglich frei von Fremdstoffen sein.

Um das für eine optimal ablaufende Kompostierung benötigte Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis zu erreichen, soll die Mischung aus frischen Bioabfall und Strukturmaterial bestehen. Der Feuchtigkeitsanteil soll höher als 50 Prozent sein. Außerdem soll der Bioabfall zu Beginn der Kompostierung einen pH-Wert von mindestens fünf aufweisen. (DIN EN 14045/ 6.1.1.1)

Der Kompostierungsprozess in einer, einer Großanlage nachempfundenen Laboranlage, soll spontan durch ubiquitär vorhandene Mikroorganismen einsetzen. (DIN EN 14045/ 4) Die

Anlage muss mindestens ein Volumen von 140 Litern haben und aus einem Material bestehen, welches nicht biologisch abbaubar und bis mindestens 120 °Celsius hitzebeständig ist. (DIN EN 14045/ 5.1.2.1) Die Versuchsanlage wurde aus Holz gebaut, da dies den Anforderungen bei einer Kompostierungsdauer von zwölf Wochen entspricht und Holz praktisch leicht zu verarbeiten war. Der Kompostbehälter soll außerdem eine Drainage aufweisen, um Staunässe zu verhindern. (DIN EN 14045/ 5.1.2.2) Der für die Desintegrationsversuche an der HAW entwickelte Kompostbehälter wurde Großanlagen entsprechend ohne Boden gebaut, so dass überschüssige Feuchtigkeit nach unten abfließen konnte.

Der Kompost wird während der Dauer der Kompostierung gemäß großer Anlagen regelmäßig gewendet und neu gemischt, damit der Kompostierungsprozess durch Zugabe von neuem Sauerstoff ungehindert ablaufen kann. Das Wälzen und die Belüftung soll, so weit wie möglich der, großer Kompostierungsanlagen entsprechen. Im Rahmen der durchgeführten Versuche erfolgte eine manuelle Belüftung von Hand mit Gartengeräten. Es soll während der Kompostierung eine Messung der Temperatur, des pH Wertes und der Feuchte erfolgen. (DIN EN 14045/ 4; 6.2.2.1) Eine ebenso geforderte Messung der Gaszusammensetzung war aus praktischen Gründen leider nicht durchführbar. Das Temperaturmessgerät soll einen Messbereich von Null - 100 °Celsius bei einer Messgenauigkeit von einem Grad aufweisen. Die Temperatur soll mindestens einmal pro Werktag dokumentiert werden. (DIN EN 14045/ 5.2; 6.2.2.3) Die Feuchtigkeit des Kompostes soll während der Kompostierung mindestens 40 Prozent betragen. Wird er niedriger, muss eine Bewässerung erfolgen. (DIN EN 14045/ 6.2.2.2)

Am Ende des Kompostierungsprozesses soll die Mischung aus Kompost und Prüfmaterial mit Sieben einer Maschenweite von zehn und zwei Millimeter gesiebt werden. (DIN EN 14045/ 4) Zur Auswertung muss der entstehende Kompost gesiebt und von Probenresten getrennt werden. Anschließend wird durch Rückwaage der Prozentsatz des Materialabbaus bestimmt. Eine Dokumentation des Probenabbaus mittels Fotos sowie eine visuelle Sichtbegutachtung der Probenrückstände kann zusätzlich erfolgen. (DIN EN 14045/ 1)

Da das Ziel der Versuchsreihe war, besonders den zeitlichen Verlauf des Probenabbaus zu dokumentieren, wurden bei den durchgeführten Versuchen entgegen der DIN EN 14045 im wöchentlichen Abstand Proben entnommen und ausgewertet. Auf eine Doppelbestimmung, wie sie bei Kompostierungsprozessen laut DIN Norm bei einfachen Versuchslaufzeiten von zwölf Wochen, ohne Unterbrechung durchgeführt wird, wurde verzichtet. (DIN EN 14045/ 6.1.1.3) Auch wurde zur Erleichterung der Trennung von Kompost und Probe und zur genaueren Auswertung eine Siebung in drei Fraktionen, die ausgewertet werden sollten, vorgezogen (Siehe Kapitel 5.10.2). Die DIN Norm sieht eine Siebung mit den Siebgrößen zehn Millimeter und zwei Millimeter vor. Nur die beiden größeren Fraktionen werden

anschließend untersucht, die feinste Fraktion verworfen. Der Siebrückstand wird nach Verpackungsteilen durchsucht. Verklumpungen werden gebrochen. Sofern als Probenbehälter Netze verwendet wurden, muss der ganze Netzinhalt auf Probenrückstände untersucht werden. (DIN EN 14045/ 6.1.3.2)

Die aussortierten Verpackungsrückstände werden sorgfältig von Kompostrückständen gereinigt. Dies kann auch unter Verwendung von Wasser geschehen. Anschließend werden die Partikel getrocknet und zurückgewogen. Danach kann das Verhältnis von Rückwaage - zu Einwaagegewicht bestimmt werden. (DIN EN 14045/ 6.1.3.2)

Im Prüfzeitraum müssen 90 Prozent der Probe abgebaut sein, damit die Desintegration als erfolgreich bezeichnet werden kann. (DIN EN 13432 /A2.2.2) Genauer definiert bedeutet es, dass in der Siebfraktion mit dem Maß von zwei Millimeter des Kompost-Probengemisches nur höchstens zehn Prozent des ursprünglichen Trockengewichts der Probe nachweisbar sein dürfen. (DIN EN 13432 /A3.1.1) Die Keimungsrate und die pflanzliche Biomasse, von Pflanzen, die auf dem Kompost mit Prüfsubstanz wachsen, darf um höchstens zehn Prozent vermindert sein. (DIN EN 13432 /A4.)

Wird eine Sichtprüfung des Materials durchgeführt, so werden folgende Kriterien empfohlen:

1. Schätzung der Korngröße
2. Beschreiben von Anzeichen der Besiedelung von Mikroorganismen
3. Konsistenz und Dicke des Materials
4. Verfärbungen und Erosionserscheinungen, beziehungsweise partielle Desintegration

Die Dokumentation soll schriftlich und in Form von Fotos erfolgen. (DIN EN 14045/ 6.1.3.3)

Die Prüfung wird als gültig angesehen, sofern die Temperatur während des Versuches für mindestens eine Woche über 60 °Celsius lag und die erreichten Temperaturen geringer als 75° Celsius waren. Auch muss die Temperatur an vier aufeinander folgenden Wochen mindestens 40 ° Celsius betragen. Der pH-Wert darf während der Prüfung nicht auf unter 5,0 fallen. Er muss bei Versuchsende über sieben liegen. Der Kompost muss bei Beendigung der Versuche einen Rottegrad von vier oder fünf aufweisen. DIN EN 14045/ 8)

## 4. Durchführung

Die praktischen Rotteversuche der „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffe sollen sich so nah wie möglich an den realen Kompostierungsbedingungen großer Anlagen orientieren. Daher musste neben der Beachtung von gesetzlichen Bestimmungen und Normen sowie grundlegenden Fakten über Kompostierungsprozesse und „Biologisch abbaubare“ Kunststoffe eine sehr praktische Herangehensweise an das Projekt erfolgen. Es erfolgte demgemäß eine Recherche bei „Experten“ aus verschiedenen Kompostierungswerken, um die Erfahrungswerte dieser Unternehmen zu nutzen. Im Rahmen von Unternehmensbesichtigungen konnten viele für die praktischen Versuche wichtige Informationen zusammengetragen werden. (Siehe Kapitel 5.3)

Nach der umfassenden, sowohl theoretischen, als auch praktischen Recherche, wurden zur Durchführung der praktischen Versuche folgende Arbeitspakete definiert:

Zuerst wurde eine Marktübersicht heute im Handel erhältlicher Produkte aus „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffen oder Kunststoffverpackungen erstellt (Siehe Kapitel 5.1). Danach erfolgte eine grundlegende Internetrecherche zu diesen Produkten, bis es zur Auswahl zweier Produkte für die Desintegrationsversuche kam. Zwei weitere Produkte wurden für die in Kapitel 2 (Definition des Untersuchungsrahmens) erwähnte zweite Versuchsreihe ausgewählt.

Zeitgleich wurde eine Kompostierungsanlage entwickelt, die sich so weit wie möglich, sowohl an den Vorgaben technischer Normen, als auch an den realen Bedingungen einer Großkompostieranlage orientiert. Nach dem Erwerb des Baumaterials wurde die Kompostierungsanlage für die Versuche an der Hochschule innerhalb von zwei Tagen gebaut und aufgestellt (Siehe Kapitel 5.4). Danach erfolgte zeitgleich mit der Probenvorbereitung (Siehe Kapitel 5.5) die Organisation der Anlieferung von vier Kubikmetern herkömmlichen Bioabfalls des Unternehmens „Gesellschaft für Abfallwirtschaft und Abfallbehandlung mbH“ (GAB).

Am Tag der Anlieferung des Bioabfalls wurden die Proben der „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffe eingewogen und in den Kompost eingesetzt (siehe Kapitel 5.5 und 5.6).

Ab diesem Zeitpunkt begann die Rottephase des Kompostes und der enthaltenen Proben. Zwölf Wochen wurde die Anlage, den zuvor recherchierten Kompostierungsvorgaben entsprechend gepflegt. Jede Woche wurde eine Probe jeder Probenart zur Auswertung aus dem Kompost entnommen (Siehe Kapitel 5.10). Während der Rottephase wurden zur Kontrolle des Prozesses die Begleitparameter Temperatur, Wassergehalt und pH-Wert laufend gemessen (Siehe Kapitel 5.8). Die Auswertung der Proben erfolgte nach einer einwöchigen Trocknungsphase des Probenbeutelinhalts (Siehe Kapitel 5.10). Ausgewertet wurde in mehreren Schritten:

Nach der Trocknung wurden die Inhalte der Probenbeutel gesiebt und anschließend auf mit dem menschlichen Auge sichtbare Rückstände der „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffe hin, untersucht. Im weiteren Verlauf der Auswertung wurden „Wiederfindungsraten“ für den sortierten Kunststoff im zeitlichen Verlauf bestimmt. Nach Beendigung der zwölfwöchigen Rottephase wurden zwei abschließende Versuche zur Bestimmung der Kompostgüte und Reife und so der Überprüfung der Gültigkeit des Prozesses durchgeführt.

Neben der obig beschriebenen Versuche in einem realitätsnah nachempfundenen Heißkomposter einer Großanlage wurde ein Vergleichsversuch mit gleichem Probenmaterial, aber geringerer Probenanzahl im Kompostierungswerk K+E-Kompost und Erden GmbH in Norderstedt durchgeführt. Hier wurden eine geringere Anzahl Vergleichsproben über einen Zeitraum von zwölf Wochen heiß kompostiert und danach ausgewertet. Auch diese Proben wurden während des Rottezeitraums einmal in der Woche gepflegt und danach wie zuvor beschrieben ausgewertet.

Eine zweite Vergleichsmessung mit den gleichen Proben fand im Rahmen eines Studienprojektes (Scientific Project) ebenfalls im Herbst 2011 an der HAW-Hamburg statt. Hier wurden die Proben in einem Eigenkomposter beziehungsweise Klein- oder Hauskomposter (siehe Kapitel 5.11.4) unter wesentlich geringerem Hitzeeinfluss kompostiert. Auch auf die bei diesem Versuch entstandenen Ergebnisse wird im Ergebnisteil dieser Arbeit kurz eingegangen.

## 5. Ergebnisse

Die Ergebnisdarstellung dieser Masterarbeit bezieht sich nicht nur auf die durch die verschiedenen Versuche gewonnenen Ergebniswerte allein. Vielmehr sind auch andere Bereiche der Versuchsdurchführung als Ergebnis zu betrachten, da sie eine Bündelung vieler im Laufe des Projekts durchgeführter Tätigkeiten darstellen. Viele der für die Durchführung der Versuche nötigen Tätigkeiten waren überwiegend planerischer Natur, so dass entschieden wurde auch diese Teile der Durchführung als Ergebnisse zu betrachten. Daher werden sie im Ergebnisteil dieser Arbeit aufgeführt und neben den messbaren Wertergebnissen genau beschrieben. Die durch die Kompostierungsversuche erhaltenen Ergebnismesswerte werden anschließend im Kapitel 5.11 beschrieben.

### 5.1 Marktübersicht „Biologisch abbaubare“ Kunststoffe und Produktrecherche

Zur Identifikation geeigneter Proben für den Versuch der Desintegration „Biologisch abbaubarer“ Kunststoffe und zur generellen Recherche zum Thema in der Praxis der Lebensmittelhandelnden Unternehmen, wurde eine Marktübersicht der bisherigen Verbreitung von „Biologisch abbaubaren Kunststoffen“ im deutschen Handel durchgeführt.

Hierzu wurde zum einen eine Feldrecherche in verschiedenen Unternehmen im Hamburger Bezirk Altona durchgeführt, zum anderen eine Internetrecherche vollzogen (Ergebnisse siehe Anhang 14). Weiterhin wurde bei über 50 lebensmittelführenden Unternehmen eine direkte E-Mail-Anfrage durchgeführt (Ergebnisse siehe Anhang 13).

Die Feldrecherche erfolgte im Bezirk Hamburg-Altona. Es wurden vier Märkte aufgesucht und im Angebot nach Verpackungen und Produkten aus „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffen gesucht. Unter den Märkten befanden sich je ein Verbrauchermarkt, ein Discounter, eine Drogerie und ein Bioladen:

1. Aldi, Große Bergstraße 152-162, 22767 Hamburg
2. Budnikowsky, Ottenser Hauptstr. 10, 22765 Hamburg
3. Verbrauchermarkt: toom, Max-Brauer-Allee 59, 22765 Hamburg
4. Bio-Laden: Alnatura, Hahnenkamp 1, 22765 Hamburg.

Biologisch abbaubare Kunststoffe sind in den Unternehmen insgesamt weniger stark verbreitet gewesen, als erwartet. (Ergebnisse siehe Anhang 13/14)

Durch die Internetrecherche über Suchmaschinen wurde die Suche nach Produkten aus „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffen, beziehungsweise mit einer solchen Verpackung ergiebiger. (Ergebnisse siehe Anhang 14)

Zusätzlich zu einer generellen Recherche wurden 28 Supermärkte (z.B. Aldi, Edeka Kaufland, Penny) zwölf verschiedene Bio-Märkte beziehungsweise Ketten (z.B. Alnatura, Bio Company, Basic, Erdkorn) und neun Drogerieketten im Rahmen einer Verbraucher – E-Mail-Anfrage an die Service-Adresse direkt angeschrieben und zum Thema „Biologisch abbaubare Kunststoffe, beziehungsweise Kunststoffverpackungen im Sortiment befragt. Außerdem wurden noch drei Großmärkte, zum Beispiel Metro angeschrieben. Es wurden alle deutschen Handelsunternehmen angeschrieben, die mehr als fünf Filialen besitzen, unabhängig von Zusammenschlüssen verschiedener Handelsunternehmen. Die Unternehmen wurden durch Internetrecherche einschlägiger Branchenportale identifiziert. (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)

Eine Aufstellung aller Unternehmen befindet sich im Anhang 13.

Von insgesamt 52 Anfragen wurden, auch auf Nachfrage nur 24 vom jeweiligen Kundenservice beantwortet. Ein Teil der Märkte hat Produkte aus „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffen“ oder Produkte in „biologisch abbaubaren“ Verpackungen im Sortiment und konnte die Anfrage somit positiv beantworten. Einige Unternehmen beantworteten die Anfrage sehr ausführlich, andere haben sich mit dem Thema offensichtlich bisher weniger stark beschäftigt. Allerdings wurde durch die von den Unternehmen gesendeten Antworten auch deutlich, dass auf dem Gebiet der „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffe“ noch eine große Unsicherheit herrscht. So meinten einige Unternehmensvertreter, dass der Markt diesbezüglich noch beobachtet würde, und sich das Unternehmen noch nicht im Klaren sei, ob es diese Kunststoffe, beziehungsweise deren direkte Verbreitung befürworten und fördern soll. „Das Thema sei kontrovers aber im Unternehmen in Bearbeitung“, so die Stellungnahme eines Biomarktes. Auch wurde deutlich, dass nicht alle für den Kundenservice zuständigen Unternehmensvertreter überhaupt wissen, dass es solche Produkte in ihrem Unternehmen gibt. So wurden Anfragen nach „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffen nicht selten mit negativem Ergebnis beantwortet. Bei der durchgeführten Feldrecherche im Bezirk Altona hingegen, war dann das Ergebnis im selben Unternehmen positiv, das heißt es fanden sich Produkte dieser Klasse in den Regalen.

## 5.2 Auswahl der Proben für den praktischen Versuch

Die Marktübersicht in Form einer Feld- und Internetrecherche sowie Direktanfragen bei lebensmittelvertriebenden Unternehmen (Siehe Punkt 5.1) hat ergeben, dass im deutschen Handel bisher weniger Produkte, beziehungsweise Verpackungen aus „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffen erhältlich sind, als vor der Recherche angenommen. Für den praktischen Versuch wurden nun zwei der identifizierten Produkte ausgesucht. Hierbei handelt es sich um zwei sehr unterschiedliche Probenarten. Eine Folie und ein „stabileres“ Produkt:

Es wurden die „Biologisch abbaubare Tragetasche der Firma Aldi und eine „To-Go“-Becher Abdeckung der Firma Bio-Futura ( im Nild mit dazugehörigem Becher) gewählt.



Abbildung 7: "To-Go"-Becher Abdeckung von Biofutura



Abbildung 6: "Biologisch abbaubare" Tragetasche von Aldi

Um einen direkten Vergleich zwischen „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffen und konventionell hergestellten Kunststoffen zu ermöglichen, wurden zusätzlich im deutschen Handel erhältliche, konventionelle Vergleichsproben ausgewählt, die den „Biologisch abbaubaren“ Proben möglichst ähnlich sind:

Hierbei handelt es sich um die Trinkbecherabdeckung der Firma „Mc Donalds“ und um die Tragetasche von Aldi aus konventionellem Kunststoff.

