TUM: Junge Akademie
Ab ingenio ad excellentiam

Projektbericht
Biokompatible Verpackungen

Autoren: Jens Dodenhöft
Simon Heinze
Phillip Koppitz
Bettina Langer
Tutor: Karin Höglmeier
Mentor: Prof. Dr. Bertold Hock

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 3

2. Projektstruktur 6

2.1 Projektorganisation 6

2.2 Ziele des Projektes 6

2.3 Kooperationspartner 7

2.4 Zeitlicher Ablauf des Projekts 8

3 Theoretische Grundlagen zu Biokunststoffen 11

3.1 Kunststoffe 11

3.2 Biokunststoffe 12

3.2.1 Herstellung und Rohstoffe 13

3.2.2 Anwendung und Produktbeispiele 15

3.2.3 Vor- und Nachteile und Entwicklung 15

3.2.4 Gesetzliche Rahmenbedingungen 18

3.3 Kasseler Modellprojekt 19

4 Feldversuch 20

5 Umfrage zum Projekt 22

5.1 Statistische Auswertung 23

5.2 Mathematische Ausführungen 29

5.2.1. Berechnung der Konfidenzintervalle 29

5.2.2. Abhängigkeit der Konfidenzintervallgröße vom Stichprobenumfang 31

6.Handlungsempfehlungen 33

7. Zusammenfassung 34

8. Abbildungsverzeichnis 35

9. Tabellenverzeichnis 35

1 Einleitung

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts stellen die zunehmende Verknappung des Erdöls sowie der Klimawandel die Menschheit vor große Herausforderungen. Alternativen müssen gefunden werden, welche die Abhängigkeit vom Erdöl verringern und gleichzeitig eine nachhaltige Erzeugung von Produkten ermöglichen. Die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen auf Pflanzenbasis bietet eine derartige Alternative. Im Bereich der Kunststoffe kommt diesem Wandel besonders große Bedeutung zu. Daher standen im Projekt „Biokompatible Verpackungen“ des Projektjahrgangs 2011/2012 der *TUM: Junge Akademie* die sogenannten Biokunststoffe im Fokus. Die Projektgruppe setzte sich aus vier Studierenden biowissenschaftlicher und ingenieurswissenschaftlicher Studiengänge, einer Alumna der TU München als Tutorin sowie einem emeritierten Professor als Schirmherr und Betreuer zusammen. Das Ziel des Projekts war es, den Bekanntheitsgrad von Biokunststoffen zu erhöhen und ihre Verwendung im unmittelbaren Umfeld der Studierenden zu fördern.

„Plastik vom Acker“ – unter diesem Titel beleuchtete die Süddeutsche Zeitung im Januar 2012 [1]die Vor- und Nachteile der Biokunststoffe. Dies zeigt, dass die neuen Verpackungsmaterialien nicht unumstritten sind. Besonders kritisch gesehen wird die Tatsache, dass sich – ähnlich wie beim Biotreibstoff - eine Konkurrenzsituation zur Nahrungsmittelproduktion ergeben kann. Die Ackerflächen, auf welchen Pflanzen zur Kunststoffproduktion angebaut werden, stehen nicht mehr für die Erzeugung von Lebensmitteln zur Verfügung. Auch die oft beworbene Kompostierbarkeit vieler Biokunststoffe ist nicht zwangsläufig als positiv zu bewerten, da beim biologischen Abbau dieser Materialien keine verwertbaren Stoffe entstehen, sondern die Bioplastik in Kohlenstoffdioxid und Wasser aufgespalten wird.

Diesen negativen Aspekten der Biokunststoffe stehen jedoch zwei gewichtige Argumente entgegen, die auch den Ausschlag für die Durchführung dieses Projekts gaben: Biokunststoffe verursachen, verglichen mit Kunststoffen auf petrochemischer Basis, weniger CO_2-Emissionen und verbrauchen bedeutend weniger fossile Ressourcen. 2012 veröffentlichte das Nova-Institut eine Meta-Analyse von Ökobilanzen für bio-basierte Polymere. Hierin wird das folgende Fazit gezogen*:*

[1] Süddeutsche Zeitung, 04.01.2012, 68. Jahrgang, Nr. 3, Seite 11

„Die Herstellung bio-basierter Polymere bietet ökologische Vorteile gegenüber der Herstellung petrochemischer Kunststoffe: Der Ausstoß an Treibhausgasen und ebenso der Verbrauch fossiler Ressourcen werden verringert.“. [2]

Dass der Verbrauch fossiler Ressourcen bei Biokunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffen geringer ist als bei petrochemischen Kunststoffen liegt auf der Hand – schließlich werden hier fossile Rohstoffe nur als Energiequelle benötigt, z. B. beim Anbau der biogenen Rohstoffe in der Landwirtschaft und während ihrer Weiterverarbeitung. Das erheblich niedrigere Treibhauspotenzial der Biokunststoffe ergibt sich aus der Tatsache, dass die Pflanzen, welche als Rohstoff dienen, während ihres Wachstums CO_2 binden (siehe auch Abb. 1).

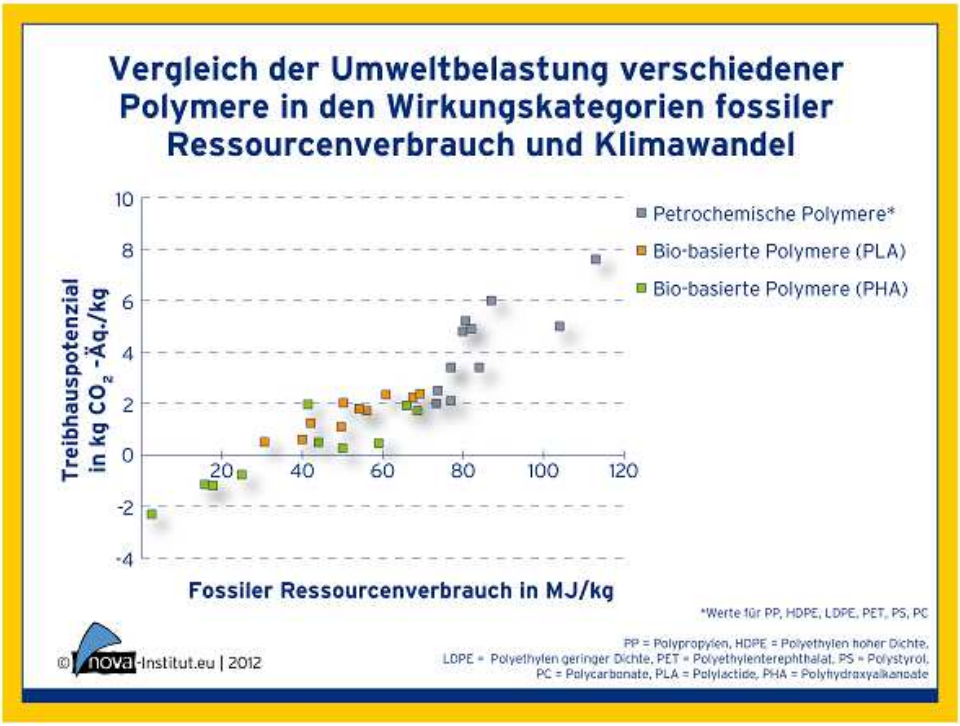

Abbildung 1: Vergleich der Umweltbelastung durch die Produktion bio-basierter und petrochemischer Polymere in den Wirkungskategorien fossiler Ressourcenverbrauch und Klimawandel

Auch die oben genannten negativen Aspekte der Biokunststoffe werden voraussichtlich zukünftig in den Hintergrund rücken. Die Konkurrenzsituation zur

[2] Essel, R., Carus, M.: Abschlussbericht der Studie: Meta-Analyse von Ökobilanzen für bio-basierte Polymere in der Produktion von Proganic®, für Proganic GmbH & Co. KG, vorgelegt von nova-Insitut GmbH, Hürth, **5. März 2012**

Lebensmittelproduktion lässt sich dadurch vermeiden, dass statt Stärke vermehrt Cellulose als Ausgangsstoff eingesetzt wird, die ohnehin in Koppelprodukten der landwirtschaftlichen Nahrungsmittelproduktion (z. B. Stroh bei der Getreideerzeugung) enthalten ist. Die bisher wenig gewinnbringende Entsorgung der Biokunststoffe wird mit zunehmenden Marktanteilen der Biokunststoffe dem dann lohnenden Recycling weichen. Diese positiven Entwicklungen sind vor allem dann zu erwarten, wenn Biokunststoffe sich vermehrt im Alltag durchgesetzt haben und ökologischen Vorteile den Kunden bewusst werden.