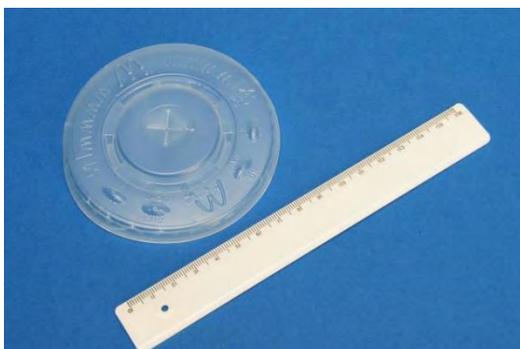


Abbildung 9: "To-Go"- Becher Abdeckung Mc Donald



Abbildung 8: Konventionelle Tragetasche von ALDI

<b>Biologisch abbaubare Probe</b>	<b>Vergleichsprobe</b>
„To Go“ Behälter -Deckel von Bio-Futura	„To Go“ Behälter-Deckel von Mc -Donalds
„Biologisch abbaubare“ Tragetasche des Discounters ALDI	Konventionelle Tragetasche des Discounters ALDI

In einem Zweitversuch in derselben Anlage wurden an der HAW wie schon in Kapitel 2 beschrieben zwei weitere „Biologisch abbaubare“ Proben und ihre konventionellen Pendanten unter gleichen Bedingungen kompostiert.

Die To -Go-Becher Abdeckung des Unternehmens „Biofutura“ ist aus dem „Biologisch abbaubaren“ Kunststoff PLA gefertigt. Die Abdeckung kann auch für Eis-oder Suppenbehälter verwendet werden. Sie ist laut Hersteller zu 100 Prozent biologisch abbaubar. Das Unternehmen sieht sich als Vorreiter für ökologisch vorteilhafte Verpackungen. Die Produkte des Unternehmens genügen laut Firmenaussage der DIN EN 13432 und sollen sich nach sechs bis zehn Wochen vollständig abgebaut haben. Der Durchmesser des Deckels beträgt 90 Millimeter. (Biofutura) (<http://www.bioeinwegartikel.de/bio-produkte/bio-schalchen.html>)

Die Tragetasche wird von dem Unternehmen „Victorgroup“ hergestellt. Es handelt sich laut Firmenaussage um eine 100 Prozent biologisch abbaubare Tragetasche gemäß der DIN EN 13432. Das Ausgangsmaterial der Tragetasche ist ECOFLEX/ECOVIO (BASF). Für den Druck werden Farben auf Wasserbasis verwendet. Das Unternehmen folgt mit der Produktion umweltfreundlicherer Produkte laut Eigenaussage dem Markt- und Verbrauchertrend zu einem „grünen“ Lifestyle. Die Produktgröße ist im Original vergleichbar mit herkömmlichen Tragetaschen. Der Preis der Tragetasche beträgt beim Lebensmitteldiscounter ALDI mit rund vierzig Cent etwa das Vierfache einer normalen Tragetasche. Die an der Hochschule gemessene Foliendicke beträgt 0.04 Millimeter.

### **5.3 Vor Ort Recherche in Form von Unternehmensbesichtigungen zweier Komposthersteller**

Die geplanten Kompostierungsversuche sollten unter Verwendung der DIN EN Normen stattfinden. Allerdings sollten sie gleichzeitig die reell vorherrschenden Bedingungen in großen Bioabfall- und Grünabfallentsorgungsunternehmen widerspiegeln. Das Ziel war, die Kompostierungsversuche der „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffe in der Versuchsanlage an

der HAW möglichst unter denselben Bedingungen stattfinden zu lassen, die bei einer tatsächlichen Kompostierung eines großen Werkes gegeben sind. Zu diesem Zweck, aber auch zur generellen Recherche wurden zwei Bioabfall- beziehungsweise Grünabfallentsorgungsunternehmen besichtigt. Die Besichtigung der Unternehmen ermöglichte es, die Planung der Versuche durch praktische Erfahrungen von Experten zu bereichern, die durch langjährigen Umgang mit der Thematik entstanden sind. So konnten neben Problemen, die bei den Kompostierungsversuchen auftreten können auch praktische Hinweise und Tipps für die Versuchsplanung der HAW Versuchsanlage übermittelt werden. Auch wurde überprüft, welche Versuchsparameter in einem großen Werk zur Prozessüberprüfung laufend gemessen werden. Außerdem konnte auf Probleme eingegangen werden, die beim Entsorger durch „Biologisch abbaubare“ Kunststoffe entstehen.

Es wurden zwei Unternehmen besichtigt:

K+E Kompost und Erden  
GmbH (K+E)

Gesellschaft für  
Abfallwirtschaft und  
Abfallbehandlung mbH  
(GAB)

Exemplarisch ist hier ausführlich das Ergebnis, der durch die Werksführung bei der K+E Kompost und Erden GmbH am 16.08.2011 gesammelten Informationen aufgeführt. Es wurde dieses Unternehmen gewählt, da hier die Vergleichsversuche stattgefunden haben. Ein zuvor erdachter Fragebogen für die Werksführung (Siehe Anhang 12) erleichterte die Zusammenstellung von Informationen vor Ort, die im Interview mit Herrn Martin Rubbert erfragt wurden.

Die K+E Kompost und Erden GmbH ist ein in Hamburg- Langenhorn ansässiges Unternehmen, welches seit 2004 auf seinem Kompostierungsplatz in Hamburg Norderstedt-Glashütte(Hopfenweg 180, 22851 Norderstedt-Glashütte) aus Grünabfällen Kompost und verschiedene Mischböden herstellt. K + E gibt es seit 1984.

Bei K+E Kompost und Erden GmbH werden jährlich 26.000 Tonnen Grünabfälle auf riesigen Rottefeldern kompostiert. Aus dieser Menge entstehen durch die Kompostierung circa 11.000 Tonnen Erde pro Jahr. Das bedeutet, dass während der Kompostierung ein Gewichtsverlust von über 50 Prozent auftritt. Ein Großteil hiervon ist der Trocknungsverlust durch Wasserabgabe während der Miete. Die angelieferten Grünabfälle stammen von Privatpersonen und von gewerblichen Unternehmen, die die Abfälle direkt zum Rotteplatz

liefern. Der angelieferte Grünabfall stellt eine Mischung verschiedener organischer Bestandteile, zum Beispiel Laub, Baumschnitt oder Grasabfall dar. Die Zusammensetzung schwankt jahreszeitenbedingt. Im Herbst wird die größte Menge Grünabfall angeliefert.



**Abbildung 10: Kompostmiete auf Rottefeld K+E GmbH**

Die Kompostierung erfolgt auf großen Rottefeldern, in sogenannten Kompostmieten, auf die der Grünabfall „vorgeschreddert“ aufgeschichtet wird. Die „Mischung“ der verschiedenen Grünabfälle erfolgt nach Erfahrungswerten der Mitarbeiter. Sehr grobe Teile, wie zum Beispiel abgesägte Baumstämme mit Wurzeln, werden vor der Aufschichtung aussortiert. Gröberes Material wird in den Sommermonaten gezielt zu Strukturmaterial zerkleinert, welches im Herbst die großen Mengen stark stickstoffhaltiger Grünabfälle wie Rasenschnitt oder Laub auflockern kann.

Durch die Zersetzung des Grünabfalls durch Mikroorganismen entstehen in der Miete hohe Temperaturen von 60-70°C (vereinzelt über 70 °C). Die Temperaturen werden bei K+E je Kompostmiete in einem Mietentagebuch dokumentiert. Die Feuchtigkeit der Kompostmieten wird bei der K+E GmbH nach Erfahrungswerten der Experten vor Ort reguliert. So wird der Rotteprozess möglichst optimal unterstützt. Wird die Miete zu trocken, wird Feuchtigkeit zugefügt. Die Kompostmieten werden alle zwei bis drei Wochen umgesetzt, um dem Prozess neuen Sauerstoff zuzufügen und auf dem Rottefeld Platz für nachrückende Grünabfälle zu machen. In Zeiten hoher Anlieferungsmengen kann sich dieser Zeitraum auf sieben Tage verkürzen. Im Herbst wird sehr viel zügiger als im restlichen Jahresverlauf kompostiert, um die großen Mengen der Neuanlieferungen bewältigen zu können. Dann wird innerhalb weniger Wochen, in teilweise weniger Zeit als nach den technischen Normen vorgegeben, fertiger Kompost hergestellt.

Nach der Rotte wird der Kompost auf die gewünschte Korngröße gesiebt. Bei diesem Prozess werden mittels Windsichtung Störstoffe herausgeblasen. Es erfolgt außerdem eine Handsortierung von größerem Material und Folien. Eine Abtrennung von enthaltenen Steinen erfolgt mittels Nutzung der Schwerkraft. Die ausgelesenen Steine werden anschließend als Bauschutt vermarktet.

Größere, während der Siebung aussortierte, organische Teile (Überkorn) werden als strukturgebendes Material zur Verbesserung der Sauerstoffverfügbarkeit in eine neue Kompostmiete gegeben. Sie durchlaufen den Prozess also weiter, bis auch sie nicht mehr ausgesiebt werden. Vor dem Verkauf des am Ende der Rottephase entstandenen Bodens erfolgt eine pH-Wert Messung des Kompoststes.

Der fertig abgeseibte Kompost wird monatlich auf Schadstoffe untersucht. Die gesetzlichen Grenzwerte werden allerdings nicht überschritten. Die Schwermetallwerte im Kompost beispielsweise sinken im Laufe der letzten Jahre langsam, aber stetig. Grund hierfür ist, zum Beispiel die Einführung bleifreier Kraftstoffe, die sich langsam in der Umwelt bemerkbar macht. Es erfolgt außerdem, obwohl es sich bei der Ausgangsmasse um reine Grünabfälle handelt, eine Untersuchung nach Phyto- und Seuchenhygiene, zum Beispiel auf Salmonellen. Auch wird geschaut, ob sich im fertigen Produkt austriebfähige Samen- und Pflanzenteile befinden. Kein Kunde möchte einen Boden kaufen, der in dieser Art verunreinigt ist.

Das fertige Produkt wird nach einer Setzzeit in verschiedenen Korngrößen (zehn, dreizehn und zwanzig Millimeter) an Privatleute und Firmen verkauft.

Außerdem können nach Rezept über 200 verschiedene Mischungen von Kompost mit anderen Böden hergestellt und dem Kunden zur Verfügung gestellt werden. Es werden sowohl kleine Mengen an Privatpersonen, als auch größere Mengen an gewerbliche Verbraucher abgegeben.

Zur generellen Recherche und für die Planung des Versuchsaufbaus an der HAW wurde auch nach den Erfahrungen mit „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffen im Unternehmen K+E gefragt. Hier bei kamen besonders drei Probleme zur Sprache:

Keine Möglichkeit der Unterscheidung der Kunststoffe  
→ Behandlung als Störstoff bei der Sortierung

Zu lange Kompostierungsdauer der „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffe

Gesetzliche Grundlage zur Vermarktung der Böden fehlt

Generell werden Störstoffe wie Kunststoffe oder Glas im Kompost nach Sicht aussortiert. So ist gewöhnlich ein Mitarbeiter vor Ort, der den angelieferten Grünabfall auf größere Verunreinigungen hin überprüft. Beim „Schreddern“ wird der Grünabfall nochmals durch einen Mitarbeiter überprüft. Metalle werden durch einen Metallabscheider entfernt. Zusätzlich achten auch viele Kunden darauf, dass der Abfall möglichst keine Verunreinigungen enthält, da sie selbst häufig das entstehende Produkt zum späteren Zeitpunkt wieder erwerben.

Das Problem bei Kunststoffverunreinigungen ist, dass man „Biologisch abbaubarem“ Kunststoff nicht ansehen kann, dass er biologisch abbaubar ist. So wird auch dieser aussortiert. Des Weiteren fehlt eine „Genehmigung“ zum gewerblichen Kompostieren „Biologisch abbaubarer“ Kunststoffe. Es gibt noch keine Zulassung im Düngemittelrecht für Kompost, der aus diesen Kunststoffen entsteht, so dass er auch nicht deklariert und vermarktet werden kann. Auch wird angemerkt, dass in Zeiten hoher Anlieferungsmengen die Normkompostierungsdauer von zwölf Wochen unterschritten wird, so dass „Biologisch abbaubare“ Kunststoffe, die sich in ihrer Kompostierungsdauer normgemäß verhalten, nach zügigeren Prozessen als sichtbarer Rückstand im Produkt noch enthalten sein können. Die in der DIN EN-Norm angegebene Kompostierungsdauer von zwölf Wochen ist demnach nicht praxistauglich.

Auf die Anfrage zur persönlichen Meinung weiterer Nutzung und Verbreitung „Biologisch abbaubarer“ Kunststoffe wurden aus Unternehmenssicht auch ethische Bedenken geäußert.

Für die Kompostierungsversuche in der Versuchsanlage an der HAW wurde angemerkt, dass es wichtig sei, einen isolierten Behälter zu verwenden.

Im Anschluss an die Besichtigung des Rotteplatzes von K+E wurde über die Möglichkeit gesprochen, einige Vergleichsproben in einer Kompostmiete des Unternehmens einer realen Kompostierung zu unterziehen. Als Ergebnis wurde zugesichert, dass das Unternehmen gerne bereit ist, die Forschungsarbeit der HAW in dieser Form zu unterstützen.

Das zweite Unternehmen welches zu Recherchezwecken besucht wurde, war die Gesellschaft für Abfallwirtschaft und Abfallbehandlung mbH (GAB) in Kummerfeld. Die im Folgenden zusammengefassten Informationen ergaben sich durch ein Expertengespräch mit Herrn Eckhardt Müller im Rahmen einer Unternehmensführung. Im Gegensatz zur Kompostierung bei K+E werden bei der GAB nicht nur Grünabfälle aller Art, sondern auch Abfälle aus Biotonnen gewöhnlicher Haushalte kompostiert. Da diese Abfälle aus hygienischen Gründen allerdings nicht auf Freiluftanlagen kompostiert werden dürfen, erfolgt in diesem Unternehmen die Kompostierung in riesigen Rottetunneln.



**Abbildung 11: Beispielbild Rottetunnel , Quelle: awb-wetterau**

Der enthaltene Kompost wird zum Einbringen neuen Sauerstoffs maschinell gelüftet, daher kam dieses Unternehmen leider nicht für Vergleichsversuche in Frage. In Probenbeuteln eingebrachte Proben wären beim Wendevorgang des Bioabfalls zerstört worden. Die Firma GAB erklärte sich aber bereit, den für die Kompostierungsversuche benötigten Bioabfall aus Biotonnen zu liefern und nach den Kompostierungsversuchen auch wieder zu entsorgen. Hierauf wird in Kapitel 5.6 näher eingegangen.

#### **5.4 Entwicklung und Bau eines Versuchskomposters im Labormaßstab**

Aus den theoretischen und praktischen Recherchen (Unternehmensführungen und Expertengespräche siehe Kapitel 5.3) ergaben sich viele Faktoren, die für die Durchführung einer Heißkompostierung von Bedeutung sind. Diese Faktoren mussten zur Sicherstellung eines optimalen Kompostierprozesses während der Versuche an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg schon bei der Entwicklung der Versuchsanlage berücksichtigt werden.

Da die Größe eines Komposters, beziehungsweise eines Komposthaufens für eine Heißkompostierung ausschlaggebend ist (hohe Temperaturen werden erst bei einem Volumen, welches größer als ein Quadratmeter ist, erreicht), und kein auf dem deutschen Markt erhältlicher Behälter groß genug ist, um eine verlässliche Heißkompostierung zu gewährleisten, kam für die geplanten Versuche nur ein Eigenbau in Frage. (Thompson, 2009 S.101)

Der ideale Kompostbehälter verhindert bei Mengen kleinerer Volumen Feuchtigkeitsverlust und bietet dabei trotzdem die Möglichkeit der Luftzirkulation. Außerdem sollte ein direkter Kontakt zwischen Kompost und Boden möglich sein. So können Kleinstlebewesen den Kompost besiedeln und überschüssige Flüssigkeit kann ablaufen. (Thompson, 2009, S.130)

Der ideale Standort ist mäßig sonnig. Als Material für den Selbstbau eignen sich verschiedene Stoffe. Sofern Holz verwendet wird, sollte es unbehandelt sein, da es preisgünstiger ist und manche Holzschutzmittel giftige Stoffe enthalten. (Thompson, 2009,

S.108) Der für die Versuche nötige Komposter wurde als Zeichnung geplant. Da für zwei Versuchsreihen der „Biologisch abbaubaren Kunststoffe“ (Vergleichsversuche siehe Kapitel 2 ) rund 90 Probenbeutel mit einem kalkulierten Volumen von circa ein bis zwei Litern nötig waren, wurde ein Volumen von etwas über vier Kubikmeter gewählt, um neben den Probenbeuteln noch genug Raum für reinen Kompost zu lassen. Nach der Planung wurde das entsprechende Baumaterial im Baumarkt erworben und angeliefert. Der Komposter wurde in Eigenarbeit innerhalb von zwei Tagen an der Hochschule gebaut und aufgestellt.