Aus diesen Gründen setzte sich die Projektgruppe „Biokompatible Verpackungen“ für den verstärkten Einsatz von Biokunststoffen ein. Nicht nur sind durch Fortschritte im Bereich des Recyclings und der Verwendung der Cellulose Lösungen für die momentan kritisch betrachteten Eigenschaften der Biokunststoffe zu erwarten, sondern auch die bereits realen ökologischen Vorteile dieser Materialien machen Biokunststoffe zu einem zukunftsträchtigen und unterstützungswürdigen Werkstoff.

2. Projektstruktur

2.1 Projektorganisation

Zur Bearbeitung und Durchführung dieses Projektes hat sich unsere Projektgruppe, bestehend aus vier Studenten unterschiedlicher Fachrichtungen, einer Alumna der TU München als Tutorin sowie einem emeritierten Professor als Schirmherr und Betreuer, zusammengetan. Zwei von uns Studenten studieren am Wissenschaftszentrum Weihenstephan und zwei haben ihren Studienschwerpunkt im Bereich der Ingenieurwissenschaften. Die Tutorin und unser betreuender Professor waren uns mit inhaltlichen und organisatorischen Hilfestellungen stets eine große Unterstützung. Es war eine enorme Erleichterung, solch engagierte Betreuung zu genießen.

Zu Beginn der Projektphase wurden ein Projektleiter sowie ein Schatzmeister bestimmt. Aufgrundunserer flachen Hierarchien war die Arbeit jedoch immer auf alle Schultern gleichmäßig verteilt. Zur Strukturierung unseres Vorhabens verfassten wir einen Projektablaufplan, einen Projektstrukturplan und einen Finanzplan. Die Pläne wurden bei der Geschäftsleitung der *TUM: Junge Akademie* vorgelegt. Zum besseren Informationsaustausch richteten wir uns einen Blog bei Google sowie einen gemeinsamen Account bei Dropbox ein. Damit waren die Kommunikation untereinander und der Datenaustausch an zwei Orten konzentriert. Über den Blog wurden jeden Montag die neuesten Ergebnisse und Entwicklungen zusammengetragen.

2.2 Ziele des Projektes

Aus dem sehr allgemeinen Thema „Biokompatible Verpackungen“ kristallisierten sich zu Beginn der Projektarbeit zwei Hauptziele dieser Arbeit heraus. Das Projekt sollte nicht rein theoretischer Natur sein, weshalb entschieden wurde, die biokompatiblen Verpackungen direkt zu den Menschen zu bringen. Die Überlegung war, durch einen Feldversuch an Einrichtungen des Studentenwerkes die herkömmlichen Verpackungen durch biokompatible zu ersetzen und viele Studenten sowie Mitarbeiter der Universitäten und Hochschulen mit derartigen Verpackungen in Berührung zu bringen. Über solch einen Feldversuch können gleichzeitig

Informationen zu den verwendeten Materialien verbreitet werden. Das zweite Hauptziel war die Durchführung einer Umfrage zum Projektthema, um den Informationsstand der Befragten und deren Einstellung gegenüber biokompatiblen Verpackungen zu erfahren.

2.3 Kooperationspartner

Unser Projekt wurde von verschiedenen Kooperationspartnern und unserem Auftraggeber, der *TUM: Junge Akademie* begleitet. Die *TUM: Junge Akademie*, hauptsächlich vertreten durch ihre Geschäftsleitung und namentlich Frau Rietz-Leiber, stand uns zur Seite, wann immer es möglich war und regelte unsere finanzielle Unterstützung. Der wichtigste Kooperationspartner war das Studentenwerk München. Der Promotor seitens des Studentenwerkes war zweifelsohne der Leiter der Abteilung Hochschulgastronomie, Herr Fricke. Durch ihn war es möglich, mit verschiedenen Bereichen des Studentenwerkes, wie dem Einkauf oder der Abteilung für Öffentlichkeitsarbeit, zusammenzuarbeiten und unser Projekt zu verwirklichen. Mitgeholfen haben auch die Mitarbeiter der drei Cafeterien Audimax, Pasing und Weihenstephan, wo die Umstellung der Verpackungen stattgefunden hat, sowie Ingo Wachendorfer, der Pressesprecher des Studentenwerks. Ihnen allen sei an dieser Stelle für die Unterstützung unseres Projekts gedankt.

Weitere Förderer waren der Verein C.A.R.M.E.N. e.V. und das Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung in Freising. Frau Dr. Bettina Schmidt von C.A.R.M.E.N. e.V. in Straubing hielt einen sehr informativen Vortrag zu den Eigenschaften verschiedener Bioplastiken und deren Marktsituation und konnte uns viele Fragen beantworten. Ebenso konnte ein Teil des Informationsmaterials für den Infostand am Stammgelände über Frau Dr. Schmidt bezogen werden.

Das Fraunhofer-Institut besichtigten wir selbst und bekamen bei einer Führung Einblicke in die aktuellen Forschungsthemen sowie weitere Informationen im Bereich verschiedensterVerpackungen.

2.4 Zeitlicher Ablauf des Projekts

In diesem Abschnitt soll der chronologische Ablauf unserer Projektarbeit zusammengefasst dargestelltwerden.

Herbst 2011

Nachdem sich unsere Projektgruppe im Sommer 2011 zusammengetan hatte und das Thema der biokompatiblen Verpackungen in seinen Umrissen feststand, war der erste große Meilenstein das Projektmanagement-Seminar im September. Hier kristallisierten sich konkrete Ideen heraus, die im Verlauf dieses Jahres umgesetzt wurden. Danach begann die allgemeine Recherche zu biokompatiblen Materialien und die Strukturierung unserer Unternehmung wurde angegangen. Im darauf folgenden Oktober begannen wir bereits die Produkt-, Normen- und Gesetzesrecherche, um uns in das Thema konkret einzuarbeiten. Weiterhin fand die erste Kontaktaufnahme mit dem Studentenwerk statt und der Versuch, weitere Partner, wie beispielsweise Recycling- und Biomüll- Unternehmen zu gewinnen, wurde gestartet. Auf dem Jahresabschlusstreffen der *TUM: Junge Akademie* stellten wir unser Vorhaben den anderen Mitgliedern vor. Ebenfalls besuchten wir im Herbst das Fraunhofer Institut in Freising. Im November wurde unser Projektmanagement durch die Fertigstellung des Projektablaufplans, des Projektstrukturplans und des Finanzplanes konkretisiert. Außerdem ging ein offizieller Projektantrag an das Studentenwerk. Die Suche nach Entsorgungsfirmen für eine Kooperation musste leider erfolglos aufgegeben werden. Alles in allem war der Herbst eine sehr erfolgreiche Zeit, in der wir viel für unser Projekt anstoßen und bewirken konnten.

Winter 2011/12

Der Dezember begann mit einem kleinen Rückschlag für unser Projekt. Eine Neufassung der Bioabfallverordnung, die die Kompostierung von Verpackungsmaterialien untersagt, wurde angekündigt. Nur noch die bisher schongebräuchlichen kompostierbaren Plastiksäcke für den Biomüll dürfen in Zukunft kompostiert werden. Da die Kompostierbarkeit jedoch nur einer von mehreren Vorteilen der biokompatiblen Verpackungen ist, war durch diese gesetzliche Neuregelung das Projekt zwar betroffen, musste jedoch keinesfalls grundsätzlich in Frage gestellt werden.

Mit dem Studentenwerk entwickelte sich ein reger Austausch, der die Durchführung unseres Vorhabens, herkömmliche Verpackungen zu ersetzen, immer greifbarer machte. Folglich erarbeiteten wir eine konkrete Produktpalette, die so gut wie alle herkömmlichen Verpackungen, die bisher in den Cafeterien des Studentenwerks verwendet wurden, ersetzen konnte. Diese schickten wir im Januar zur Abstimmung an die Einkaufsabteilung des Studentenwerkes. Im selben Monat fanden das Treffen mit Frau Dr. Schmidt von C.A.R.M.E.N. e.V. und erste Überlegungen zur Marketingstrategie sowie die Kontaktierung der Abteilung für Öffentlichkeitsarbeit des Studentenwerkes statt. Ende Januar war die erste Hälfte unserer Projektzeit vorüber und ein Zwischenbericht vor dem Advisory Board der *TUM: Junge Akademie* stand an. Der Februar brachte hauptsächlich die Fertigstellung der Poster und Flyer für das Studentenwerk und die Entscheidung mit sich, eine Umfrage durchzuführen und eine Art Messestand für einen Tag zu betreiben, um die Studenten der TUM über biokompatible Verpackungen zu informieren. Der Austausch mit der Einkaufsabteilung des Studentenwerkes ging unterdessen weiter, um die bestmöglichen Ersatzprodukte zu finden.

Frühjahr 2012

Zu Beginn des Frühlings stand fest, welche Produkte konkret ausgetauscht werden sollten. Die Bestellung der zukünftig verwendeten biokompatiblen Verpackungen übernahm das Studentenwerk selbst. Außerdem wurde das Öffentlichkeitsarbeitskonzept fertig ausgearbeitet, hauptsächlich bestehend aus Postern und Flyern in den Cafeterien, einem Artikel in der Zeitschrift „Servus“ des Studentenwerks, einem Eintrag auf der Homepage des Studentenwerkes und einer Pressemitteilung. Außerdem wurden die Inhalte einer Umfrage erarbeitet. Zur Durchführung der Online-Umfrage wurde von uns die Domain „www.biokompatible-verpackungen.de“ angemietet. Ziel war es, die Meinung und den Kenntnisstand zu Bioplastiken sowie die grundsätzliche Bereitschaft eventuelle Preissteigerungen durch den Einsatz von Bioplastiken zu übernehmen, abzufragen. Der April beinhaltete zudem das wohl wichtigste Datum des gesamten Projektes. Am 16. April 2012 startete der Feldversuch in den bereits erwähnten Cafeterien und wurde das komplette Sommersemester 2012 über durchgeführt. Nach dem erfolgreichen Start des Feldversuchs organisierten wir im Mai unseren Infostand, für den ein

Veranstaltungsort und verschiedenste Informationsmaterialien benötigt wurden. Zudem fand ein Treffen aller Projektgruppen der *TUM: Junge Akademie* statt.

Sommer 2012

Der aktive Projektsommer war kürzer als die anderen Abschnitte, da ab Juli die Dokumentation unseres Projektes begann. Im Juni wurde die Online-Umfrage gestartet, wozu mehrere E-Mail-Verteiler der studentischen Vertretungen und der Verwaltung der TUM genutzt wurden. Desweiteren führten wir am 22. Juni einen Infostand vor der Immatrikulationshalle der TU München in der Arcisstraße durch. Zusätzlich befragten wir die dortigen Passanten mittels einer Druckversion der Online-Umfrage. Der Feldversuch lief zu diesem Zeitpunkt noch und wir konnten anhand von kursierenden biokompatiblen Kaffeebechern mit Deckeln und weiteren Produkten eine erfolgreiche Umstellung der Verpackungen in der Cafeteria am Audimax erkennen.

3 Theoretische Grundlagen zu Biokunststoffen

3.1 Kunststoffe

Kunststoffe werden aufgrund ihrer guten und variablen Eigenschaften und Verarbeitungsmöglichkeiten und der in der Regel niedrigen Kosten heutzutage häufig und in den verschiedensten Bereichen genutzt. Bisher werden die meisten Kunststoffe aus fossilen Rohstoffen wie Erdöl oder Erdgas hergestellt und unterliegen somit auch deren Preisschwankungen. Weltweit beträgt die jährliche Produktionsmenge dieser Kunststoffe über 200 Mio. Tonnen. Ein wichtiger Aspekt des Massenmarkts der Kunststoffe ist das Entsorgungsproblem. Von den bisherigen Möglichkeiten der Kunststoff-Entsorgung bietet keine eine ideale Lösung. Deponien besitzen nur begrenzte Kapazitäten, bei der Verbrennung wird das in den Rohstoffen gebundene fossile CO_2 freigesetzt und mit dem Recycling sind oft hohe Kosten und beträchtliche Qualitätseinbußen verbunden. Momentan sollte das Ziel deshalb sein, möglichst wenig Kunststoff-Müll zu verursachen und wenn möglich auf nachwachsende Rohstoffe umzusteigen. Besonders kritisch ist auch zu sehen, dass ein Teil der Kunststoffe nicht über die vorgesehenen Wege entsorgt wird, sondern in der Umwelt landet und dort zu Problemen führt. Als Beispiel sei hier die Verschmutzung der Weltmeere mit Plastikmüll angeführt, die den Meeresorganismen schadet.

Man unterscheidet unter anderem zwischen duroplastischen Kunststoffen, die nach der Formgebung nicht mehr verändert werden können, und thermoplastischen Kunststoffen, die immer wieder aufgeschmolzen und plastifiziert werden können. Somit ist es bei letzterer Variante möglich, das Material umzuformen oder zu schweißen. Duroplastische Kunststoffe spielen, vor allem bei den Biokunststoffen, eine untergeordnete Rolle.

3.2 Biokunststoffe

Zu den ersten entwickelten Kunststoffen gehörten die „Biokunststoffe“ Celluloid, das um das Jahr 1869 auf den Markt kam, aus Cellulose und Campher bestand und z.B. für Billardkugeln, Brillengestelle und Kämme verwendet wurde, aber leicht entflammbar war, und Zellglas. Letzteres war glasklar und konnte als Folie verwendet werden. Seine Massenproduktion startete 1923. Allerdings war es teuer, wasserempfindlich und –durchlässig. Die weitere Entwicklung brachte vor allem Kunststoffe hervor, die auf fossilen Rohstoffen basierten. Erst ab 1980 gewann die Forschung und Entwicklung im Bereich der Biokunststoffe wieder an Bedeutung. Heute machen Biokunststoffe nach wie vor nur einen sehr geringen Anteil aller Kunststoffe aus, zeigen aber ein starkes Wachstum (siehe Abbildung 2).