Der für die Versuche an der Hochschule gebaute Komposter ist ein Behälter aus Kiefernholz mit den Maßen 2000 x 2000 x 1200 Millimeter. (Bauskizze siehe Anhang 15)

Der Komposter hat keinen Boden. Auf dem Erdboden unter dem Kompost liegt ein Drahtnetz, welches vor Ungeziefer (Nagetieren) schützt. Dieser Draht ist außen an den Seiten 20 Zentimeter gegen die Holzwand gedrückt und an ihr befestigt. Der gesamte Behälter ist aus Holzpfosten und Brettern genagelt. Zum stabilen Stand des Komposters bilden vier Bodenbretter unter den mit Winkeln befestigten Eckpfosten das Fundament. Es gibt außerdem vier weitere Mittelpfosten zwischen den Eckpfosten zur Stabilisation der Seitenwände. Für die Seitenwände wurden Nut-und Federbretter verwendet. Diese eigneten sich auch hervorragend für die geplante Öffnung der Vorderfront: Die Nut- und Federbretter wurden an der Vorderseite nur ineinandergeschoben und von zwei kleinen Pfosten gehalten und nicht an die Eckpfosten genagelt. So ließ sich der Komposter während der gesamten Versuchsdauer, zum Beispiel für die regelmäßigen Umwälzungen seitlich leicht öffnen und schließen. (Bauskizze siehe Anhang 15)

Außerdem wurde aus zwei Winkeln und einem Brett eine „Klammer“ gebaut, die vor dem Schließen des Deckels auf zwei Mittelpfosten geklemmt wurde, um dem Komposter zusätzliche Stabilität gegen den Druck des Volumens von innen zu geben.

Der Deckel des Komposters ist zweigeteilt gebaut worden. Dies wurde so gehandhabt, da das Gewicht eines einzelnen Deckels auf eine Abdeckunshöhe von 1,20 Metern für einen Menschen nicht zu heben wäre. Die Deckelteile liegen, wenn der Komposter geschlossen ist, auf den Eckpfosten und der“ Klammer“ in der Mitte auf.

Alle Flächen des Komposters sind mit aufgeklebten, vier Zentimeter dicken, Styroporplatten isoliert. Eine Isolierung wurde erforderlich um die angestrebten Temperaturen einer Großkompostierung zu erreichen und zu halten, besonders da die Versuche im Herbst durchgeführt wurden. Abschließend wurde das Styropor der Optik wegen und um zusätzliche Sonnenstrahlung einzufangen schwarz angestrichen.

Zum Schutz des Behälterinhalts vor unberechtigter Öffnung wurden zwei Schlösser angebracht. Die Bildtafel auf der Folgeseite zeigt den Komposterbau



Abbildung 12: Bildtafel Komposterbau 1



Abbildung 13: Bildtafel Komposterbau 2

### 5.5 Vorbereitung der Proben für die praktischen Versuche

Je Produkt (Probenart) wurden zwanzig Proben für den Kompostierungsversuch in der HAW-Anlage vorbereitet. Der Kompostierungsversuch sollte die durch die technische Norm vorgegebene Dauer von zwölf Wochen nicht überschreiten, dennoch wurde eine große Anzahl „Ersatzproben“ einkalkuliert, da vor Durchführung des Versuchs nicht bekannt war, mit welchen „Verlusten“ zu rechnen ist.

Die „Biologisch abbaubare“ Tragetasche wurde gemäß Probenvorbereitung nach DIN EN Norm (Siehe Kapitel 3.6) mit einer Schablone in Stücke mit einer Abmessung von einem Quadratdezimeter zugeschnitten.

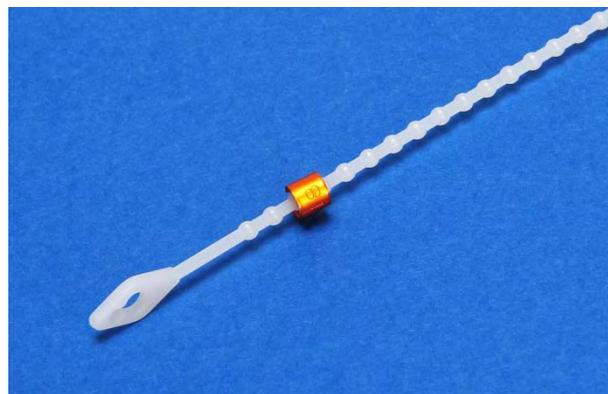


Abbildung 14: Zugeschnittene Einzelprobe

Da der einzelne Deckel des „To-Go“-Behälters (zweite Probenart) kleiner als ein Quadratdezimeter ist, wurde er normgerecht in der Originalgröße belassen. Die konventionellen Proben wurden in gleicher Weise wie die biologisch abbaubaren Proben für die Kompostierung vorbereitet.

Nach dem Zerschneiden der Proben erfolgte die Einwaage jeder einzelnen Probe auf einer Analysenwaage (Typ Kern ALS 220-4) (Einwaagen siehe Anhang 1 und 2.). Nur so können nach der Kompostierung Rückschlüsse auf den Abbau der Proben während des Kompostierungsvorgangs gezogen werden. Zur Vorbereitung der Proben gehörte außerdem die Erstellung von Probenbehältern für jede einzelne Probe. Es wurden Probenbeutel („Litterbags“) aus Polyesternetz mit einer Maschenweite von einem Millimeter und einer Abmessung von 300 x 350 Millimetern genäht ([www.textdeko.de](http://www.textdeko.de)).

Die Probenbeutel wurden mit einer Nähmaschine unter Verwendung eines Polyesterfadens genäht. Die Verwendung solcher „Litterbags“ ist eine in der Bodenbiologie gängige Methode für Untersuchungen organischen Materials. Die Verwendung dieser Probenbeutel für den Kompostierungsversuch gibt die Möglichkeit einer möglichst genauen Versuchsauswertung. Das nicht abbaubare Kunststoffmaterial des „Fliegengitters“ und des verwendeten Garns stellt sicher, dass die Probenbeutel, also die eigentliche Sicherung der Proben den hohen Belastungen während des Kompostierungsversuches standhalten.



**Abbildung 15: Probenverschluss mit Probennummer der Serie "Orange"**

Als Verschlüsse für die Probenbeutel wurden wiederverschließbare Kabelbinder aus konventionellem Kunststoff im Baumarkt erworben.

Zur Kennzeichnung und Unterscheidung der einzelnen Probenbeutel und somit Proben wurden fortlaufend nummerierte Metallringe gewählt, die normalerweise für die Beringung von Kleingeflügel, zum Beispiel in der Wellensittichzucht, eingesetzt werden. Diese Auswahl erfolgte, da eine, den Versuchsbedingungen angemessene, „robuste“ Kennzeichnung der Proben erfolgen musste. Nur so konnte gewährleistet werden, dass auch die Probenkennzeichnung den „extremen“ Versuchsbedingungen standhält. Vogelkot ist sehr

ätzend, so dass davon auszugehen war, dass eine Nummerierung, die Vogelkot standhält, auch einen mehrwöchigen Kompostierungsprozess übersteht. Die Metallringe wurden in verschiedenen Farben erworben. Die unterschiedlichen, für den Versuch gewählten Produkte (also Probenarten) wurden zur Vereinfachung jeweils mit Metallringen einer anderen Farbe gekennzeichnet, um Verwechslungen gänzlich auszuschließen. Die erste Probenart „Biologisch abbaubare“ Tragetasche von Aldi erhielt die Metallringringfarbe „BLAU“, die zweite Probenart „To-Go“- Becher Abdeckung der Firma Biofutura ,die Farbe „GELB“ und die konventionellen Proben die Farbe „ORANGE“

## **5.6 Einsetzen der Proben und Versuchsbeginn**

Durch das Unternehmen GAB wurden zu Versuchsbeginn vier Kubikmeter vorsortierter Bioabfall aus Haushaltsbiotonnen geliefert. Der optische Eindruck des Abfalls war der einer schwarzen, feuchten Masse, in der einzelne organische Bestandteile nur mit Mühe identifiziert werden konnten. Nur bei schwer verwesenden Teilen wie Orangen oder Maiskolben gelang dies. Das Aussehen des Abfalls ist damit zu begründen, dass dieser vor Abholung schon bis zu 14 Tage in der Biotonne des Verbrauchers lagert. Der Bioabfall erzeugte starke Gerüche, die allerdings im Vergleich zu den Gerüchen von Restmüll als eher angenehm zu bezeichnen sind. Obwohl im Unternehmen sowohl eine maschinelle, als auch eine manuelle Vorsortierung auf Metalle, Restmüll und Kunststoffe erfolgte, war der Kompost noch mit artfremden Abfällen durchsetzt. (Insgesamt wurden während der gesamten Versuchszeit noch rund 20 Kilogramm Kunststoffe und Restmüll aussortiert.)

Der angelieferte „Biomüll“ wurde nun abwechselnd, schichtweise mit den von Probenbeuteln umschlossenen Proben in die Versuchsanlage geschichtet. Es wurden insgesamt 42 Proben in die Versuchsanlage geschichtet. Zwei mal 20 Proben jeder Probenart aus „Biologisch abbaubaren“ Proben und zwei Vergleichsproben der konventionellen Pendanten (Probenrohdaten siehe Anhang 1 und 2.).

Jede der rund vierzig Probenzuschnitte (siehe Punkt 5.5) wurde einzeln in einen für sie bestimmten „Litterbag“ gelegt. Danach wurde der Probenbeutel mit ein bis zwei Kilogramm Bioabfall gefüllt, so dass er gut gefüllt und die Probe komplett umschlossen war. Der „Litterbag“ wurde mit einem wiederverschließbaren Kabelbinder mit zur Probe zugehöriger Probennummer verschlossen. Die so vorbereiteten Probenbeutel wurden schichtweise abwechselnd mit Bioabfall in die Versuchsanlage geschichtet. Der Probenanteil am gesamten Kompostvolumen war gering. Während des Einschichtens wurden drei Datenlogger (Casca Electronics EL-USB1-35-80°C) zur Temperaturmessung in die Anlage, an zuvor definierten Orten eingebracht (Siehe Kapitel 5.8). Die abschließende Schicht in der Anlage war eine etwa zwanzig Zentimeter hohe reine Bioabfallschicht.

Die Anlage wurde mit dem locker schließenden, passenden, ebenfalls isolierten Anlagendeckel verschlossen.



**Abbildung 16: Mit Probe und Bioabfall gefüllter Probenbeutel**



**Abbildung 17: Probenplatzierung im Komposter**



**Abbildung 18befüllter: Befüllter Komposter**

## 5.7 Kompostierungsprozess und Anlagenpflege

Der Kompostierungsversuch der „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffe wurde über einen Zeitraum von insgesamt zwölf Wochen durchgeführt. Um den Rotteprozess gemäß den Rottebedingungen großer Kompostierungsanlagen aufrecht zu erhalten, wurde die Versuchsanlage einmal in der Woche geöffnet, um dem Kompost und den Proben den für die Rotte notwendigen Sauerstoff zuzuführen.



**Abbildung 19: Belüftung des Komposts**

Die Belüftung des Bioabfalls erfolgte durch das Wenden des Komposts mit handelsüblichen Gartengeräten, wie zum Beispiel Schaufel und Forke. Der Kompost wurde im wöchentlichen Abstand bis auf einen Bodensatz von zehn Zentimetern komplett aus der Anlage geschaufelt. Hierbei wurden alle enthaltenen Probenbeutel entnommen und auf Vollständigkeit überprüft. Die unterste Schicht des Komposts wurde ebenfalls gewendet. Jeder „Litterbag“ wurde auf mögliche Schäden überprüft und geöffnet. Nun wurde ebenfalls von Hand das Belüften des Beutelinhalts durch Wenden des enthaltenen Bioabfalls vorgenommen. Jeweils ein Beutel der zwei verschiedenen Probenarten (Farben) wurde verschlossen gelassen und zur Seite gelegt, da zur Auswertung der wöchentlichen Veränderung der Proben, jede Woche ein Probenbeutel jeder Probenart entnommen werden musste.

Die Veränderung der konventionellen Proben hingegen, wurde nicht wöchentlich dokumentiert. Die konventionellen Proben wurden lediglich nach der DIN EN 13432 geforderten Kompostierungsdauer von zwölf Wochen zur optischen Vergleichssichtung entnommen.

Bei jedem Belüftungsvorgang wurde aus dem Bioabfall in der Anlage eine Mischprobe für die Untersuchung des Feuchtigkeitsgehalts des Komposts entnommen (Siehe Kapitel 5.8). Außerdem wurden die zur Temperaturmessung eingebrachten Datenlogger geborgen und die Messwerte durch Speicherung gesichert (Siehe Kapitel 5.8).

Nach dem Wenden des gesamten Bioabfalls, der Proben und der Sicherstellung der für die Messung der Randparameter nötigen Daten und Erdproben wurde der Kompost jede Woche wieder zurück in die Anlage geschaufelt. Die farblich unterschiedlich gekennzeichneten Probenserien wurden dabei in veränderter Reihenfolge wieder in die Anlage eingeschichtet, so dass die Vergleichbarkeit der Aufenthaltsdauer an einem bestimmten Ort in der Anlage aller Proben gegeben war.

Der Wende- und Belüftungsprozess dauerte insgesamt jeweils rund fünf Stunden.

## **5.8 Messung der Randparameter des Versuchs**

Zur Überprüfung der Bedingungen des laufenden Kompostierungsprozesses in der Anlage wurden die Begleitparameter Temperatur, Feuchtigkeit, beziehungsweise Wassergehalt und der pH-Wert des Komposts laufend gemessen und dokumentiert.

Auch bei den bei der K+E GmbH stattfindenden Vergleichsmessungen (Siehe Kapitel 5.9) wurde der Feuchtigkeitsgehalt der Miete bei jedem Umsetzen der Proben bestimmt. Die Messung und Dokumentation der Temperatur erfolgt im Unternehmen laufend in Form eines Mietentagebuchs (relevante Auszüge siehe Anhang 7). Auch der pH-Wert wird im Unternehmen vor Vermarktung des Komposts gemessen.

### **5.8.1 Temperaturmessungen**

Wie schon in den Grundlagen dieser Arbeit aufgezeigt (siehe Kapitel 3), erfolgt eine starke Selbsterhitzung während der Rotteprozesse im Kompost. Desweiteren ist auch in der EN Norm 13432 eine bestimmte Temperatur während des Prozesses gefordert. (Kapitel 3.6) Dies geschieht zum einen aus hygienischen Gründen und der Phyto- und Seuchenvorsorge, zum anderen wird die Keimfähigkeit unerwünschter Pflanzen im Endprodukt unterbunden. So werden Samen und triebfähige Pflanzenteile im Kompost bei den durch die EN Norm vorgegebenen Temperaturen zerstört (siehe Kapitel 3.6). Um die Selbsterhitzung des Komposts in der Anlage zu dokumentieren und so den Kompostierungsprozess zu kontrollieren, wurde deshalb während der Kompostierung eine dauerhafte Temperaturmessung durchgeführt.



**Abbildung 20: Datenlogger zur Temperaturmessung**

Die Temperatur wurde durch Datenlogger (Casca Electronics EL-USB1-35-80°C) an drei verschiedenen Stellen im Kompost gemessen. Ein Datenlogger wurde mittig im Kompost angebracht (Name: Datenlogger „Mitte“). Das zweite Gerät an der Innenseite der Anlage (Name: Datenlogger „Seite“) und der dritte Datenlogger nahe der Oberfläche (Name: Datenlogger „Oben“).

Die Datenlogger waren geeignet für hohe Temperaturen und sollten laut Hersteller feuchtigkeitsunempfindlich sein. Dennoch wurden sie vor dem Einbringen in den Kompost zusätzlich mit Folie, welche fest mit Tape umwickelt wurde, geschützt.



**Abbildung 21: Für Einsatz vorbereiteter Datenlogger**

Die Datenlogger wurden so programmiert, dass sie alle sechs Stunden die Temperaturen der definierten Plätze im Kompost aufzeichneten. Als Zeiten für die Aufzeichnung wurden 5:00 Uhr morgens und 17:00 Uhr am frühen Abend gewählt. Der Grund hierfür war, dass davon auszugehen war, dass zu diesen Zeiten kein Wenden -und Belüften der Anlage stattfinden würde. Pro Woche sollten also von drei Datenloggern je 14 Werte aufgezeichnet werden.

Bei jedem Wende- und Belüftungsvorgang, also einmal in der Woche, wurden die von den Datenloggern dokumentierten Temperaturwerte am Computer ausgelesen.

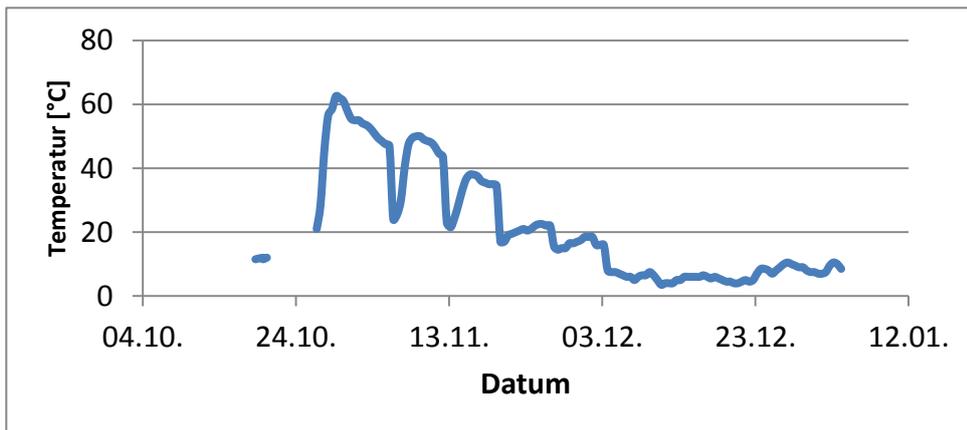
Leider musste festgestellt werden, dass die Datenlogger nicht alle durchweg zuverlässig arbeiteten. Datenlogger „Oben“ hatte leichte Messausfälle, an denen keine Aufzeichnung erfolgte. Ein totaler Ausfall war der Datenlogger „Mitte“ Zunächst schien er jede Woche zuverlässig zu messen, dass das Gerät jedoch nur die Aufzeichnungsdaten veränderte, nicht aber neue Werte aufzeichnete, wurde erst beim Zusammenfügen der einzelnen Wochendaten am Ende der Versuchsreihe erkannt. Der Datenlogger „Mitte“ muss somit für die gesamte Versuchszeit als Totalausfall bezeichnet werden. Er wurde nach Versuchsende reklamiert, da es sich offensichtlich von Beginn an um ein defektes Gerät handelte.

Der dritte Datenlogger, Datenlogger „Seite“ hat während des gesamten Kompostierungsversuchs einwandfrei funktioniert und Temperaturen zu allen definierten Zeitpunkten aufgezeichnet.

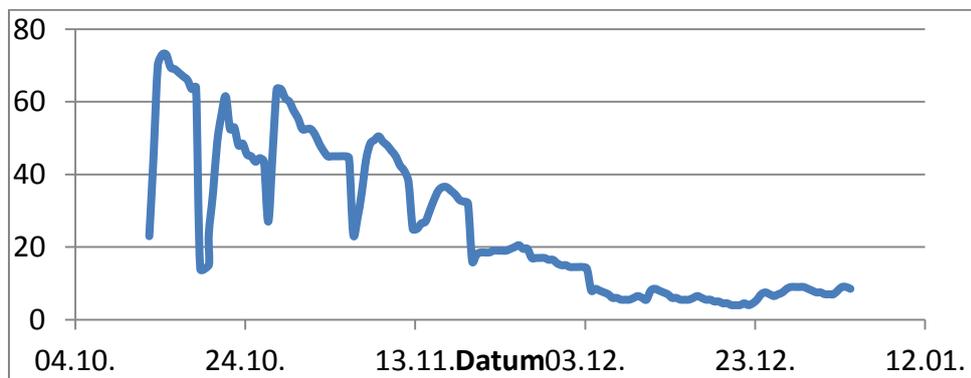
### ***Ergebnisse der Temperaturmessungen***

Schaut man sich die Ergebnisse der Temperaturmessungen an, so ist ganz deutlich zu sehen, dass es sich um einen für eine Kompostierung typischen Temperaturverlauf handelt. Auf der Ordinate des Graphen ist die Temperatur dargestellt, auf der Abszisse der zeitliche Verlauf des Versuchs. Zu Beginn des Prozesses hat der Bioabfall eine hohe mikrobiologische Aktivität (siehe Kapitel 3.5), durch die hohe Temperaturen entstehen. Im Laufe des Prozesses nimmt die mikrobiologische Aktivität ab und so sinken auch die Temperaturen im Zeitverlauf stetig.

Die Anforderungen der DIN EN Normen( Siehe Kapitel 3.6) wurden erfüllt. Der Kompost war mit einer maximalen Temperatur von 73° Celsius nie heißer als 75°. In vier aufeinanderfolgenden Wochen war die gemessene Temperatur höher als 40° Celsius, eine Woche lang über 60°. Die „negativen Peaks“, die in regelmäßigen Abständen im Verlauf des Graphen auftauchen, sind durch das Wenden und die Belüftung des Komposts in der Anlage zu erklären. Bei jedem Wende- und Belüftungsvorgang wird die Rotte kurzzeitig unterbrochen und die Temperatur fällt stark ab. Durch das Zuführen von neuem Sauerstoff durch die Belüftung steigt sie jedoch nach der Belüftung wieder stark an, da der Rotteprozess durch die erneute Sauerstoffzugabe verbessert ablaufen kann

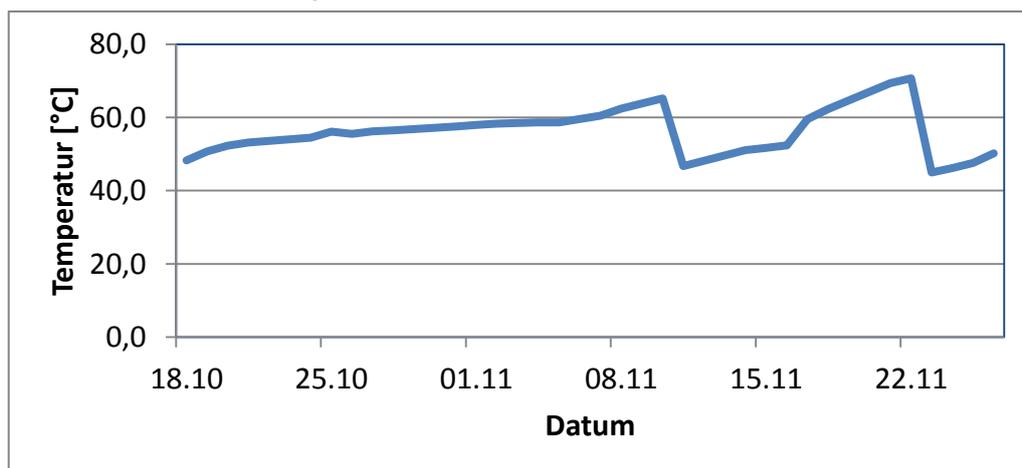


**Abbildung 22: Messergebnisse Datenlogger "Oben"**



**Abbildung 23: Messergebnisse Datenlogger Seite**

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse der Temperaturmessung ein Indiz für einen ordnungsgemäß abgelaufenen Kompostierungsprozess liefern. Die Rohdaten befinden sich in Anhang 10.



**Abbildung 24: Temperaturdaten Kompostmiete K+E GmbH**

Die Temperaturdaten die bei der K+E Kompost und Erden GmbH während des Versuchszeitraums gemessen wurden genügen ebenso den Anforderungen. (Rohdaten siehe Anhang 7)

### **5.8.2 Messung des Wassergehaltes**

Für einen optimal ablaufenden Rotteprozess ist ein Feuchtigkeitswert des Komposts von mindestens 40 Prozent erforderlich (siehe Kapitel 3.5). Wird dieser Feuchtigkeitsgehalt nicht erreicht, sollte der Kompost zur Prozessoptimierung auch während der laufenden Rotte bewässert werden. (siehe Kapitel 3.6)

Bei jedem Wende- und Belüftungsvorgang wurde daher aus dem verrottenden Bioabfall eine Mischprobe zur Bestimmung des Wassergehaltes entnommen.

Die Mischprobe wurde auf einer Analysenwaage (Typ Kern ALS 220-4) eingewogen.

Nach dem Wiegen wurde die Probe im Trockenschrank (Typ Hareus UT 5042 E) bei 105 ° Celsius bis zur Massenkonstanz getrocknet. Die Trocknung dauerte jeweils etwa vier Stunden.

Anschließend erfolgte das Zurückwiegen der trockenen Restsubstanz und der prozentuale Wassergehalt der Probe konnte berechnet werden.

Es hat jeweils pro Entnahmedatum eine Doppelbestimmung und anschließende Mittelwertbildung stattgefunden (siehe Rohdaten in Anhang 8).

Auch für die Vergleichsmessungen der Kompostmiete bei der K+E GmbH wurde auf Wunsch des Unternehmens bei jeder Belüftung der Miete eine Feuchtigkeitsbestimmung, wie obig beschrieben vorgenommen. Der Grund hierfür ist, dass das Unternehmen diesen Wert bisher nicht selbst misst und eine Bewässerung der jeweiligen Kompostmieten daher bisher allein aus der Erfahrung der Experten vor Ort heraus erfolgt.

### ***Ergebnisse der Feuchtigkeitsmessungen***

Schaut man sich die Ergebnisse der Messungen des Feuchtigkeitsgehaltes an, kann man feststellen, dass zu Beginn des Versuchs der Mindestfeuchtigkeitsgehalt des Komposts von 50 Prozent (siehe Kapitel 3.6) in der HAW-Anlage nicht gänzlich erreicht wurde. Da aber fast der Sollwert erreicht wurde, wurde auf eine Korrektur verzichtet, da der Wassergehalt während der Rotte nur noch höher als 40 Prozent sein soll. Nach einiger Zeit jedoch sank der Wassergehalt ab, und am 05.11.2011 wurde erstmals der Mindestfeuchtigkeitsgehalt unterschritten. Da es sich um ein zufälliges Ergebnis hätte handeln können, wurde das Messergebnis der Folgewoche abgewartet. Hier zeigte sich jedoch, dass sich der Trend fortsetzt und so wurden dem Kompost beim Wende- und Belüftungsvorgang in Woche fünf, manuell rund 120 Liter Wasser schichtweise zugefügt.

Die Maßnahme hatte die erwünschte Wirkung: Der Wassergehalt des Komposts hielt sich nach der Bewässerung wieder durchgängig im Normbereich. So blieb es während der Versuchszeit bei einer Bewässerung, da auch auftretende Niederschläge für eine „natürliche Bewässerung“ sorgten.

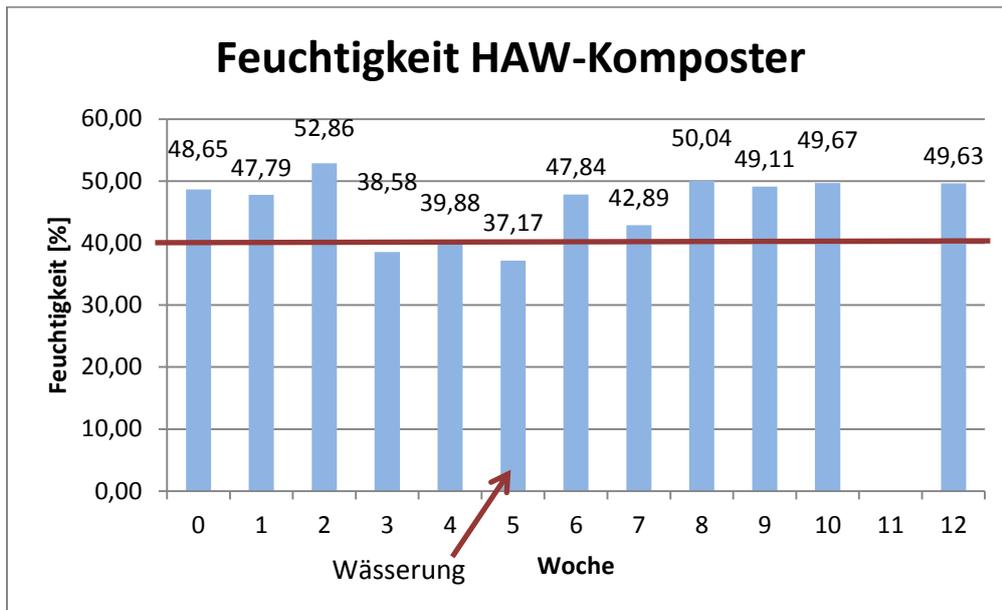


Abbildung 25: Ergebnisse Feuchtigkeitsmessungen HAW Komposter

Schaut man sich die Ergebnisse der Feuchtigkeitsmessungen im Unternehmen K+E GmbH an, so zeigt sich ein ähnliches Bild. Auch hier wurde der Kompost im zeitlichen Verlauf immer trockener. Der Kompost verliert in der Außenkompostierung viel Flüssigkeit durch Verdunstung. In nahezu der gesamten Versuchszeit (Oktober- Dezember) war die Niederschlagsmenge im räumlichen Bereich der Anlage sehr gering, so dass der Miete auf natürlichem Wege keine adäquaten Wassermengen zugeführt wurden.

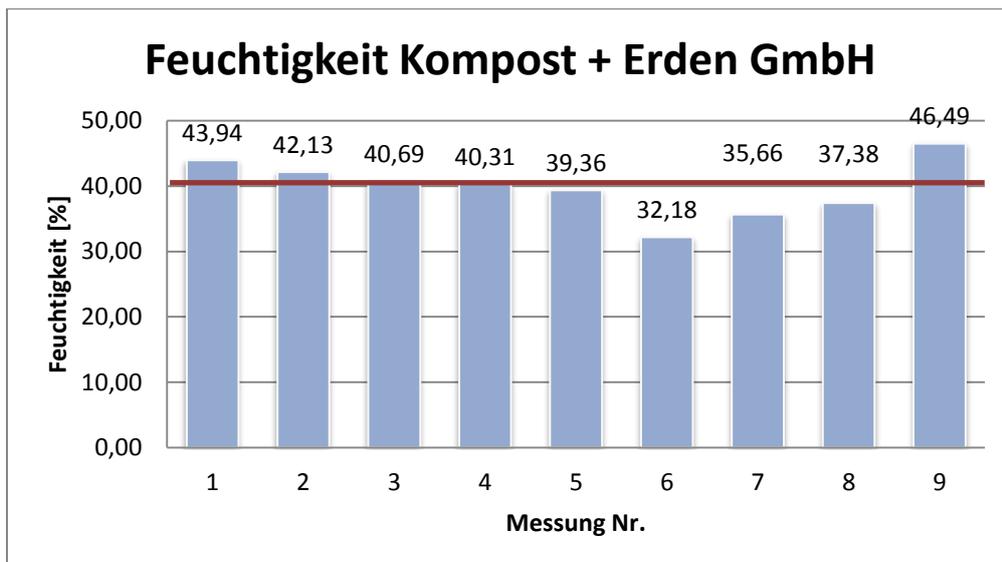


Abbildung 26: Ergebnisse der Feuchtigkeitsmessungen K+E GmbH

### 5.8.3 pH-Wert Messungen

Der dritte Randparameter, der während der Kompostierungsversuche zur Prozesskontrolle gemessen wurde, war der pH-Wert. Auch hier gibt es durch die technischen Normen festgelegte Werte (Siehe Kapitel 3.6), die der Bioabfall, beziehungsweise der spätere Kompost zu bestimmten Zeitpunkten erreichen soll. Zu Beginn der Kompostierung soll der pH-Wert demnach nicht unter 5,0 betragen.

Die Durchführung der pH- Wertmessung erfolgte nach den technischen Normen (Siehe Kapitel 3.6), beziehungsweise nach der Geräteanleitung des eingesetzten pH- Meters (Typ Greisinger GPH 014) aus einer dem Kompost wöchentlich beim Belüften entnommenen Mischprobe. Das pH-Messgerät wurde vor jeder Messung nach der Geräteanleitung erneut nach Gebrauchsanweisung kalibriert.

Es wurden, sowohl wöchentlich der pH-Wert des Komposts in der HAW Anlage gemessen, als auch der Wert, der Miete der K+E GmbH bei jedem Belüften.

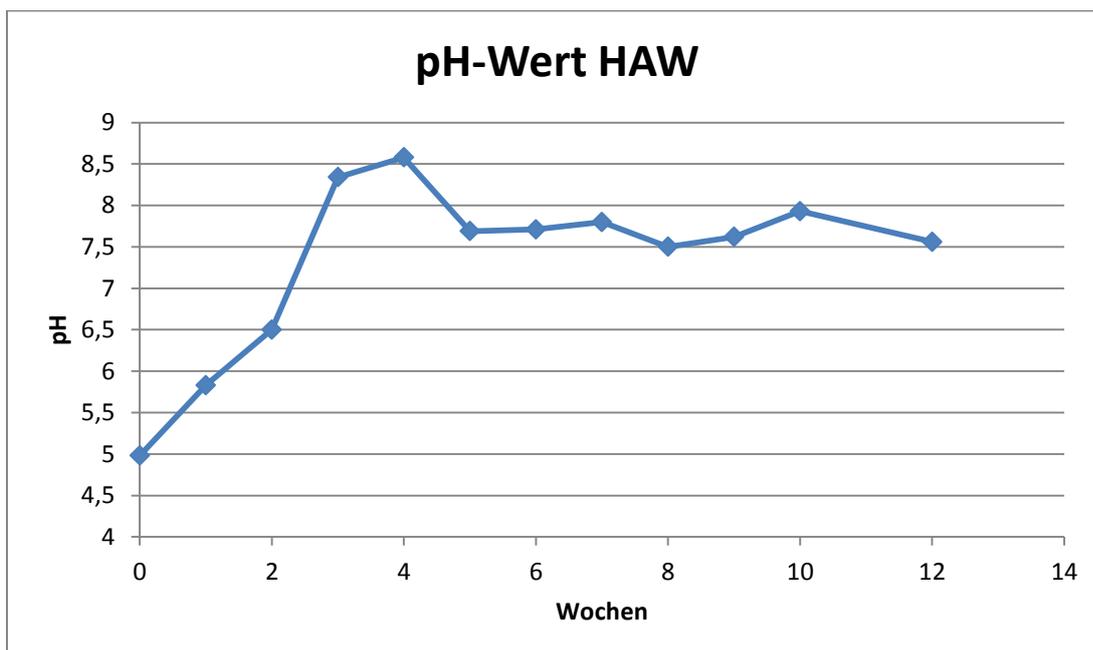


Abbildung 27: Ergebnisse pH-Wertmessungen HAW-Versuchsanlage

#### **Ergebnisse der pH-Wertmessungen**

Schaut man sich die Ergebnisse der pH- Wert-Messungen an, so kann man feststellen, dass der von der GAB angelieferte Bioabfall zu Beginn des Prozesses mit einem pH-Wert von 4,98 nur knapp den Anforderungen entsprach. Der pH-Wert stieg jedoch erwartungsgemäß schnell an und pendelte sich dann bei einem Wert von sieben bis acht ein.