Biokunststoffe können biologisch abbaubar sein, aber auch eine lange Lebensdauer aufweisen. Abbaubare Produkte werden bei industrieller Kompostierung in Wasser und CO_2 zersetzt, wobei die freigesetzte Kohlendioxidmenge nur der entspricht, die durch die Pflanzen beim Wachstum aufgenommen wurde. Außerdem wird es mit der immer weiter fortschreitenden Erschöpfung der fossilen Rohstoffquellen zunehmend wichtig, den Verbrauch dieser Rohstoffe zu reduzieren und von ihnen unabhängig zu werden. Es gibt jedoch auch biologisch abbaubare Kunststoffe, die vollsynthetisch sind und teils sogar vollständig aus fossilen anstatt nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Andererseits ist es beispielsweise bereits gelungen den „herkömmlichen“ Kunststoff PE über das Zwischenprodukt Ethanol aus nachwachsenden Rohstoffen herzustellen.

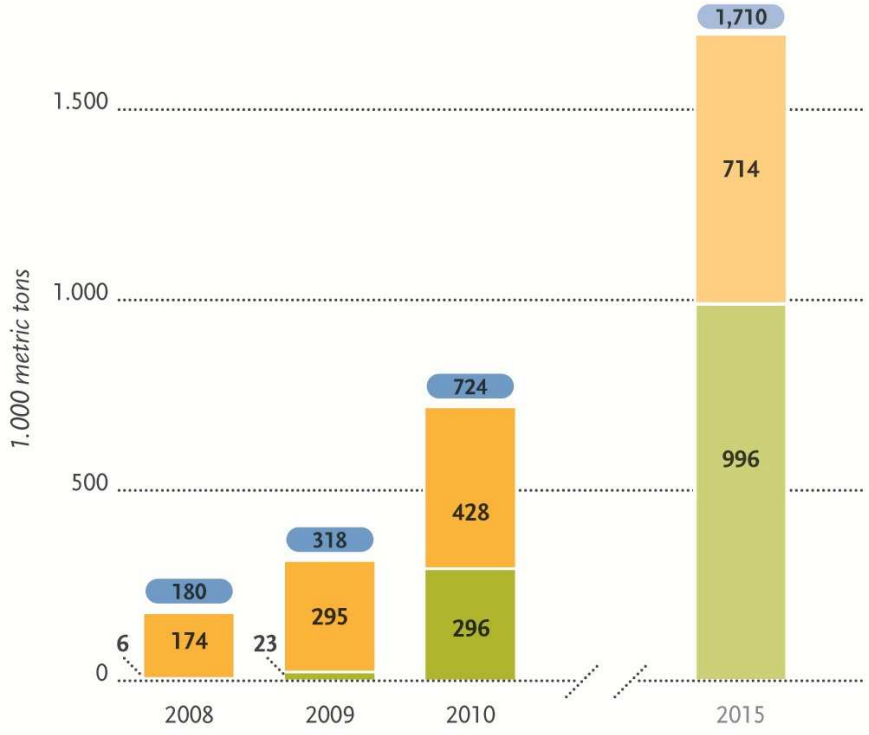

Abbildung 2 Abbildung 3: Weltweite Produktionskapazitäten von Bioplastiken. Eingetragen sind die Kapazitäten für bioabbaubare (inkl. nicht biobasierte) Kunststoffe in Orange (■), für nicht-bioabbaubare (biobasierte) in Grün (■), die totalen Kapazitäten in Blau (■) und die geschätzten Werte für 2015 in blasseren Farbtönen (■,■,■).[3]

3.2.1 Herstellung und Rohstoffe

Für die Herstellung von Biokunststoffen können verschiedene Rohstoffquellen und Grundbestandteile genutzt werden. Die Agrarrohstoffe werden über chemische Grundstoffe und Zwischenprodukte zu Granulaten und Fasern verarbeitet, aus welchen schließlich die Endprodukte hergestellt werden. Die drei wichtigsten Rohstoffe sind hierbei Stärke, Cellulose und Zucker. Am wichtigsten ist der Pflanzenspeicherstoff Stärke, der weltweit verfügbar ist und ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis bietet. Die Gewinnungsverfahren aus Kartoffeln, Weizen, Mais und anderen Pflanzenteilen sind darüber hinaus schon bekannt. Um aus diesem Rohstoff den Biokunststoff „thermoplastische Stärke“ zu erhalten, werden natürliche Weichmacher und Plastifizierungsmittel zugesetzt und die Mischung mit einem Extruder, einer speziellen Mischmaschine, zu Granulat weiterverarbeitet. Das Material besitzt die Eigenschaft Wasser aufzunehmen, jedoch können andere Polymerkomponenten zugegeben werden, durch die ein wasserfestes Endprodukt

[3] European Bioplastics, University of Applied Sciences and Arts Hanover (Stand: Mai 2011)

entsteht. Der gleiche Effekt kann auch durch chemische Modifikation der Stärke erzielt werden. Mit dieser Methode sind aber hohe Kosten verbunden.

Auch der Rohstoff Cellulose kann aus Pflanzen, die meist große Mengen enthalten, gewonnen werden. Üblicherweise wird für die Kunststoffe Baumwolle als Rohstoffquelle genutzt. Jedoch sind chemische Verfahren nötig, um unerwünschte Begleitstoffe abzutrennen und die Cellulose wird modifiziert verwendet. Aus Cellulose-Kunststoffen werden z.B. Folien, Werkzeuggriffe, bruchsichere Sportbrillen und Lichtkuppeln gefertigt. Sie sind in der Regel witterungsbeständig, transparent, zäh-elastisch und thermoplastisch.

Schließlich kann zum Teil Zucker aus Zuckerrüben oder Zuckerrohr statt Stärke verwendet werden. Bei Zucker besteht jedoch eine große Konkurrenz zu anderen Anwendungen, vor allem da inzwischen auch der Verbrauch durch die Biotechnologie stark gestiegen ist. Weitere natürliche Rohstoffe, die aber keine große Rolle spielen, sind Casein, ein Protein aus Magermilch, Chitin, Gelatine, Pflanzenöle und Proteine aus Getreide.

Ein sehr wichtiger Grundstoff für die Biokunststoff-Produktion ist die Milchsäure. Diese wird durch Fermentation aus Zucker oder Stärke gewonnen und zur Polymilchsäure (Polylactid, PLA) polymerisiert. Von der Säure gibt es zwei Formen (D und L), welche einzeln oder vermischt verknüpft werden können, wodurch bereits eine Variabilität der Eigenschaften gegeben ist. Hierzu muss die Reinheit der Ausgangsstoffe allerdings gewährleistet werden können, was sehr aufwändig ist. Bei der Polymerisation können zudem noch andere Grundstoffe zugegeben werden. Insgesamt können die Produkte schnell bis kaum abbaubar sein, weisen eine hohe Festigkeit, Transparenz und Thermoplastizität auf und können gut auf den in der Kunststoff-Industrie bereits vorhandenen Anlagen verarbeitet werden. PLA kann kostengünstig produziert werden, ist den gängigen Kunststoffen sehr ähnlich und wird in den verschiedensten Formen verwendet, z.B. als Folie, Dosen, Becher, Flaschen und Autoteile.

Auch Polyhydroxybuttersäure (PHB) oder andere Polyhydroxyfettsäuren werden als Zwischenprodukte hergestellt und genutzt, um Biokunststoffe zu produzieren. Sie werden in reiner Form oder als Copolymere verwendet und liefern klare Filme mit interessanten mechanischen Eigenschaften.

3.2.2 Anwendung und Produktbeispiele

Für duroplastische Biokunststoffe gibt es wenige Anwendungen. Einige Beispiele sind Produkte auf Stärkebasis, wie z.B. geschäumte Chips oder Formteile wie Obstschalen und Zigarettenfilter, die nach Befeuchten klebaktiv sind. Thermoplastische Biokunststoffe sind in der Verarbeitung und Anwendung viel flexibler, können mit dem Extruder verarbeitet, mit weiteren Komponenten vermischt, geschäumt, geschweißt und geklebt werden. Aus Biokunststoffen kann so beispielsweise eine Vielzahl von Verpackungen hergestellt werden. Unter anderem gibt es Tragetaschen, Biomüllbeutel, Schalen für Obst und Gemüse, Joghurtbecher, Flaschen, Tuben und Dosen. Die Biokunststoffe weisen hier eine Sperrwirkung, Aromadichte und gute Maschinengängigkeit auf.