Die Ergebnisse der pH-Wert Messungen bei K+E GmbH waren im Mittel etwas höher. Hier lagen die gemessenen Werte zwischen acht und neun. (Rohdaten siehe Anhang 5 und 9)

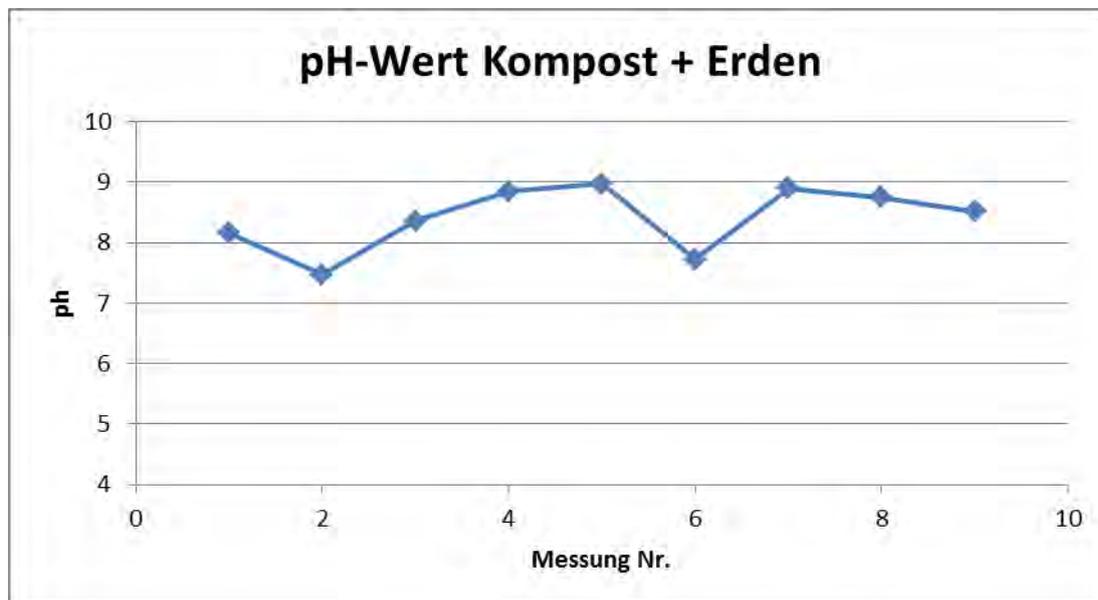


Abbildung 28: Ergebnisse der pH-Wertmessungen K+E GmbH

## 5.9 Vergleichsmessungen

Wie schon in der Definition des Untersuchungsrahmens (siehe Kapitel 2) dieser Masterarbeit beschrieben, wurden neben der hauptsächlichen Versuchsreihe direkt an der Hochschule, verschiedene Vergleichsmessungen vorgenommen. Zum einen haben die gleichen Proben in einer Großkompostierungsanlage für Grünabfälle des Unternehmens K+E Kompost und Erden GmbH einen Kompostierungsprozess unter realen Bedingungen durchlaufen, zum anderen wurden die gleichen Proben einer Kompostierung in einem Eigenkomposter (beziehungsweise Klein – oder Hauskomposter) kompostiert.

Im Folgenden wird auf die beiden Vergleichsmessungen näher eingegangen.

### 5.9.1 Großanlage

Im Rahmen der Betriebsbesichtigung bei K+E Kompost und Erden GmbH (siehe Kapitel 5.3), hat sich die Möglichkeit ergeben, dass ein Vergleichsversuch auf dem Rottefeld des Unternehmens in Norderstedt stattfinden könnte. Dieses tolle Angebot wurde anschließend sofort mit der Planung der Vergleichsreihe umgesetzt.

Bei der Firma K+E GmbH wurden in der Zeit vom 28.10.2011 bis 10.01.2012 acht Probenbeutel mit „Biologisch abbaubarem“ Probeninhalt kompostiert. Die geringe Anzahl der Proben erklärt sich damit, dass mit der Platzierung und Pflege der Proben vor Ort auf dem Kompostplatz für alle Beteiligten ein enormer Aufwand verbunden ist. Um die normalen

Betriebsabläufe des Unternehmens nicht zu stark zu stören, wurden dementsprechend insgesamt nur acht Proben in die Kompostmiete eingebracht.

Von den acht Proben waren vier dieser Masterarbeit zugehörig. Von den vier Probenbeuteln enthielten je zwei die erste Probenart (Tragetasche von Aldi) und zwei die zweite Probenart (To-Go-Becher-Abdeckung von Biofutura). Ziel war es, durch die Dopplung jeder Probe mindestens einen Probenbeutel jeder Probenart bis zur Auswertung zu führen. Es wurde demnach ein Verlust von 50 Prozent der Proben einkalkuliert. Da nicht genug Proben eingebracht wurden, um eine wöchentliche Auswertung vorzunehmen, wurden die bei K+E GmbH eingesetzten Proben zwölf Wochen kompostiert und erst dann zur Auswertung endgültig entnommen.

Die Vorbereitung der Proben war identisch mit der Probenvorbereitung der HAW- Versuche. Am 28.10 wurden die Proben an den Anfang einer Kompostmiete eingesetzt. Zur besseren Wiederfindung wurde der Platz mit Markierungsstangen und Absperrband markiert.



**Abbildung 29: Probenplatzierung im Kompostwerk K+E GmbH**



**Abbildung 30: Markierung der Proben Kompostwerk K+E GmbH**

Auch auf dem Rottefeld der Firma K+E GmbH wurde der Kompost regelmäßig gewendet. Während der Versuchslaufzeit geschah dies rund einmal in der Woche, da im Herbst große Mengen neuer Grünabfall angeliefert werden und so der Rotteprozess beschleunigt ablaufen muss. Normalerweise erfolgt das Wenden der Miete alle zwei bis drei Wochen. Das Wenden erfolgt mit einer großen Wendemaschine.



**Abbildung 31: Wende-und Belüftungsmaschine K+E**

Jeweils etwa 24 Stunden bevor der Fahrer der Wendemaschine örtlich bei den Proben angelangt war, erfolgte die Kontaktaufnahme, so dass zur Bergung der Proben während des Wendevorgangs immer eine Person zur Betreuung der Proben anwesend war.

Die Bergung der Vergleichsproben erfolgte mit dem Radlader, damit die Probenbeutel nicht durch das Wendegerät zerstört wurden. Trotz umfangreicher Markierung des jeweiligen Probenplatzes und der Proben selbst erwies sich die Bergung häufig als sehr zeitintensiv. Nach Bergung der Probenbeutel wurden diese geöffnet und die Proben von Hand gelüftet. Nach dem Verschließen wurden die Probenbeutel erneut im schon umgewälzten Teil der Kompostmiete platziert und mit umgewälztem Kompost neu bedeckt.

Bei jedem Wendevorgang der Kompostmiete der K+E GmbH wurde außerdem eine Mischprobe des Komposts in der Miete zur Bestimmung des Wassergehaltes entnommen, da dieser bei K+E nicht obligatorisch überprüft wird (siehe Kapitel 5.8.2). Auch der pH- Wert der Kompostmiete wurde auf diese Weise dokumentiert (siehe Kapitel 5.8.3).

Trotz sorgfältiger Markierung der Proben in der Kompostmiete musste am Ende der Vergleichsmessung ein Probenverlust von 25 Prozent hingenommen werden. So konnten letztendlich von acht Vergleichsproben der Gesamtuntersuchung nur noch sechs ausgewertet werden. Im Rahmen dieser Masterarbeit konnten drei Vergleichsproben aus der K+E GmbH-Reihe ausgewertet werden.

Von acht Proben der Gesamtreihe blieben also zwei verschwunden. Wie schon obig beschrieben, wurde jedoch schon zu Beginn mit einem Verlust gerechnet: Man sucht letztendlich mit einem Radlader, dem keine Probenmarkierung auf Dauer stand hält in einer fünf Meter hohen Kompostmiete nach Probenbeuteln mit einem Volumen von rund einem Liter, die mit der Zeit die gleiche Farbe annehmen wie die Miete selbst.

Insofern ist eine Verlustkalkulation von 50 Prozent zu Beginn der Vergleichsmessung als richtig und ein tatsächlicher Verlust von „nur“ 25 Prozent als positiv zu betrachten.

Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen bei K+E Kompost und Erden GmbH werden in Kapitel 5.11.4 erläutert.

### **5.9.2 Eigenkomposter**

Der zweite Vergleichsversuch hat im Rahmen eines Studienprojektes des Studiengangs Biotechnologie durch zwei Studierende stattgefunden. In diesem Vergleichsversuch wurden die gleichen Proben wie im Hauptversuch nach DIN EN 13432 einer Eigenkompostierung unterzogen.

Für die Kompostierung wurde ein handelsüblicher Gartenkomposter aus Metallgittern aus dem Baumarkt erworben und bewusst ohne Nutzung von Fachwissen nach der Kompostierungsanleitung des Baumarktes „Obi“ kompostiert. Es wurde so verfahren, da dieser Versuch die Realbedingungen der Kompostierung direkt beim Verbraucher, der ohne spezielles Fachwissen eine Kompostierung durchführt, simulieren sollte.



**Abbildung 32: Eigenkomposter Vergleichsversuch**

Auch dieser Versuch wurde über eine Laufzeit von zwölf Wochen durchgeführt. Als Randparameter wurden bei diesem Versuch die Temperatur in den Kompostern und der pH-Wert dokumentiert. Die Probenvorbereitung erfolgte in gleicher Weise wie bei der Heißkompostierung. Statt mit Biomüll wurden die Probenbeutel neben der eigentlichen Probe mit Gartenabfällen, organischen Haushaltsresten, Komposterde sowie mit ein paar Würmern gefüllt. Auch bei diesem Versuch wurden die gefüllten „Litterbags“ abwechselnd mit dem Kompostmaterial in den Komposter geschichtet. Zusätzlich wurde Kompostbeschleuniger nach Packungsanleitung hinzugegeben. Der Kompost wurde während der gesamten Kompostierungsdauer nicht gewendet und belüftet.

Die Proben verblieben zwölf Wochen im Kompostbehälter. Wöchentlich wurde je Probenart eine Probe für die Auswertung geborgen.

Die Auswertung des Versuchs erfolgte in ähnlicher Art wie bei der HAW- Versuchsreihe und der K+E GmbH Versuchsreihe, war jedoch sehr viel einfacher, da die Proben fast ausschließlich noch zusammenhängende Teile darstellten, die leicht vom restlichen Probenbeutelinhalt getrennt werden konnten.

## **5.10 Auswertung der Proben**

Beim Wenden des Komposts der HAW- Versuchsanlage wurde während der Versuchsdauer von zwölf Wochen jede Woche ein Probenbeutel je Probenart entnommen, um den zeitlichen Verlauf des „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffes genau dokumentieren zu können.

Auch aus dem Eigenkomposter (siehe Kapitel 5.9.2) wurde durch das Team des Scientific Projects wöchentlich je eine Probe zur Auswertung gesichert.

Die acht Vergleichsproben (Zahl= Gesamtversuch) die im Unternehmen K+E GmbH kompostiert wurden, blieben hingegen zwölf Wochen in der Kompostmiete. Sie wurden im Januar 2012 gemeinsam zur Auswertung geborgen. Genauso wurde mit den konventionellen Vergleichsproben verfahren, die zwölf Wochen im HAW Heißkomposter kompostiert wurden und erst am Ende des Versuchs entnommen wurden. Die einzelnen Schritte der Probenauswertung werden im Folgenden ausführlich erläutert.

### **5.10.1 Trocknen der Proben**

Die Probentrocknung beschreibt einen Vorgang, der nicht durch die DIN EN Normen vorgegeben ist. In dieser gibt es lediglich Hinweise für den Siebvorgang der Probe. Leider musste festgestellt werden, dass die Normen in diesem Bereich eine undefinierte Lücke aufweisen. Da das Sieben des feuchten Materials besonders, sobald die feinste, vorgegebene Siebstärke betrachtet wurde, nicht den gewünschten Erfolg erzielte, wurde eine Trocknung der Proben vorgenommen.



**Abbildung 33: Probenbeutel direkt nach der Entnahme aus dem Komposter**

Die Trocknung erfolgte für alle Proben gleich. Sobald ein Probenbeutel zur Auswertung aus der Kompostanlage entnommen wurde, wurde er aufgeschnitten und der gesamte Beutelinhalt zum Trocknen auf einem Tablett (500x 300 Millimeter) ausgebreitet und eine Woche getrocknet. Während der Trocknungsphase wurde das Material wiederholt manuell gewendet um Staunässe und Schimmelpilzwachstum zu verhindern. Die weitere Auswertung der Probe beziehungsweise des Inhalts des Probenbeutels erfolgte im Labor für Verfahrenstechnik an der HAW- Hamburg.

Die DIN EN Normen sind praktische Erfahrung an dieser Stelle verbesserungswürdig

#### **5.10.2 Sieben der Proben**

Das Sieben der Proben war ein durch die Normen (siehe Kapitel 3.6) vorgegebener Teil der Probenauswertung.

Das Sieben der Probenbeutelinhalt wurde zur Auftrennung des Beutelinhalts in drei verschiedene Fraktionen vorgenommen. So konnte der Grad des Zerfalls jeder Probe detailliert untersucht werden. Das Sieben, der zuvor getrockneten Probeninhalte wurde mit einer Siebmaschine (Typ AS 200 control „g“) vorgenommen. Es handelte sich hierbei um eine Siebung, bei der das Siebgut eine zuvor bestimmte Zeitspanne bei einer definierten g-Zahl, vertikal gerüttelt wurde, um durch die Siebmaschen zu fallen. Die g-Zahl und Dauer der Siebung wurde nach Geräteanleitung gewählt. Da der Kompost ein Gemisch verschiedener, in Gewicht und Maßen stark unterschiedlicher Materialien war, wurde er mit der Siebbodenbeschleunigung acht gesiebt. (F. Kurt Retsch GmbH & Co. KG, 1997, S. 14)



**Abbildung 34: Siebmaschine AS 200 control "g"**

Zur Siebung wurde ein Teil des Beutelinhalts auf das obere Sieb des Siebturms gegeben und dieser in das Gerät eingespannt. Für das Volumen eines Probenbeutels waren 4-5 Durchgänge a fünf Minuten nötig.

Durch das Sieben entstanden drei verschiedene Siebfractionen:

1. >5,6 Millimeter:



**Abbildung 35: Siebfraction grober Korngröße**

2. 5,6-2 Millimeter:



**Abbildung 36: Siebfraktion mittlerer Korngröße**

3. < 2 Millimeter:



**Abbildung 37: Siebfraktion feine Korngröße**

### **5.10.3 Sortieren und Durchsicht der Proben**

Nach dem Sieben wurden die Fraktionen getrennt voneinander auf Tablett gegeben. Nun erfolgte der aufwendigste Teil der Probenauswertung: Das Sortieren der Proben, das heißt die Durchsicht der einzelnen Fraktionen auf Rückstände der „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffe. Dieser Schritt erfolgte ebenfalls im Verfahrenstechnik Labor. Mit einem Spatel und einer Pinzette wurden die Beutelinhalte auf, für das menschliche Auge sichtbare,

Rückstände überprüft. Was bei den beiden größeren Siebfraktionen leicht durchführbar war, erwies sich bei der Fraktion < 2 Millimeter als Geduldsspiel. Das Durchsehen der feinen Fraktion eines Probenbeutels nahm sechs bis acht Stunden in Anspruch. Zu Beginn der Untersuchung waren die gefundenen Probenstücke noch gröber und leicht sichtbar. Mit fortschreitender Kompostierungsdauer wurde die Partikelgröße immer geringer. Die gefundenen Partikel wurden je Fraktion in Petrischalen gegeben.

Es wurden einmalig Rückstellproben aller Siebfraktionen aufbewahrt. Die feinsten Fraktionen aller gesiebten Probeninhalte wurden generell als Rückstellprobe sichergestellt.



**Abbildung 38: "To-Go"-BecherDeckelbruchstücke, Woche 1, mittlere Fraktion**

#### **5.10.4 Reinigung und Rückwaage der Probenpartikel**

Die sichergestellten Probenpartikel wurden von Verunreinigungen befreit. Zu Beginn der Versuchsreihe wurden die Probenstücke mit demineralisiertem Wasser aus dem Verfahrenstechniklabor gespült. Dies war möglich, da in den ersten Wochen die Proben lediglich zu gröberen Einzelstücken zerfielen (siehe Kapitel 5.11). Mit fortschreitender Kompostierungsdauer wurden die Stücke jedoch immer brüchiger, so dass auf den Einsatz von Wasser verzichtet wurde, um noch zum späteren Zeitpunkt die tatsächliche Optik der Proben zum Zeitpunkt der Auswertung wiedergeben zu können. Stattdessen wurden die Proben sorgfältig manuell von Verunreinigungen befreit. Hierfür wurden Tücher und Pinsel zum Abbürsten von Verunreinigungen verwendet.

Die gesäuberten Probenpartikel wurden fraktionsweise auf einer Analysenwaage (Typ Kern ALS 220-4) zurückgewogen.

Hierfür wurde dieselbe Analysenwaage, wie zur Einwaage der Proben vor Versuchsbeginn verwendet. Nachdem das Gewicht bestimmt wurde, wurden die Probenpartikel zur Aufbewahrung in für sie bestimmte Probenbehälter gegeben und gelagert.

### 5.10.5. Bestimmung der Wiederfindungsrate

Mit den durch das Zurückwiegen der Probenpartikel ermittelten Werten konnte bestimmt werden wie groß die Rückstände der „Biologisch abbaubaren“ Proben waren, die nach verschiedenen Zeitabschnitten einer Heißkompostierung noch vorhanden waren. Es wurden Wiederfindungsraten für jede einzelne Probe bestimmt.

Die Wiederfindungsrate wird nach folgender Formel berechnet:

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

Es wurden zwei verschiedene „Wiederfindungsraten“ bestimmt. Zum einen eine Wiederfindungsrate gemäß der DIN EN Norm 13432. Hier wurden nur die Partikel als Rückwaagewert betrachtet, die eine Größe von über zwei Millimeter hatten. Alle Probenpartikel die in die feinste Siebfraktion fielen, also eine Größe von zwei Millimetern hatten oder unterschritten, werden durch die DIN EN Norm 13432. als „ nicht mehr vorhanden“ beziehungsweise „komplett abgebaut“ definiert. So ergab sich die erste Wiederfindungsrate: Die Wiederfindungsrate nach EN Norm.

Da allerdings auch in der feinsten Siebfraktion noch Probenpartikel sichtbar waren, wurden auch sie während der Probenauswertung gesondert aussortiert, um den gesamten, nach verschiedenen Kompostierungsdauern noch sichtbaren Rückstand je Probe, ermitteln zu können. So ergab sich eine zweite „Wiederfindungsrate“ unter Verwendung des gesamten, für das menschliche Auge noch erkennbaren, Rückstands der Proben in der Formel.

Die Messungenauigkeit der Analysenwaage (Typ Kern ALS 220-4) hat laut Handbuch einen Wert von nur 0,0002 Gramm. Es erfolgte deshalb keine Berechnung der Standardabweichung.

## 5.11 Ergebnisse des Kompostierungsvorgangs

Nach dem Sortieren der einzelnen Proben wurde neben der Berechnung der „Wiederfindungsrate“ eine Beurteilung des Aussehens der jeweiligen Restpartikel der Proben vorgenommen. Hierzu ist anzumerken, dass in der HAW Anlage zwar zwölf Wochen kompostiert und wöchentlich ein Probenbeutel entnommen wurde, dass aber nur elf Probenbeutel je Probenart ausgewertet wurden. Dies war dadurch begründet, dass die Hochschule vom 23.12.2011 bis zum 04.01.2012 geschlossen war, so dass eine Probenentnahme und Auswertung in dieser Zeit nicht möglich war. Daraus folgt, dass sowohl aus der Versuchswoche zehn als auch aus der Versuchswoche zwölf ein Probenbeutel ausgewertet wurde, nicht aber aus Versuchswoche elf.

In diesem Ergebniskapitel, wird sowohl auf das Aussehen der Probenpartikel im Versuchsverlauf, als auch auf die Wiederfindungsrate für jede Probe eingegangen und diskutiert. Wie schon in Kapitel 5.10.5 dargestellt, war das Untersuchungsziel nicht nur den sichtbaren Rückstand nach DIN EN –Norm, also alle Partikel die größer oder genau zwei Millimeter groß sind zu erfassen, sondern auch alle weiteren nachgewiesenen Partikel in ein zweites Ergebnis aufzunehmen, die kleiner, jedoch für das menschliche Auge noch sichtbar sind. So entstehen pro Probe zwei Werte der Wiederfindungsrate und graphisch dargestellt zwei Säulen im Diagramm.

Gemäß der Definition in der EN-Norm gilt ein Kunststoff als desintergriert, wenn nach zwölf Wochen Kompostierungsdauer in einem „Heißkomposter“ der Anteil der Probenpartikel, die eine Größe von zwei Millimeter oder mehr haben, geringer ist als zehn Prozent. (siehe Kapitel 3.6)

Vor Betrachtung der Probenergebnisse wird jedoch zuerst kurz auf die Veränderungen des Bioabfalls beziehungsweise Komposts während der Kompostierung eingegangen.

#### **5.11.1 Veränderungen des Komposts während des Versuchs.**

Die Veränderungen, die der Kompost während der Kompostierungsphase gezeigt hat, sind insgesamt typisch für einen Kompostierungsprozess. Die gravierendste Veränderung hat sich im Volumenverlust gezeigt. Von der zuvor angelieferten Bioabfallmenge von vier Kubikmetern ist nach zwölf Wochen Kompostierungsdauer nur noch die Hälfte an Volumen vorhanden gewesen.



**Abbildung 39: Volumenabnahme Versuchskompost**

Das ist eine typische Erscheinung, die durch den Wasserverlust durch Verdampfen und der Veränderung der Korngröße des Komposts während der Kompostierung bedingt ist.

Der Bioabfall wurde mit fortschreitender Versuchsdauer in der Konsistenz immer lockerer. Aus einer übel riechenden Masse mit eher schmierigem Erscheinungsbild wurde im Laufe der Zeit lockerer, trockenerer Kompostboden mit einem Geruch, der an Waldboden erinnert. Dies machte sich auch in den Volumenanteilen der einzelnen Fraktionen nach dem Sieben der Probenbeutelinhalt bemerkbar: Je länger der Aufenthalt des jeweiligen „Litterbags“ im Kompost war, desto geringer wurde der Volumenanteil der beiden gröberen Fraktionen und desto höher der, der feinen Fraktion. So waren bei Versuchsende in den gröberen Fraktionen nur nicht oder schwer verwesende Teile wie zum Beispiel Steine, Knochen, dickere Holzstücke oder Fruchtkerne (Zum Beispiel Pfirsich) beziehungsweise Samen verschiedener Pflanzen enthalten.

### **Diskussion**

Sowohl die Veränderung der Optik des eingesetzten Materials, als auch die Veränderung von Kompostvolumen, Struktur und Geruch weisen auf einen normalen, ordnungsgemäß abgelaufenen Heißkompostierungsprozess hin. Nimmt man die Ergebnisse der Temperatur- und pH-Wertmessungen hinzu wird diese Aussage bekräftigt.

#### **5.11.2 Ergebnisse „Biologisch abbaubare“ Proben- „To- Go –Becher Abdeckung**

Bei der Auswertung der Probenbeutel, die mit der „Biologisch abbaubaren“ Probe: To- Go-Becher Abdeckung der Firma „Biofutura“ versetzt waren, wurde schon im Laufe der ersten Wochen deutlich, dass der Abbau außerordentlich rasant abläuft (Rohdaten im Anhang 1). Schon in der ersten Woche zerbrach der Deckel in 5- 25 Millimeter lange Stücke mit der Breite 12-2 Millimeter. Die Bruchstücke waren farblich identisch mit dem Ausgangsprodukt. Dieser schnelle Verlauf der Desintegration setzte sich in den folgenden Wochen fort:

<b>Woche</b>	<b>Fraktion &gt; 5,6 Millimeter</b>	<b>Fraktion 2 - 5,6 Millimeter</b>	<b>Fraktion &lt; 2 Millimeter</b>
1	Länge: 5-25 Breite: 2-12	Länge: 1-15 Breite: 2-7	Länge: 1-4 Breite: 1-2
2	/	Länge: 2-3 Breite: 2-7	Länge: 0,5-2 Breite: 0,5-2
3	/	Länge: 1-2 Breite: 2-3	Länge: 0,5-1 Breite: 0,5-2
4	/	Länge: 1-2 Breite: 2-3	Länge: 1-2 Breite: 2-3
5	/	/	/

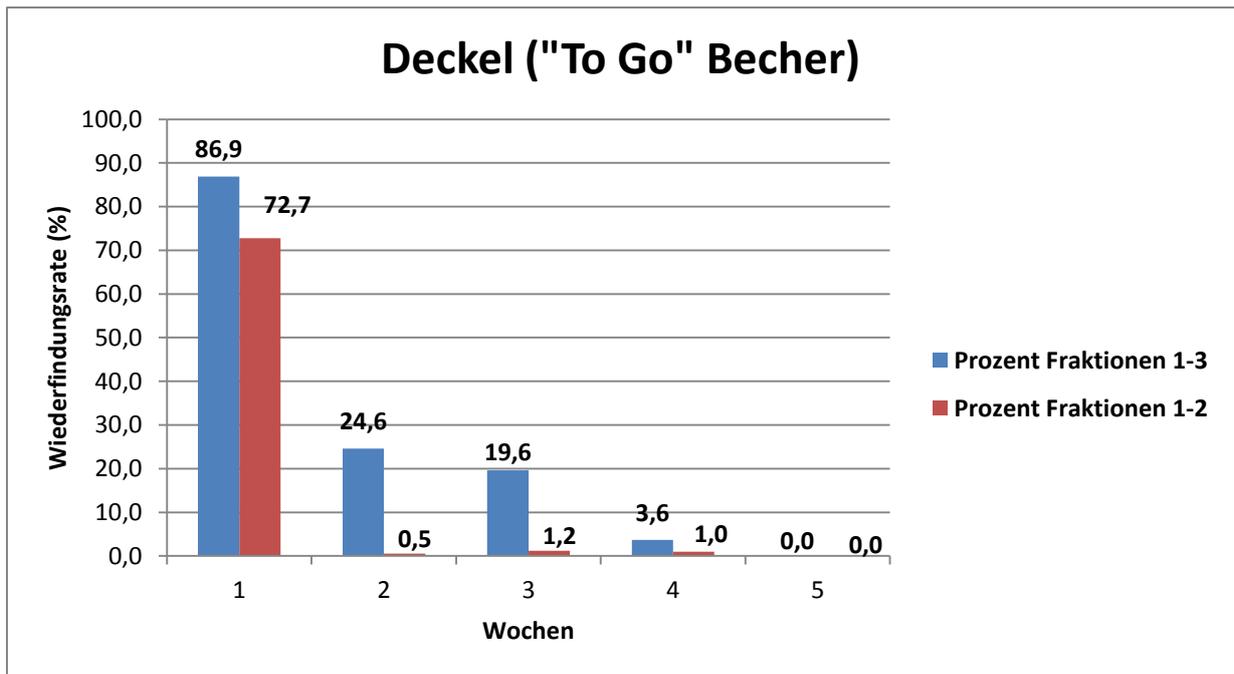
Schon in der ersten Woche fand sich der höchste Probenanteil in der mittleren Fraktion. In Woche zwei zerfielen die Stücke in homogenere quadratische kleine Bruchstücke. Die Farbe der Partikel änderte sich vom weiß zu weiß- braun. In den folgenden Wochen wurden die Partikel immer kleiner, bevor sie in Woche fünf optisch nicht mehr nachweisbar waren.

In der gezeigten Grafik sind die Wiederfindungsraten der Proben dargestellt. Auf der Ordinate findet der Betrachter die Wiederfindungsrate (angegeben in Prozent), auf der Abzisse ist der zeitliche Verlauf des Versuchs dargestellt, das heißt man sieht die Probenergebnisse nach der jeweiligen Kompostierungsdauer. Wie schon obig erklärt werden pro Probe zwei Werte angegeben:

1. Wiederfindungsrate  
definiert nach DIN EN  
Norm:  
→ Alle Probenpartikel die  
größer sind als zwei  
Millimeter.



2. Gesamtwiederfindungs-  
rate: → Alle Proben-  
partikel, die bei Sortierung  
des Probenbeutelinhalt  
für das menschliche Auge  
als Probenpartikel erkannt  
wurden. Also auch  
Partikel, die kleiner als  
zwei Millimeter sind.



**Abbildung 40: Ergebnisse Desintegration "To-Go"-Becher-Deckel**

Schaut man sich die Ergebnisse im Diagramm an, so sieht man, dass schon in der ersten Versuchswoche ein deutlicher Verlust an Probenmaterial nachweisbar ist. Nach EN-Norm-Definition beträgt dieser fast dreißig Prozent. Schaut man sich die Gesamtwiederfindungsrate an, so wird klar, dass schon in der ersten Woche rund 14 Prozent Probenrückstand auf eine Partikelgröße kleiner als zwei Millimeter fallen. Der drastische Verlauf des Probenabbaus lässt sich dementsprechend sehr anschaulich an den Ergebniswerten der zweiten Versuchswoche darstellen: Die Wiederfindungsrate laut DIN EN Norm beträgt schon in dieser Woche nur 0,5 Prozent und pendelt sich in den beiden Folgewochen in einem Bereich von bis zu 1,2 Prozent ein. Das heißt, dass schon nach Versuchsdauer von zwei Wochen die EN-Norm erfüllt wird. Die Gesamtwiederfindung aller optisch sichtbaren Probenanteile sinkt langsamer, aber stetig: So sind nach einer Versuchsdauer von zwei Wochen noch 24,6 Prozent der Probe wiedergefunden worden, nach drei Wochen waren es noch 19,6 Prozent. Der stärkste Abfall von 16 Prozent erfolgte in Versuchswoche vier: Hier wurde nur noch eine Gesamtwiederfindungsrate von 3,6 Prozent errechnet.

Der Verlauf des Verfalls der „To-Go“-Becher-Abdeckung ist auf der Bildtafel auf den folgenden Seiten photographisch dargestellt.

Abschließend ist als Ergebnis des Desintegrationsversuchs der „To-Go“-Becher-Abdeckung des Unternehmens Biofutura zu sagen, dass der Deckel nach DIN EN Normvorgaben schon nach zwei Wochen als desintegriert gilt. Bis zu einer Versuchsdauer von vier Wochen sind Partikel, die kleiner sind als zwei Millimeter sichtbar und können durch Sortierung isoliert

werden. Ab der Fünften Woche waren im Inhalt des Probenbeutels keine Probenpartikel mehr enthalten, die vom menschlichen Auge erkannt werden konnten. Damit sind die durch die Versuchsanlage an der HAW kompostierten Deckel schneller abgebaut worden, als von Herstellerseite vorgegeben.

### ***Diskussion***

Der Verlauf des Abbaus der „To-Go“-Becher-Abdeckung zeigt deutlich, wie schnell der Materialabbau von PLA erfolgt. In einer Heißkompostierung baut sich das Produkt extrem schnell ab. Betrachtet man die Gesamtwiederfindungsrate so findet der Verlauf zwar geringfügig langsamer statt, trotzdem kann von einem sehr zügigen Abbau gesprochen werden. Die DIN EN Vorgaben wurden in vollem Umfang erfüllt.

Woche	Fraktion > 5,6 Millimeter	Fraktion 2 - 5,6 Millimeter	Fraktion < 2 Millimeter
1			
2	/		

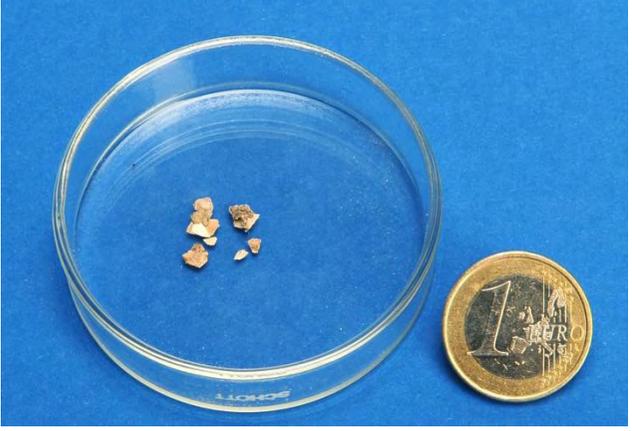
3	/		
4	/		

Abbildung 41: Ergebnisse der Desintegration des "To-Go"-Becher-Deckels

### 5.11.3 Ergebnisse „Biologisch abbaubare“ Proben-Tragetasche

Ganz anders sieht das Untersuchungsergebnis der „Biologisch abbaubaren“ Tragetasche von Aldi aus. Diese Probe war wesentlich länger in den Probenbeuteln zu finden als der „To-Go-Becher-Deckel“.



**Abbildung 42: Probenfund ALDI Tragetasche nach einer Woche**

**Kompostierung direkt nach Öffnung des Probenbeutels**

Nach einer Woche war das Folienstück noch in zwei zusammenhängenden ganzen Stücken vorhanden. Es waren lediglich große schlitzartige Risse in der Folie auszumachen. In der zweiten Woche waren in allen drei Siebfractionen Probenstücke auszumachen. Es gab sowohl noch ein größeres Stück, als auch kleinere Folienteile, die eine Form vergleichbar mit kleinen Holzspänelocken hatten. In der dritten Woche waren die größeren Probenteile fein zerschlossen, gebündelt wie ein „Strohhaufen“. Die Probenpartikel wurden im Zeitverlauf zunehmend kleiner und feiner. Die Form erinnerte an längliche „Schnipsel“. Zusätzlich veränderte sich im zeitlichen Verlauf der Aufdruck der Tragetasche. Die Partikel wirkten „pixelmäßig“ und waren so beim Sortieren leicht vom sonstigen Beutelinhalt zu unterscheiden. Die Partikel waren insgesamt sehr inhomogen, so dass eine Partikelmessung nicht erfolgte. Das Aussehen der Partikel ist auf der Bildtafel auf den folgenden Seiten dargestellt. In den folgenden Wochen wurden die Partikel der Tragetasche immer kleiner, so dass sie am Ende der Messung Werte von 0,5 Millimetern erreichten. Die Bildtafel am Ende des Kapitels zeigt den fotografischen Verlauf der Desintegration während der ersten sechs Wochen.

Die errechnete Wiederfindungsrate der Probe war mit einem Wert von rund 96,7 Prozent dem optischen Bild entsprechend in der ersten Woche sehr hoch. Dieses Bild änderte sich bei der Probe aus der zweiten Kompostierungswoche nicht wesentlich. Die gesamte

Wiederfindungsrate betrug rund 91,3 Prozent, wovon 90,1 Prozent in den beiden größeren Siebfraktionen zu finden waren. Es wurden zu diesem Zeitpunkt also in allen drei Siebfraktionen Partikel der Probe gefunden, obgleich der Anteil in der feinsten Siebfraktion noch äußerst gering war. (Siehe Rohdaten im Anhang 2). Wie im Diagramm zu sehen, nahmen die Wiederfindungsraten bis zur vierten Kompostierungswoche stetig ab. Bis zu diesem Zeitpunkt konnte jeweils in allen drei Siebfraktionen Probe nachgewiesen werden.

So zeigt das Diagramm, dass die Gesamtwiederfindungsrate in dieser Zeit um 45,5 Prozent sank und die Wiederfindungsrate nach DIN EN 13432, also die Betrachtung der zwei größeren Fraktionen sich immer um geringe Prozentsätze darunter hielt.

Ein deutlicher „Bruch“ der wiedergefundenen Anteile erfolgte in der Versuchswache fünf. In dieser Woche gab es nur noch Probenpartikel in der feinsten Siebfraktion. Ihr Anteil betrug noch rund elf Prozent des Anfangsgewichts der Probe. Nach DIN EN Norm 13432 galt diese Probe schon als komplett abgebaut, da keine größeren Partikel mehr vorhanden waren. In der Folgewoche änderte sich das Bild jedoch wieder komplett, da Rückstände in den zwei feineren Siebfraktionen gefunden wurden. Zwar betrug der Anteil in der mittleren Fraktion nur 0,9 Prozent, die Probe galt nach Norm also weiterhin als abgebaut, da ein Wert von zehn Prozent des Einwaagegewichtes nicht überschritten wurde, aber in der feinen Fraktion waren noch 33,2 Prozent der Probe zu finden, was zusammengenommen eine Gesamtwiederfindungsrate von 34,1 Prozent ergibt. Die Ergebnisse der siebten Woche jedoch lassen vermuten, dass es sich bei diesem Ergebnis um einen Ausreißer handeln könnte. Bei dieser Probe wurden wieder nur in der feinen Siebfraktion Probenpartikel sichergestellt (8,5 Prozent Gewichtsanteil). In allen darauf folgenden Wochen waren Probenpartikel nachweisbar. Die DIN EN Norm wurde aber erfüllt, da es sich um weniger als zehn Prozent des Einwaagegewichtes handelte.