Biokunststoffe werden oft für kurzlebige Produkte wie im Bereich des Caterings oder Garten- und Landschaftsbaus als sinnvoll angesehen, da hier eine kurze und eventuell genau eingestellte Lebensdauer von Vorteil sein kann. Dieses Argument gilt auch für die Medizin, in der Implantate oder Fäden, die sonst wieder entnommen werden müssten, in abbaubarer bzw. resorbierbarer Form weitere Operationen überflüssig machen könnten. Allerdings muss hier eine sehr hohe Qualität erreicht werden. Wasserdichte Biokunststoffe, die jedoch Wasserdampf durchlassen und somit atmungsaktiv sind, können darüber hinaus für Hygieneprodukte wie Windeln von Nutzen sein.

3.2.3 Vor- und Nachteile und Entwicklung

Aktuell sind Biokunststoffe noch doppelt bis vier Mal so teuer wie herkömmliche Kunststoffe. Dies liegt aber auch daran, dass die Forschung und Entwicklung in diesem Bereich noch jünger ist und die Produktionsmengen gering sind. Ein ausschlaggebender Aspekt bei der Entwicklung ist, dass eine Produktion und Verarbeitung mit den konventionellen Maschinen der Kunststoff-Industrie möglich sein sollte, um eine Umstellung lohnenswert zu machen. Solange die produzierten Mengen noch nicht ausreichen, um in direkte preisliche Konkurrenz zu fossilen Kunststoffen zu treten, ist es wichtig, dass versucht wird, eigene Märkte zu erschließen. Insgesamt wird die weitere Entwicklung im Bereich der Biokunststoffe aber auch von den positiven Rahmenbedingungen abhängig sein. Dazu gehören die gesetzlichen Regelungen, die Entwicklung des Ölpreises und die Forschung und Entwicklung im Bereich der Biokunststoffe. Einen großen Vorteil würde es

beispielsweise bringen, wenn es gelänge, Rohstoffe aus bisher ungenutzten Pflanzenteilen zu gewinnen. Dadurch würden mehr und vor allem preisgünstige Rohstoffquellen erschlossen und die Konkurrenz zu anderweitigen Nutzungen nachwachsender Rohstoffe würde abnehmen.

Bezüglich der Entsorgung gilt es zu bedenken, dass Biokunststoffe niedrigere Brennwerte aufweisen als Kunststoffe aus fossilen Rohstoffen und somit bei der thermischen Verwertung weniger Energie freigesetzt wird. Ein stoffliches Recycling ist bei den langlebigen Biokunststoffen prinzipiell möglich, wird aber erst bei größeren Mengen relevant und führt dann zu den allgemeinen Problemen des Recyclings wie der Notwendigkeit der Sortierung verschiedener Materialien und dem „Downcycling“, d.h. Qualitätseinbußen zu denen es beim Recycling durch Vermischung mit Fremdstoffen bzw. anderen Kunststoffen kommt. Die Kompostierung kann bei abbaubaren Biokunststoffen neben dem eventuell nicht ausreichenden Abbau unter industriellen Bedingungen und der Frage nach Kompatibilität mit den vorhandenen Anlagen auch aufgrund der Additive und zugesetzten anderen Polymere problematisch sein, da sie fast nie zu 100% aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen. Außerdem entstehen bei der Zersetzung keine wertbringenden Kompostbestandteile.

Der gesamte Beitrag von Biokunststoffen zum Klima- und Ressourcenschutz ist bisher noch nicht vollständig und ausreichend erforscht und ist unter anderem abhängig vom Rohstoff, dem Fertigungsprozess und der Anwendung. Sinnvoll wären Ökobilanzen nach den entsprechenden Normen, die jedoch auch für jede Produktkategorie einzeln erstellt werden müssten. Wie oben beschrieben wird aus Biokunststoffen direkt kein langfristig gebundenes CO_2 wie aus fossilen Rohstoffen freigesetzt, aber es müssen auch die Energie, z.B. in Form von Treibstoff, die in die Landwirtschaft und Herstellung gesteckt wird, und die Zusätze, die nicht aus nachwachsenden Rohstoffen stammen, beachtet werden.

Als guter Grund für die Umstellung auf Verpackungen aus Biokunststoffen kann in der heutigen Zeit das damit verbundene Image der Nachhaltigkeit, „Natürlichkeit“ und Innovativität sein, das bei Kunden in der Regel positiv wirkt und sogar zur Akzeptanz höherer Preise führen kann. Es sollte aber bedacht werden, dass ein Teil der Kunden Bedenken hat, dass Biokunststoffe kein gleichwertiger Ersatz für

herkömmliche Kunststoffen sein können und mit Mängeln rechnen. Diesen Bedenken sollte man durch gut vermittelte Informationen entgegenwirken. Für bestimmte Produkte kann darüber hinaus sogar ein Vorteil erreicht werden, wenn Biokunststoffe als Verpackung verwendet werden. So weisen die Biokunststoffe aufgrund ihrer Polarität teils bessere Gasbarriere-Eigenschaften auf als die bisher gängigen Kunststoffe, welche die Haltbarkeit von Lebensmitteln verlängern können. Zudem sind sie dadurch auch gut bedruckbar und verhalten sich antistatisch.

Ein weiteres Thema, das in Bezug auf Biokunststoffe ebenso wie bei Biotreibstoffen oft angesprochen wird, ist die Konkurrenz zu Nahrungs- und Futtermitteln. Es ist richtig, dass für die Produktion bisher vor allem Pflanzenteile als Rohstoffe interessant sind, die auch anderweitig genutzt werden, wie Kartoffeln und Weizen. Zudem wäre es momentan unrealistisch, alle herkömmlichen Kunststoffe durch Biokunststoffe zu ersetzen und die Rohstoffe hierfür aus der Landwirtschaft zu beziehen. Jedoch könnte die Steigerung der Biokunststoff-Produktion zunächst Einkommensalternativen für die Landwirtschaft, auch in Deutschland, bieten. Eine später eventuell nötige Intensivierung zur Bereitstellung ausreichender Rohstoffmengen könnte jedoch schädlich für Klima und Umwelt sein. In Anbetracht dieser Tatsache ist besonders die Erforschung von Cellulose als Ausgangsmaterial für die Produktion von Biokunststoffen von großer Bedeutung, da dieser Stoff nicht für die Erzeugung von Lebensmitteln verwendet wird und in der Landwirtschaft in großen Mengen (z.B. in Form von Stroh) anfällt.

3.2.4 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Für Biokunststoffe relevante Regelungen sind unter anderem das Kreislaufwirtschaftsgesetz, das besagt, dass bei der Herstellung und Verwendung von Produkten Abfall vermieden und eine umweltverträgliche Verwertung und Beseitigung sicher gestellt werden soll. Die Norm EN 13432 regelt, mit welchen Verfahren Materialien zu prüfen sind, um sie als biologisch abbaubar registrieren zu können. In Deutschland ist DIN CERTCO dafür zuständig. Registrierte Produkte können mit dem Kompostierbarkeitslogo gekennzeichnet werden (siehe Abbildung 2), welches besagt, dass sie innerhalb von 6-12 Wochen in industriellen Kompostierungsanlage vollständig abgebaut werden. Ergänzend existieren weitere nationale und internationale gesetzliche Rahmenbedingungen.