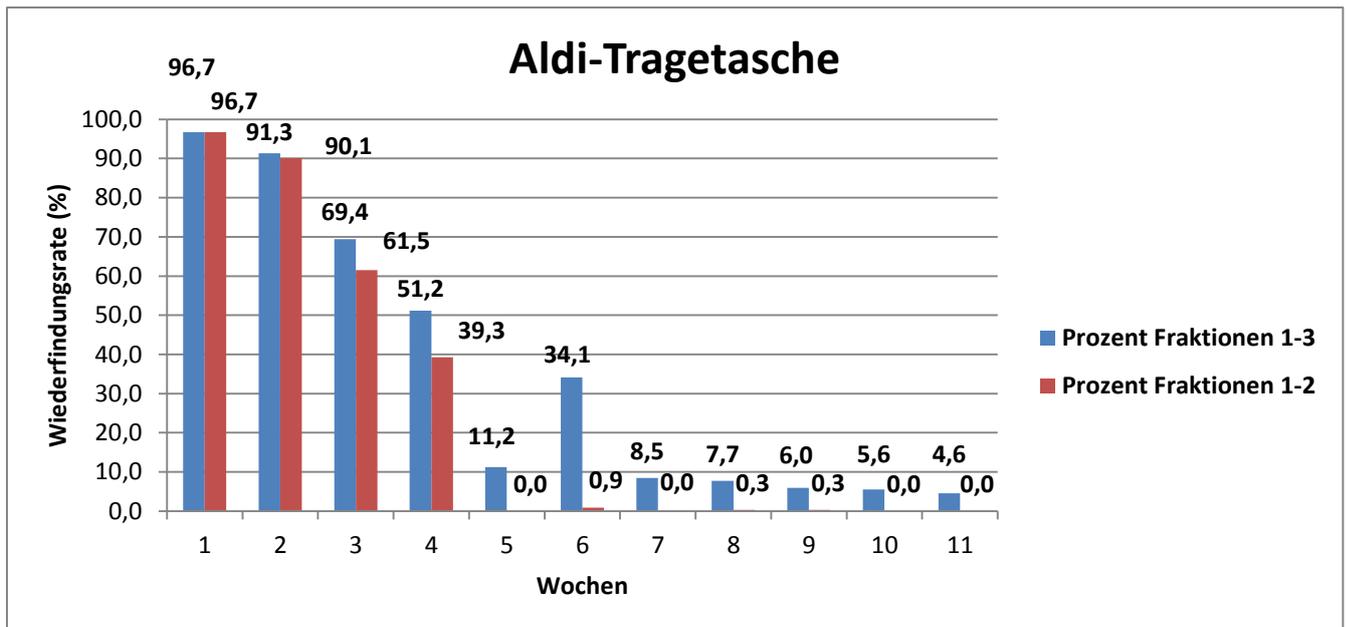
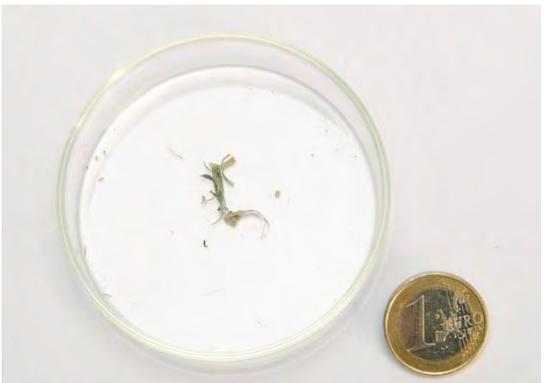


Abbildung 43: Ergebnisse Desintegration: ALDI Tragetasche

#### **Diskussion**

Auch von dieser Probe wurden die DIN EN Vorgaben erfüllt. Allerdings verlief der Abbau der Probe deutlich langsamer, als der, der „To-Go“-Becher Abdeckung. Auch in der letzten Woche waren noch Probenpartikel erkennbar.

Der Ausreißer in Woche sechs, kann zwei Gründe haben: Kompost ist „lebendige Materie“, die nicht an allen räumlichen Orten die gleichen Eigenschaften hat. So spielt es sicherlich eine Rolle was für eine Art Bioabfall im Probenbeutel der Woche sechs war. Auch kann es sein, dass dieser Litterbag in der Heißrottephase an einer Stelle des Komposters lag, die die höchsten Temperaturen nicht erreichte.

Woche	Fraktion > 5,6 Millimeter	Fraktion 2 - 5,6 Millimeter	Fraktion < 2 Millimeter
1		/	/
2			

3



4



/



5	/	/	
6	/	 <p data-bbox="904 1086 1447 1145"><b>Abbildung 44: Ergebnisse der Desintegration der ALDI-Tragetasche</b></p>	

#### **5.11.4 Ergebnisse der Vergleichsmessungen**

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Vergleichsmessungen bei K+E Kompost und Erden GmbH und im Eigenkomposter beschrieben.

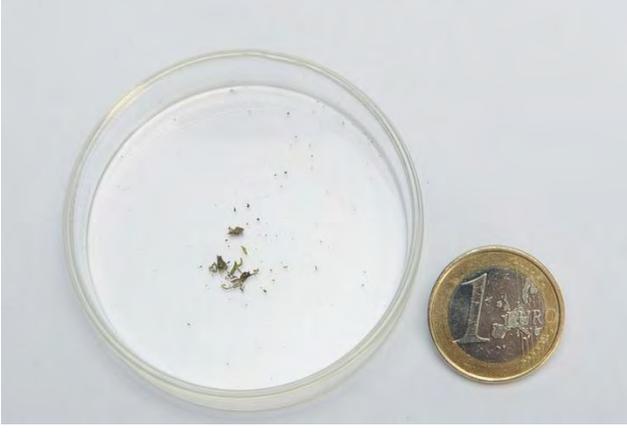
##### ***Vergleichsmessung bei der K+E Kompost und Erden GmbH***

Mitte Januar wurden die Proben der vergleichenden Messung bei K+E Kompost und Erden GmbH nach zwölfwöchiger Kompostierungsdauer geborgen. Die Ergebnisse dieser Messung geben einen Aufschluss darüber, ob das im Versuchsaufbau der HAW erzielte Ergebnis auch auf die realen Kompostierungsbedingungen einer großen Anlage übertragbar ist. Diese Proben wurden nicht wöchentlich ausgewertet, sondern einmalig nach der kompletten Kompostierungsdauer von zwölf Wochen. Durch Probenverlust waren noch drei von vier dieser Masterarbeit zugehörigen Proben übrig. Ein Probenbeutel mit dem Probeninhalt „To-Go“-Becher-Abdeckung“ ist verschollen, die übrigen drei Probenbeutel konnten ausgewertet werden.

Bei beiden Probenbeuteln der Probenart Tragetasche („Orange 14“ und „Orange 15“) waren Probenrückstände sowohl in der mittleren (2- 5,6 Millimeter), als auch in der feinen Siebfraktion (kleiner zwei Millimeter) zu finden. (siehe Rohdaten im Anhang 4). Dennoch unterschieden sich die Proben deutlich. Die Vergleichsprobe mit der Probennummer „Orange 14“ hatte eine Gesamtwiederfindungsrate von rund 30,7 Prozent. Die Rate der Probennummer 15 war mit rund 7,6 Prozent deutlich geringer. Das bedeutet, dass eine Probe den Anforderungen der EN-Norm gerecht wird, die zweite jedoch nicht.

Der Abbau der Tragetaschen erfolgte zwar auch im HAW Komposter langsamer, allerdings waren die Ergebnisse gleichmäßiger. Möglicherweise ist dieses Ergebnis ein Indiz dafür, dass kompostierbare Kunststoffe für eine reine Grünabfallkompostierung nicht geeignet sein könnte, obwohl die erforderlichen Begleitparameter erreicht werden. Auf der Bildtafel auf der Folgeseite sind die wiedergefundenen Probenpartikel dargestellt.

Der dritte Probenbeutel enthielt den „To-Go-Becher-Deckel“ (Orange 13). In diesem Probenbeutel fanden sich nach zwölf Wochen keine Rückstände der Probe.

Probe	Fraktion 2 - 5,6 Millimeter	Fraktion <2 Millimeter
Tragetasche (Probennummer 15)	 <p>A petri dish containing a small amount of dark, fragmented material. A 1 Euro coin is placed to the right for scale.</p>	 <p>A petri dish containing a larger amount of dark, fragmented material compared to the 2-5.6 mm fraction. A 1 Euro coin is placed to the right for scale.</p>
Tragetasche (Probennummer 14)	 <p>A petri dish containing a moderate amount of dark, fragmented material. A 1 Euro coin is placed to the right for scale.</p>	 <p>A petri dish containing a large amount of dark, fragmented material, appearing as a dense pile. A 1 Euro coin is placed to the right for scale.</p>

### ***Vergleichsmessungen Eigenkomposter***

Die Vergleichsproben, die im Rahmen eines Scientific Projects in einem Eigenkomposter beziehungsweise Klein- oder Hauskomposter „kalt“ kompostiert wurden, wurden wie die HAW Versuche wöchentlich ausgewertet, das heißt es wurde jede Woche eine Probe zur Auswertung entnommen. Überraschenderweise zeigte das Kaltkompostieren dieser Proben wenig Wirkung. Selbst nach Versuchsende zeigten die Proben nur wenige Beschädigungen. Einige Proben wurden lediglich durch mechanische Einflüsse leicht beschädigt (To-Go-Becher-Abdeckung) oder wiesen leichte Verfärbungen auf. Auch die Gewichte und die Farbgebung der Proben waren nahezu identisch



**Abbildung 45: "To-Go"-Becher-Deckel nach 12wöchiger Eigenkompostierung**



**Abbildung 46: ALDI Tragetasche nach 12wöchiger Eigenkompostierung**

### **Proben aus konventionellem Kunststoff**

Abschließend ist noch der Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen der konventionellen Proben zu erwähnen, die zusammen mit den „Biologisch abbaubaren“ Proben in identischen Probenbeuteln während der Gesamtversuchsdauer von zwölf Wochen in der HAW Kompostierungsanlage kompostiert wurden. Nachdem die Vergleichsproben aus den Probenbeuteln entnommen wurden, war sofort sichtbar, dass bei ihnen durch den Kompostierungsprozess kaum Veränderungen in ihren Gewichtsanteilen vorlagen. Nach der Reinigung der Proben mit Pinsel und demineralisiertem Wasser, wurde dieser Eindruck durch die Rückwaageergebnisse erhärtet. Die Messwerte von Einwaage und Auswaagegewicht sind nahezu identisch. (Siehe Anhang 3)

Es wurde deutlich, dass die optisch sichtbaren Veränderungen einzig durch die hohe Temperatur und die mechanische Belastung im Komposter begründet waren (Siehe Abbildung 42). Zwar waren die Materialien teilweise geschmolzen oder auseinandergebrochen, eine Desintegration, beziehungsweise ein Abbau des Materials konnte hingegen nicht erkannt werden. Lediglich ein Verblässen der Farbe war bei einer der beiden Proben zu erkennen (Tragetasche).



**Abbildung 47: Konventioneller "To-Go" Deckel nach 12wöchiger Kompostierung**



**Abbildung 48: Konventionelle Tragetasche nach 12wöchiger Kompostierung**

### 5.11.5 Validierung der Kompostierungsversuche

Um neben der Messung der Begleitparameter eine Aussage über die Richtigkeit des Ablaufs des Kompostierungsprozesses treffen zu können, beziehungsweise um die Qualität des durch die Kompostierungsprozesse entstandenen Kompostes zu überprüfen, wurden die im Folgenden beschriebenen Versuche durchgeführt.

#### ***Bestimmung des Rottegrads-Selbsterhitzungsversuch***

Um eine Aussage über den Rottegrad eines Komposts zu treffen, ist die einfachste Methode, einen Selbsterhitzungstest vorzunehmen. (Oberholz, S.91f).

Die Durchführung des Tests ist simpel:

Zuerst erfolgte eine Siebung des frischen Kompostes auf eine Körnung von < 10 mm. Anschließend wurde der Feuchtigkeitsgehalt des Komposts mittels Faustprobe überprüft. Hierzu wurde etwas Kompost in der Faust fest umschlossen. Sofern der Kompost beim Öffnen der Faust zuerst die gepresste Form behält und erst auf leichten Druck hin zerkrümelt, ist der Feuchtigkeitsgehalt der Probe für den Selbsterhitzungstest ideal. Sollten beim Zusammenpressen der Probe Wassertropfen zwischen den Fingern hervortreten oder der Kompost schon beim Öffnen der Hand von sich aus zerkrümeln, so muss der Feuchtigkeitsgehalt vor dem Test eingestellt werden. (Oberholz, S. 91f).

Die Probe des Kompostes, der bei den HAW-Versuchen entstanden ist, hatte nach zwölf Wochen einen optimalen Feuchtigkeitsgehalt, so dass eine Nachbesserung nicht nötig war. Nach Kontrolle des Feuchtigkeitsgehaltes wird der Kompost in ein Dewar-Gefäß gegeben. Im unteren Drittel des Gefäßes wurde ein Temperaturfühler. (Casca Electronics EL-USB1-35-80°C). eingesetzt, der programmiert war die Temperatur zweimal täglich zu messen. Das gefüllte Dewargefäß wurde offen, bei Raumtemperatur aufgestellt. (Oberholz, S. 91f).



Abbildung 49: Dewar-Gefäß

Das Temperaturmaximum des Selbsterhitzungsversuchs wird in der Regel nach 2-5 Tagen erreicht. Das Versuchsende erfolgt nach Erreichen des Temperaturmaximums, spätestens nach 10 Tagen. (Oberholz, S. 93)

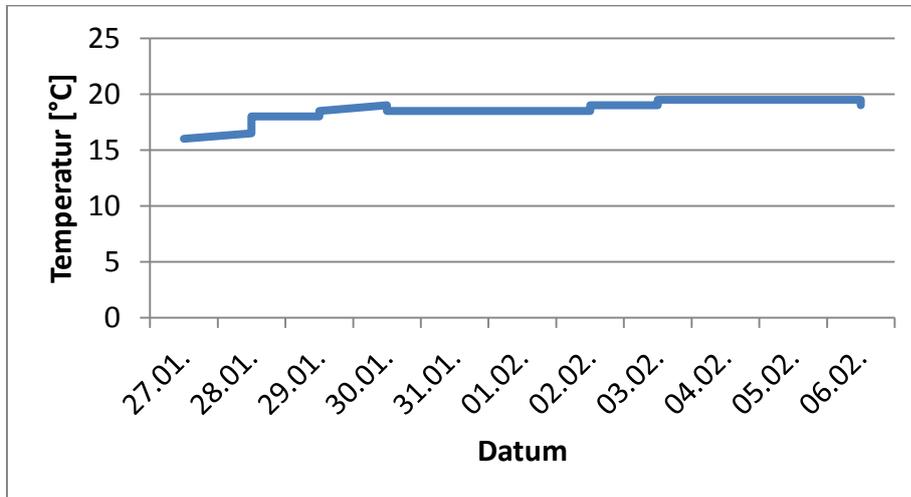


Abbildung 50: Temperaturwerte Reifegradbestimmung

Der Selbsterhitzungstest des Materials hat ergeben, dass der Kompost mit einem Temperaturmaximum von unter 20° Celsius den höchsten Reifegrad, Grad „Fünf“ (20-30 °Celsius) erreicht hat. Dieses Ergebnis ist ein Indiz für fehlerfrei eingestellte Versuchsparameter. (siehe DIN EN 14045 Kapitel 3.6)

#### **Bestimmung der Pflanzenverträglichkeit- Kressetest**

Um die Pflanzenverträglichkeit, des während des Kompostierungsversuchs entstandenen Komposts, zu überprüfen und so einen weiteren Hinweis auf die Gültigkeit der HAW-Versuchsanlage zu erhalten, wurde mit dem Kompost ein Kressetest durchgeführt. Es handelt sich hierbei um einen Vegetationsversuch mit der Pflanze „Gartenkresse“ (*lepidium sativum*) als Bioindikator. Die Verwendung der Gartenkresse begründet sich in ihrem schnellen Wachstum und in ihrer Empfindlichkeit gegenüber Schadstoffen im Substrat.

Der Kressetest wird vor dem Verkauf von Kompost auch im Unternehmen Kompost und Erden GmbH zu Kontrollzwecken des Komposts durchgeführt.

Für den Kressetest werden je ein Gramm Kresse auf dem zu überprüfenden Boden (etwa sieben Zentimeter Höhe) eingesät. Der Boden wurde zuvor auf eine Korngröße < zehn Millimeter abgeseibt. Es erfolgt eine bestimmte Pflanzenpflege nach Versuchsvorschrift (Oberholz, S.124 f).

Während des Versuchs wird die Auskeimung und das Wachstum der Pflanzen dokumentiert. Im Vergleich mit einer auf gedüngter Einheitserde ausgesäten Kultur kann so ein erster Rückschluss auf die Bodenqualität erfolgen. So kann erkannt werden, ob der entstandene Kompost für empfindliche Pflanzen keimhemmend ist. (Oberholz, S.124 f).

Auf allen vier Probeböden erfolgte ein gleichmäßiges Auskeimen der Kresse. Die Farbe der Kressepflanzen war arttypisch kräftig grün. Die Pflanzen erreichten jedoch leicht unterschiedliche Keimhöhen. Die Keimhöhe der Pflanzen auf der Einheitserde war mit 50- 75 Millimetern am höchsten. Danach folgte die Keimhöhe auf purem Kompost ohne Probenrückstände mit 40-60 Millimetern. Die gleiche Höhe erreichten die Pflanzen, die auf Kompost mit Probenrückständen der festen Kunststoffprobe gewachsen waren. Das schlechteste Wachstum zeigten die Kressepflanzen, die auf Kompost mit Rückständen von „Biologisch abbaubarer“ Folie gezogen worden waren. Sie erreichten nur eine Höhe von 35- 50 Millimeter.

Warum das Wachstum der Pflanzen unterschiedlich ausgefallen ist, lässt sich ohne weitere Untersuchungen nicht sagen, dennoch kann festgestellt werden, dass der durch die Kompostierungsversuche hergestellte Boden keine keimhemmende Wirkung hat.

## 6. Fehlerbetrachtung

Der größte, in der Untersuchung auftretende „Fehler“ ist der Mensch. Die Detektion der Probenrückstände in Form von Kleinstpartikeln wurde nicht von einer Maschine mit definierter Abweichung vorgenommen, sondern die Proben wurden von einem Menschen seinem optischen Sinn nach sortiert. So kann nicht ausgeschlossen werden, dass nicht alle Probenpartikel bei der Sortierung entdeckt wurden. Allerdings wurden alle Proben von der selben Person untersucht, so dass ein eventuell auftretender Fehler bei allen Proben den selben Wert hat.

Nicht alle Proben konnten zu 100 Prozent von Schmutzresten befreit werden, da dies zu ihrer Zerstörung geführt hätte. Trotz sorgfältigem, schonendem Säubern konnte nicht verhindert werden, dass es eventuell geringfügige Abweichungen der Rückwaageergebnisse durch anhaftende Schmutzpartikel gab.

Auch gab es keine Doppelbestimmung. Es wurde pro Woche aufgrund des Auswertungsaufwands nur ein Litterbag je Probe ausgewertet.

Kompost ist „lebende“ Biomaterie. Die Ergebnisse von Kompostierungsversuchen können mit den Unterschieden des verwendeten Ausgangsmaterials schwanken. Bioabfall hat sowohl natürliche Schwankungen in der Zusammensetzung als auch jahreszeitliche Schwankungen. So ist es sicherlich nicht unerheblich, was für ein Material zu einer „Biologisch abbaubaren“ Probe in einen Litterbag mit dem Volumen von rund zwei Litern gegeben wird.

Zu den bei der K+E Kompost und Erden GmbH durchgeführten Vergleichsversuchen ist zu sagen, dass die dabei entstandenen Ergebnisse unter dem Aspekt betrachtet werden müssen, das nicht mit üblichem Bioabfall, sondern „nur“ mit Grünabfällen kompostiert wurde. Der DIN EN 13432 entsprechen diese Versuche also nicht ganz.

So ist es keine Überraschung, dass auch die Ergebnisse dieser Vergleichsversuche den Anforderungen der DIN EN Normen nicht ganz genügen: In einem Litterbag, der mit der „Biologisch abbaubaren“ ALDI Tragetasche bestückt war, wurden nach zwölfwöchiger Kompostierung noch rund dreißig Prozent des Ausgangsmaterials nachgewiesen.

Dennoch sind die Ergebnisse wichtig und interessant, da in der Zukunft auch die reinen Grünabfallentsorger mit „biologisch abbaubaren“ Kunststoffen stärker konfrontiert werden könnten. Dies könnte, beispielsweise in Form neuartiger Laubsäcke, Blumenpflanztöpfen oder ähnlichen Produkten erfolgen, die vom Verbraucher aufgrund ihrer deklarierten Kompostierfähigkeit mit in den Grünabfall gegeben werden.

## 7. Zusammenfassende Bewertung und Ausblick

Das wichtigste Ergebnis der Untersuchung ist, dass sich beide für die Untersuchung gewählten Produkte der „biologisch abbaubaren“ Kunststoffe DIN EN Norm-gemäß abgebaut haben und so nach der Norm eine vollständige Desintegration erfolgt ist. Die „To-Go“-Becher Abdeckungen desintegrierten sehr schnell. Schon in Woche fünf konnten keine Rückstände mehr im Kompost nachgewiesen werden. Obwohl die „Biologisch abbaubare“ Tragetasche von ALDI einen längeren Zeitraum benötigte, erfüllte auch sie die Norm. Die während des Versuches dokumentierten Randparameter haben sichergestellt, dass der Versuch unter, mit einer großen Kompostierungsanlage vergleichbaren Bedingungen, erfolgte.

Für die Durchführung weiterer Kompostierungsversuche hat sich als Ergebnis dieser Arbeit auch ergeben, dass es besser wäre, man würde die „Biologisch abbaubaren“ Produkte vor der Kompostierung einfärben. Das würde die Sortierung erheblich erleichtern.

Die große Frage, die bleibt, ist jedoch, ob die Vorgaben der technischen Normen ausreichend sind. Zur Erinnerung: Nach diesen Normen gilt ein „Biologisch abbaubarer Kunststoff“ als abgebaut, wenn nach zwölf Wochen Kompostierungsdauer in einer Heißkompostierung weniger als zehn Prozent Probenrückstand nachzuweisen sind. Ein Wert der nicht gerade niedrig ausfällt. Auch werden durch die DIN EN Norm Vorgaben nur Probenpartikel erfasst, die größer als zwei Millimeter sind. Geht man davon aus, dass in der Zukunft größere Mengen an „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffen durch Kompostierung zurück in die Umwelt gelangen, so können beim heutigen Kunststoffverbrauch diese zehn Prozent zum Problem werden. Auch optisch sind diese Partikel im Boden deutlich sichtbar. Zudem sind auch die den Kunststoffen zugegebenen Additiva und Druckfarben als problematisch zu betrachten.

Während der durchgeführten Kompostierungsversuche wurde außerdem festgestellt, dass eine Untersuchung der kleinsten Siebfraktion sehr mühsam ist. So bleibt die Frage warum die DIN EN 13432 nicht vorschreibt, auch die kleinsten Partikel mit in die Ergebnisrechnung einzubeziehen. Ist die Norm so großzügig, weil man nicht wusste, bei welcher Partikelgröße man die Vorschrift abgrenzen soll? Oder weil das Aussortieren der Partikel so mühselig ist? In diesem Fall würde die Norm nicht das Ergebnis der Untersuchung in den Vordergrund stellen.

Auch an anderer Stelle sind die technischen Normen verbesserungswürdig. So geben sie keinerlei Anweisungen zur Probenbeutelbehandlung direkt nach Entnahme aus dem Bioabfall. Das der Beutelinhalt für eine Auswertung mittels Siebung zuerst getrocknet werden

muss, wird in den Normen nicht erwähnt. Auch die Kompostierungsdauer von zwölf Wochen ist nicht praxisgerecht, da in großen Kompostierungsanlagen die vollständige Kompostierung auch in kürzerer Dauer sichergestellt werden muss. Ähnlich ungenau ist die Vorschrift der DIN EN Norm bei den verwendeten Siebdurchmessern. So kann bei einem verwendeten Siebdurchmesser von zwei Millimetern auch eine Probe durchfallen, die wesentlich länger ist, beispielsweise sogar mehrere Zentimeter lang.

Ein weiteres Ergebnis der Untersuchungen ist, dass die „Biologisch abbaubaren“ Produkte nur in Heißkompostierern kompostierbar sind. Sie tragen allerdings ein Siegel mit dem sie vor dem Verbraucher als kompostierbar deklariert werden. Dieser Verbraucher ahnt aber nicht, dass die Eigenschaft der Desintegration nur für Heißkompostieranlagen gültig ist. Da eine Kompostierung im eigenen Hauskompost keinerlei Wirkung auf die „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffe zeigt, wird der Verbraucher mit dem aufgedruckten Siegel in Deutschland regelrecht irreführt. In Deutschland erfolgt bisher keine Aufklärung darüber, wo diese Verpackungen kompostiert werden können, beziehungsweise, wie sie vom Verbraucher entsorgt werden sollen. Zumal von der Entsorgerwirtschaft eine deutliche Ablehnung signalisiert wird, beziehungsweise der Hinweis gegeben wird, dass zuerst über ein gesondertes System zur Sammlung und Entsorgung dieser Kunststoffe nachgedacht werden muss.

Hinzu kommt, dass Niemand weiß, wie hoch der Anteil von „Biologisch abbaubaren“ Kunststoffen im Bioabfall werden darf, damit die mikrobiologischen Prozesse innerhalb der Anlage nicht gestört werden.

Zudem wird bei den Herstellern der Kunststoffe immer von vollständiger „biologischen Abbaubarkeit nach DIN EN Norm 13432 gesprochen. Dass sich diese Norm einzig auf die Desintegration der Kunststoffe bezieht, wird nicht erwähnt. Aber ein Werkstoff, der in immer kleinere Partikel zerfällt, ist nicht gleichzusetzen mit einem „verschwundenen“ Werkstoff. Kleinstpartikel sind nach der Kompostierung teilweise noch vorhanden.

Ob „Biologisch abbaubare“ Kunststoffe umweltschonender sind oder nicht, ist nicht abschließend geklärt. So gibt es, wie schon in verschiedenen Kapiteln dieser Arbeit aufgeführt, zahlreiche Wirkungen „Biologisch abbaubarer“ Kunststoffe und Einflussfaktoren, die in eine solche Bewertung einfließen müssen. Ein umfassendes Bewertungssystem, das alle Faktoren berücksichtigt, gibt es jedoch bis heute nicht.

Die Schlussfolgerung des Umweltbundesamtes zum Thema „Biologisch abbaubare“ Kunststoffe ist eindeutig: Der Beitrag dieses Werkstoffes zu Klima und Ressourcenschutz muss noch weiter erforscht werden. Das Umweltbundesamt empfiehlt Müllvermeidung und

Mehrweglösungen. Kunststoff wird durch „Biologisch abbaubaren“ Kunststoff nur ersetzt, es erfolgt keine Reduktion des Verpackungsaufkommens. (Umweltbundesamt)

Aufgrund vieler ungeklärter Details im Bereich „Biologisch abbaubarer“ Kunststoffe ist anzunehmen, dass die Verwendung hierzulande vorerst nur als Nischenprodukt erfolgen wird. So könnte der Einsatz in bestimmten landwirtschaftlichen Bereichen durchaus sinnvoll sein. Letztendlich sollte je nach Produkt entschieden werden, ob eine Verwendung dieser Kunststoffe sinnvoll ist. Auch weil sich diese Art von Kunststoffen eher für kurzlebige Produkte eignen.

Trotz dieser Fakten dürfen Unternehmen ihre Produkte im Sinne des allgemeinen „Greenwashing“-Trends schon heute vermarkten. „Biologisch abbaubare“ Kunststoffe werden so als Marketinginstrument benutzt.

Persönliche Anmerkungen der Verfasserin:

Der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen in Deutschland zur Produktion wird hingegen sicher scheitern, da diese Art der Landwirtschaft in großen Teilen der Gesellschaft nicht toleriert wird und es generell eine steigende Unsicherheit gegenüber den lebensmittelherstellenden Betrieben gibt.

So wird es, was die ökologische Einstufung „Biologisch abbaubarer“ Kunststoffe betrifft, je nachdem welche Faktoren durch welche Interessengruppe gerade aufgeführt werden, zu einem für diese Interessengruppe passenden Ergebnis kommen. Man kann das ethische Problem der Flächennutzung betrachten, die Landschaftsvermüllung, den Rohstoffverbrauch, die falsche Verteilung von landwirtschaftlichen Subventionen, die steigenden Lebensmittelpreise in einigen Erdteilen, die erhöhte Nutzung von Monokulturen und Gentechnik und den damit steigenden Druck auf die heimische Tier und Pflanzenwelt, enthaltene Schadstoffe in Form von Additiven und vieles mehr: Letztendlich gibt es je nach Auslegung der zugehörigen Fakten im Punkt Umweltwirkung „Biologisch abbaubarer“ Kunststoffe je nach Einflussfaktor Gewinner und Verlierer. Ohne ein definiertes Bewertungssystem, welches alle Einflussfaktoren erfasst, ist weiterhin anzunehmen, dass einflussreiche Unternehmen, die öffentliche und politische Meinung über dieses Thema bilden werden.

Ogleich es fragwürdig ist, dass der Verbrauch von Kunststoff in Zukunft generell reduziert wird, ist die Verpackungsreduktion derzeit die einzig sichere Lösung, um viele mit Kunststoff einhergehende Probleme zu mindern. Sinnvoll ist einzig die Einsparung und die Optimierung von Verpackung

Die Kompostierung von Kunststoffen hingegen ist im Allgemeinen als kritisch zu betrachten. Das verwendete Material ist je nach Produkt noch verbesserungswürdig und auch dem „Keimling“ Siegel für Kompostierung ist eingeschränkte Gültigkeit zuzuweisen.

# Quellenverzeichnis

## Literaturquellen

BIERMAIER, Monika; WRBKA-FUCHSIG, Ilse: *Kompost und Düngung*. Wien: Österreichischer Agrarverlag Druck-und Verlagsges.m.b.H.Nfg.KG.2006

BUNDESMINISTERIUM für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:

Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen/  
(Verpackungsverordnung 1.4.2009)

ABTS, Georg: *Kunststoffwissen für Einsteiger*. München: Carl Hanser Verlag.2010

BINDLINGMAIER, Werner: *Biologische Abfallverwertung*. Stuttgart: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.2000

DIN EN 13432:Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbaubarkeit

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

HELLERICH, Walter; HARSCH, Günther; BAUR, Erwin: *Werkstoffführer Kunststoffe-Eigenschaften-Prüfungen-Kennwerte*. München: Carl Hanser Verlag.2010

JENKINS, W.A., Harrington, J.P: *Packaging Foods with Plastics*. Lancaster : Technomic Publishing Co. Inc.1991

OBERHOLZ, Andreas: *Kompost*. Bonn: Friedhelm Merz Verlag

PRETTING, Gerhard; BOOTE, Werner: *Plastic Planet-Die dunkle Seite der Kunststoffe*. Freiburg: Orange Press.2010

STREHLE, Gerd: *Lebensmittel verpacken*. Remagen-Rolandseck: Milchwirtschaftlicher Fachverlag GmbH. 1997.

TÄNZER, Wolfram: *Biologisch abbaubare Polymere*. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH&Co..2000

THOMPSON, Ken: *Kompost: natürliches Futter für ihren Garten*. München: Dorling Kindersley Verlag GmbH.2009

## Internetquellen

Abfallforum/ Recycling Technologie 11/2009:

[http://www.abfallforum.de/downloads/rt\\_kunststoffreiche\\_abfallstroeme\\_2009.pdf](http://www.abfallforum.de/downloads/rt_kunststoffreiche_abfallstroeme_2009.pdf) (letzter Abruf: 17.01.12)

awb-wetterau:

<http://www.awb-wetterau.de/awb/easyCMS/FileManager/Bilder/Entsorgungsanlagen/Kompostierung/Rottetunnel> letzter Abruf: 17.01.12

Biofutura:

(<http://www.bioeinwegartikel.de/bio-produkte/bio-schalchen.html>) (letzter Abruf. 13.01.2012)

Biopartygeschirr.de:

<http://www.biopartygeschirr.de/Media/Shop/ShopTextMedia/ok%20compost%20home.jpg> (letzter Abruf: 10.02.2012)

Forum Gesundheit:

[http://www.forumgesundheit.at/mediaDB/847913\\_Bio-Sackerl%20statt%20Jute\\_W\\_U\\_Keimling.jpg](http://www.forumgesundheit.at/mediaDB/847913_Bio-Sackerl%20statt%20Jute_W_U_Keimling.jpg) (letzter Abruf: 10.02.2012)

Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau:

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/>. (Letzter Abruf: 20.01.2012.)

Greenaction:

[http://www.greenaction.de/files/imagecache/fullimage/files/mitmachphotos/toter\\_Vogel\\_mit\\_Muell.jpg](http://www.greenaction.de/files/imagecache/fullimage/files/mitmachphotos/toter_Vogel_mit_Muell.jpg) (letzter Abruf: 10.2.2012)

Greenpeace:

<http://www.greenpeace.de/typo3temp/GB/10dd758df3.jpg> (letzter Abruf 13.03.12)

Spiegel:

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,712863,00.html> (letzter Abruf: 16.01.12)

TEXDEKO:

[www.textdeko.de/p/20408087/a-t-fliegengitter-meterware-in-weiß-insektenschutz](http://www.textdeko.de/p/20408087/a-t-fliegengitter-meterware-in-weiß-insektenschutz) (letzter Abruf: 12.01.12)

Umweltbundesamt:

Umweltbundesamt : <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3834.pdf> (letzter Abruf: 10.01.12)

Victorgroup:

<http://www.victorgroup.eu/de/produkte/schlaufentragetaschen-pe-biofolie>

Wer zu wem:

wer zu wem GmbH (o.J.a). Supermärkte. wer zu wem GmbH. <http://www.wer-zu-wem.de/handel/Supermaerkte.html>. Stand: 08.01.2012.

wer zu wem GmbH (o.J.b). Verbrauchermärkte. wer zu wem GmbH. <http://www.wer-zu-wem.de/handel/Verbrauchermaerkte.html>. Stand: 08.01.2012.

wer zu wem GmbH (o.J.c). Discounter. wer zu wem GmbH. <http://www.wer-zu-wem.de/handel/discounter.html>. Stand: 08.01.2012.

wer zu wem GmbH (o.J.d). Drogerien. wer zu wem GmbH. <http://www.wer-zu-wem.de/handel/Drogerien.html>. Stand: 08.01.2012.

## **Eidesstattliche Versicherung**

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.

Hamburg, den

\_\_\_\_\_