Abbildung 4: Logo zur Kennzeichnung biologisch abbaubarer Materialien

Gemäß der Deutschen Verpackungsverordnung gilt aktuell eine Regelung für kompostierbare Kunststoffverpackungen, nach der diese befristet von den üblichen Pflichten der Rücknahme und Wiederverwertung befreit sind, bis eine ausreichende Menge von Verpackungen auf dem Markt ist. Diese Befreiung besteht jedoch nur noch bis Ende 2012. Darüber hinaus könnte für die weitere Entwicklung im Bereich der Biokunststoffe die Änderung der Bioabfallverordnung, die seit Sommer 2012 gilt, wichtig sein. Während nach der alten Verordnung die laut Norm abbaubaren Kunststoffe zu den Bioabfällen zählten und deshalb z.B. über die Biotonne entsorgt werden durften, ist in der neuen Fassung ausdrücklich geregelt, dass dies für Verpackungen nicht gilt. Ausnahmen bestehen nur noch für Biomüllsäcke aus Biokunststoffen, die weiterhin über die Biotonne entsorgt werden können. Dies sollte aber nicht als Rückschlag angesehen werden. Die Entsorgung über die Biotonne ist bei Verpackungen aufgrund technischer Schwierigkeiten, der schweren Unterscheidung von normalen Kunststoffen bei der Sortierung des Mülls und der

teils nicht ausreichenden Zersetzung in der kompostierten Dauer problematisch, so dass der Entsorgungsweg der Kompostierung auch vor Inkrafttreten der neuen Verordnung in vielen Fällen nicht als gute Lösung angesehen wurde. Ziel muss vielmehr die Entwicklung langlebiger, recyclingfähiger Biokunststoffe sein.

3.3 Kasseler Modellprojekt

Von 2001 bis Ende 2002 wurden in Kassel im Rahmen eines Modellprojektes, das durch die Wirtschaft und das Bundesministerium für Ernährung,Landwirtschaft und Verbraucherschutz gefördert wurde, kompostierbare Verpackungen getestet. Es ging um Fragen der Verbraucherakzeptanz und der Verwertung von Biokunststoffen über die Biotonne. Die Ergebnisse des Projektes zeigten, dass die Kreislaufwirtschaft von Biokunststoffen in Form eines dezentralen Sammelsystems und der Kompostierung in technischen Anlagen funktioniert. Die Mitbenutzung der Biotonne für kompostierbare Verpackungen versprach laut dieser Untersuchung gegenüber dem Recycling konventioneller Verpackungskunststoffe einen deutlichen Entsorgungskostenvorteil. In den Bericht kamen aber kaum die Probleme vor, die sonst in Bezug auf die Kompostierung genannt werden.

Kontakte und Quellen

- European Bioplastics: Branchenverband industrieller Hersteller, Verarbeiter und Anwender von Biokunststoffen und biologisch abbaubarer Werkstoffen, sowie daraus hergestellter Produkte; Förderer der Markteinführung; www.en.european-bioplastics.org
- Centrale-Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk (C.A.R.M.E.N.) e.V.
- Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR): www.nachwachsende-rohstoffe.de
- Informationen zum Modellprojekt Kassel: www.modellprojekt-kassel.de
- Informationen zum Thema Biofolien in Form von Fragen und Antworten eines Expertengremiums: www.organic-plastics.com
- Informationen zum Thema Biokunststoffe: www.bio-plastics.org
- Informationen zu Zertifizierung und Registrierung: DIN CERTCO, www.dincertco.de

4 Feldversuch

Um mehr über kompostierbare Verpackungen und deren Einsatz in der Praxis zu erfahren und gleichzeitig die Wahrnehmung der Kunden einschätzen zu können, führten wir im Rahmen unseres Projektes einen Feldversuch durch. Zudem wollten wir auf diese Art und Weise möglichst viele Menschen über kompostierbare Verpackungen informieren.

Als Kooperationspartner gewannen wir frühzeitig das Studentenwerk München. Das Studentenwerk bot sich für unser Projektteam als Partner an, da ohnehin schon vor unserem Projekt über die Umstellung auf biokompatible Verpackungen nachgedacht wurde. Diese Pläne wurden jedoch zunächst aufgrund von finanziellen Überlegungen verworfen und konnten durch unsere Unterstützung schließlich umgesetzt werden. Für das Studentenwerk stellte die Kooperation die optimale Erprobungsphase für die neuartigen Verpackungen dar, um anschließend eine fundierte Entscheidung über die permanente Umstellung treffen zu können.

Gemeinsam mit der Abteilung für Hochschulgastronomie unter der Leitung von Hr. Fricke erarbeiteten wir anschließend ein Konzept für die Versuchsphase. Dieses sah die zeitgleiche Umstellung auf kompostierbare Verpackungen in drei Cafeterien des Studentenwerks zu Beginn des Sommersemesters 2012 am 16. April vor. Als Versuchsstandorte wurden die Cafeterien Audimax, Weihenstephan und Pasing (Hochschule München)ausgewählt. Danach wählte unser Projektteam in Zusammenarbeit mit dem Studentenwerk die benötigten kompostierbaren Produkte aus und plante die Öffentlichkeitsarbeit während des Feldversuchs. Der Feldversuch begann folglich am 16. April und dauerte bis zum Ende des Sommersemesters am 20. Juli an. Während dieser Zeit fanden auch die zugehörigen Befragungen der Kunden statt.

Abbildung 5: Tischaufsteller weisen in der Cafeteria Audimax während des Feldversuches auf die neuen biokompatiblen Verpackungen hin

Nach Beendigung des Feldversuches und unter Berücksichtigung der Erfahrungen entschied sich das Studentenwerk München im Rahmen der Neugestaltung der

Cafeterien als „StuCafes“ für die dauerhafte Einführung von kompostierbaren Verpackungen. Dies können wir als einen großen Erfolg unseres Projekts verbuchen.

5 Umfrage zum Projekt

Zeitgleich zum Feldversuch des Projekts wurde durch unser Team eine Befragung der Studierenden an allen drei Standorten des Versuchs durchgeführt. Ziel dieser statistischen Datenerhebung war insbesondere die Beantwortung von Fragen, die sowohl für das Studentenwerk als auch für andere potenziell auf kompostierbare Verpackungen umstellende Unternehmen von Bedeutung sind. Dadurch sollten die Risiken für umstellende Unternehmen vermindert und gleichzeitig sich ergebende Chancen und Möglichkeiten aufgezeigt werden, um so die Veränderung hin zu kompostierbaren Verpackungsmaterialien möglichst attraktiv zu gestalten. Eine zentrale Rolle dabei spielt die Akzeptanz der Kunden für die neuartigen Verpackungen sowie auch ihre Bereitschaft, für diese mehr Geld auszugeben. Die Daten der Umfrage und deren statistische Auswertung stellt den Anteil der Arbeit dar, welcher auch große praktische Relevanz für interessierte Unternehmen bieten soll.

Die Daten unserer Umfrage wurden parallel über eine Internetbefragung (www.biokompatible-verpackungen.de), welche vom 16. April bis zum 20. Juli stattgefunden hat, und über Befragungen am Projektstand erhoben. Auf diese Art und Weise konnten von uns insgesamt ca. 700 ausgefüllte Bögen akquiriert werden. Dabei entfielen knapp 600 Umfragen auf die Internetbefragungwährend am Projektstand 85 Personen befragt wurden. Bei der Online-Umfrage wurden Studenten von allen drei Versuchsstandorten (TUM Stammgelände, Weihenstephan und Pasing) befragt, während der Projektstand unseres Teams am Stammgelände der TUM aufgebaut war und sich somit die persönlich gesammelten Daten größtenteils auf Studenten aus der Innenstadt konzentrieren.

Abbildung 6: Interessierte Studenten nutzen den Informationsstand um sich mit Projektgruppenmitgliedern über biokompatible Verpackungen auszutauschen und um Fragebögen auszufüllen

5.1 Statistische Auswertung

Wir gehen bei der statistischen Berechnung von einer Grundgesamtheit aus, welche alle Studierenden der Hochschulstandorte umfasst.

Tabelle 1: Anzahl der Studierenden an den Standorten, an welchen der Feldversuch durchgeführt wurde

Standort	Anzahl der Studierenden
Innenstadt (Arcisstr.)	9.715[4]
Wissenschaftszentrum Weihenstephan (WZW)	4.285[5]
Pasing (Hochschule München)	6.000[6]
Gesamt	20.000

Folglich haben wir mit 676 ausgefüllten Umfragebögen einen Anteil von ungefähr 3,5% der Grundgesamtheit erreicht. Bei weiterer Ausweitung der Teilnehmeranzahl der Befragung könnten noch genauere Ergebnisse in Form von kleineren Konfidenzintervallen angegeben werden, jedoch genügt für unsere Zwecke die bereits erreichte Genauigkeit (siehe unten).

Eine Auflistung sämtlicher Daten und Ergebnisse aus der Umfrage würde den Rahmen dieser Abschlussarbeit sprengen, so dass im Folgenden die signifikantesten und bedeutendsten Ergebnisse zusammengefasst werden.

Insgesamt gleichen sich die Ergebnisse aus der Online Umfrage und der Umfrage am Projektstand in den meisten Aspekten und unterscheiden sich nur an einzelnen Stellen. Deshalb werden wir im Folgenden weitestgehend beide Erhebungen gemeinsam behandeln und nur im Falle von Diskrepanzen zwischen beiden Teilen explizit darauf hinweisen.

Die Teilnehmer unserer Umfrage sind fast ausschließlich Studenten. Im Durchschnitt sind diese 24 Jahre alt. Insgesamt waren 34% der Umfrageteilnehmer männlich.

[4] Quelle: Webseite der TU München: http://portal.mytum.de/cop/statistik/studium/
[5] Quelle: Webseite der TU München: http://portal.mytum.de/cop/statistik/studium/
[6] Quelle: Webseite der Hochschule München: http://www.sw.hm.edu/kontakt/campus_pasing/index.de.html

Zunächst möchten wir auf die persönliche Einstellung und Erfahrung der befragten Personen zum Thema „Biokompatible Verpackungen“ eingehen. Wichtig für potenziell auf die Benutzung von kompostierbaren Verpackungen umstellende Unternehmen ist allen voran die Wahrnehmung der biokompatiblen Verpackungen durch die Kunden, um die mit der Umstellung verbundenen Prestige- und Imageauswirkungen quantifizieren zu können. Diesen Aspekt haben wir in unserer Umfrage durch die folgenden Fragen versucht abzudecken:

Tabelle 2: Frage nach der Bedeutung einzelner Eigenschaften biokompatibler Verpackungen

Frage	Mittelwert
Wie war ihr Kenntnisstand zu biokompatiblen Verpackungen vor dem Projekt? (1=Sehr gut, 6= Noch nie gehört)	3,61
Wie wichtig ist Ihnen die Kompostierbarkeit der Verpackungen? (1= Sehr wichtig, 6= irrelevant)	2,12
Wie wichtig ist Ihnen die Herstellung aus nachwachsenden Rohstoffen? (1= Sehr wichtig, 6= irrelevant)	1,75

Interessant ist hierbei vor allem die Tatsache, dass von den Verbrauchern die Produktion aus nachwachsenden Rohstoffen im Durchschnitt wichtiger bewertet wird als die Kompostierbarkeit. Tatsächlich ist die Kompostierung der Verpackungen eine Problematik, welche erst durch einen höheren Marktanteil der kompostierbaren Verpackungen durch die Entsorgungsunternehmen sinnvoll gelöst werden kann. Die Herstellung der Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen hingegen ist heute schon Realität und kann auch für den bisher geringen Marktanteil sichergestellt werden.

Erwähnt sei auch, dass bei der Frage nach dem Kenntnisstand der Studenten vor dem Projekt Differenzen um 0,5 Punkte auf der Skala zwischen den beiden Befragungsformen aufgetreten sind. Dabei gaben die befragten Personen am Projektstand eine bessere Kenntnis an als in der online Umfrage. Wir vermuten, dass einer der Gründe für die Unterschiede der Unwillen der Teilnehmer bei einer

direkten Befragung Unkenntnis zuzugeben sein könnte, weshalb die Studenten trotz gleichem Kenntnisstand bessere Werte in der Umfrage am Projektstand angegeben haben könnten. Belegen lässt sich dies jedoch bedingt durch den geringen Umfang der persönlichen Umfrage nicht.

Zusammenfassend lässt sich aussagen, dass der Kenntnisstand der befragten Studenten zu biokompatiblen Verpackungen relativ gering ist. Hiermit sehen wir also eine These unseres Projektes bestätigt, wonach der geringe Marktanteil von kompostierbaren Verpackungen zu einem gewissen Ausmaß durch die mangelnde Bekanntheit der Produkte begründet ist. Dennoch gestehen im Schnitt die Kunden den Attributen der Kompostierbarkeit und der Herstellung aus nachwachsenden Rohstoffen eine sehr hohe Relevanz zu. Hier bietet sich also durchaus ein Ansatzpunkt für die Bewerbung der Verpackungen und ihrer Eigenschaften durch Unternehmen.

Ein weiterer bedeutender Grund, weshalb sich kompostierbare Verpackungen bisher nicht auf dem Markt im großen Ausmaß durchgesetzt haben, ist der erhöhte finanzielle Aufwand, welcher letztendlich von den Endkunden getragen werden müsste. Insofern drängte sich im Laufe des Projekts bereits früh die Frage auf, inwiefern Kunden bereit wären, für die positiv eingeschätzten Eigenschaften der Produkte mehr Geld zu bezahlen. Aus diesem Grund wurde diese Frage explizit in

> *„Würden Sie für diese [kompostierbaren] Verpackungen mehr Geld ausgeben?“*

fast unveränderter Form in unseren Fragebogen übernommen:

Angemerkt sei hier auch, dass wir uns in der Umfrage auf die Kunden des Studentenwerks, also Studenten, konzentrieren. Trotz eines hohen Bildungsgrades und der damit verbundenen potenziell höheren Bereitschaft aus ökologischen Beweggründen mehr für ein Produkt auszugeben, ist aufgrund der im Allgemeinen schlechteren finanziellen Flexibilität vermutlich eine höhere Bereitschaft in der

Gesamtbevölkerung zu erwarten[7]. Dies stellt jedoch zunächst nur eine Vermutung dar und müsste mit Hilfe weiterer statistischer Erhebungen geprüft werden.

Im Folgenden möchten wir ausgehend von den Ergebnissen unserer Umfrage ein Konfidenzintervall für den Anteil p der Kunden des Studentenwerks angeben, welche bereit sind, mehr Geld für kompostierbare Verpackungen auszugeben. Als Basis dafür verwenden wir ein Konfidenzniveau von 95%, d.h. der echte Anteil der Kunden liege mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 95% innerhalb des berechneten Intervalls. An dieser Stelle möchten wir nicht auf die mathematische Herleitung der Konfidenzintervalle eingehen. Der interessierte Leser sei auf Kapitel 5.2 verwiesen.

Beispielhaft sei hier die Berechnung einer Schranke auf einem Konfidenzniveau von 95% vorgeführt. Auf Basis dieses Genauigkeitsniveaus lässt sich die obere bzw. untere Schranke für das Wahrscheinlichkeitsintervall[8] als

$$p_{oben,unten} = r \pm 1{,}96 * \sqrt{\frac{r(1-r)}{n-1}}$$

angeben. Wobei r die relative Häufigkeit (empirischer Mittelwert) des Versuchs und n den Stichprobenumfang der Umfrage bezeichne.

Für die gesamten Ergebnisse aus Projektstand- und Internetumfrage ergibt sich in unserem Fall dabei:

$$r = \frac{Anzahl\ "Ja"}{Anzahl\ befragte\ Personen} = 0{,}81;\ n = 676 \rightarrow\ p_{oben,unten} \approx 0{,}81 \pm 0{,}03$$

Somit können wir mit einem Konfidenzniveau von 95% aussagen, dass der Anteil der Kunden, welche bereit sind, mehr für kompostierbare Verpackungen auszugeben, zwischen 78% und 84% liegt.

Analog dazu lassen sich die folgenden Konfidenzintervalle bestimmen:

[7] Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, „Umweltbewusstsein in Deutschland 2010“. aufgerufen unter http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4045.pdf
[8] Siehe Mathematische Ausführungen

Tabelle 3: Statistische Auswertung der Frage nach der Bereitschaft, mehr für kompostierbare Verpackungen auszugeben

	Teilnehmer	Rel. Anteil (Punktschätzung)	Intervall mit 95% Konfidenzniveau	Intervall mit 99% Konfidenzniveau
Projektstand	84	85%	77,3%-92,7%	74,9%-95,1%
Internet	592	80%	76,8%-83,2%	75,8%-84,3%
Gesamt	676	81%	78,0%-84,0%	77,1%-84,9%

Zusammenfassend lässt sich demnach aussagen, dass der Anteil der befragten Personen, welche bereit sind, mehr Geld für biokompatible Verpackungen auszugeben, überraschend hoch ist. Dies lässt sich auf verschiedenen Konfidenzniveaus zeigen. Zwischen der Umfrage des Projektstandes und der Web-basierten Umfrage zeigt sich ein Unterschied des empirischen Anteils um 5%. Diese Tatsache hingegen überrascht kaum, da es durchaus einer gewissen Courage bedarf, um im persönlichen Gespräch mit den Projektteilnehmern zuzugeben, dass man nicht bereit ist, mehr Geld für das erklärte Projektziel auszugeben.

Der interessierte Leser sei weiterhin an Kapitel 5.2.2 verwiesen, in dem gezeigt wird, wie die Größe der Konfidenzintervalle sich mit der Anzahl der befragten Personen verändert.

Selten lassen sich neue Produkte 1:1 ohne Schwierigkeiten oder Probleme in ein bereits bestehendes und funktionierendes System einfügen. So sind auch bei kompostierbaren Verpackungen die mangelnden Erfahrungen mit diesen Verpackungen ein Hemmnis für den Wechsel.

Tabelle 4: Anteil der Umfrageteilnehmer, die Probleme mit den neuen Verpackungen berichteten

Frage	Empirischer Anteil [Ja]
Gab es Probleme mit den neuen Verpackungen?	0,04

Diesbezüglich gibt es jedoch positive Antworten von den Studenten. Nur 4% der Befragten haben angegeben, Probleme mit z.B. undichten Bechern während des Feldversuchs gehabt zu haben. Größter Kritikpunkt bei dem Anteil der Kunden, welche Probleme mit den Verpackungen angegeben hatten war eine mangelnde Passform von Kaffeebechern und Kaffeebecherdeckeln. Erwähnt sei jedoch auch, dass es große herstellerspezifische Diskrepanzen bei der Qualität der kompostierbaren Verpackungen gibt. So wurden von Seiten des Studentenwerks biokompatible Kaffeebecher als Probeexemplare von verschiedenen Herstellern angefordert, welche mitunter durch das Eingießen von heißen Getränken teilweise geschmolzen sind. Insofern möchten wir an dieser Stelle an potenziell umstellende Unternehmen appellieren, die Produkte von in Frage kommenden Lieferanten zunächst eingehend zu prüfen.

Viele Kunden haben außerdem in den Kommentarfeldern das schlichte „grüne“ Design der neuen Verpackungen gelobt.

Tabelle 5: Beitrag der verschiedenen Aspekte des Projekts zur Verbesserung des Kenntnisstandes über biokompatible Verpackungen unter den Umfrageteilnehmern

Hat sich Ihre Kenntnis zum Thema biokompatible Verpackungen durch das Projekt verbessert?	Empirischer Anteil [Ja]
Internet	0,30
Projektstand	0,51
Gesamt	0,33

Insgesamt haben 33% der Teilnehmer der Umfrage angegeben, dass sie durch das Projekt ihr Wissen zum Thema kompostierbare Verpackungen ausgebaut haben. Extrapoliert man diesen Anteil auf alle Studierenden an den drei Standorten der Cafeteria, so haben wir den Kenntnisstand von weit über 6000 jungen Menschen in Bezug auf dieses Thema verbessern können. Wir werten dies als einen großen Erfolg unseres Projektes, da somit eines unserer erklärten Ziele, nämlich die Steigerung des Bekanntheitsgrades dieser Innovation, erreicht worden ist.

Abschließend möchten wir die wichtigsten Ergebnisse zusammenfassen:

- Der Kenntnisstand zu biokompatiblen Verpackungen war unter den Studenten auf einem relativ niedrigen Niveau.
- Die Herstellung der biokompatiblen Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen wird als wichtiger empfunden als die Kompostierbarkeit.
- Zwischen 78% und 84% der Kunden sind bereit, mehr für kompostierbare Verpackungen zu zahlen (Konfidenzniveau 95%).
- Nur ein Bruchteil der Kunden (4%) hatte Probleme mit den neuen Verpackungen während des Feldversuches.

5.2 Mathematische Ausführungen

5.2.1. Berechnung der Konfidenzintervalle

Da die betrachtete Frage in unserer Umfrage nur Ja bzw. Nein als Antwort zugelassen hat, ergibt sich zunächst eine Binomialverteilung. Aufgrund der Anzahl befragter Personen können wir diese jedoch in guter Näherung als normalverteilt betrachten.

Da wir sicher gehen möchten, dass der Anteil p mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% innerhalb des Konfidenzintervalls liegt, darf die Wahrscheinlichkeit, dass eine niedrigere bzw. höhere Wahrscheinlichkeit zu Trefferanzahlen über bzw. unter unseres ermittelten Werts führt, jeweils nicht größer als 2,5% sein. Wir fordern also, dass die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die Anzahl der Treffer X größer als das Ergebnis k unserer Umfrage ist, kleiner als 2,5% sei:

$$P(X > k) < 2{,}5\% \rightarrow 1 - \varphi(x) < 2{,}5\% \rightarrow \varphi(x) > 97{,}5\%$$

Betrachten wir nun den Grenzfall $\varphi(x) = 97{,}5\%$, so ergibt sich mit einem Tafelwerk zur Stochastik[9] für das Argument x der Verteilungsfunktion:

$$x = \varphi^{-1}(0{,}975) = 1{,}96$$

Bisher haben wir uns mit $P(X > k) < 2{,}5\%$ auf eine obere Schranke konzentriert. Der Wert des Arguments x der Verteilungsfunktion ist jedoch für die untere Schranke betragsgleich:

[9] Mühlbauer und Wörle: Tafelwerk zur Stochastik ISBN: 3-7627-3361-9

$$P(X < k) = 2{,}5\% \;\rightarrow\; \varphi(\mathrm{x}) = 2{,}5\%$$

Mit $1 - \varphi(x_0) = \varphi(-x_0) = 1 - 0{,}025 = 0{,}975 \;\rightarrow\; -x_0 = 1{,}97\; bzw.\; x_0 = -1{,}96$

Analog ergibt sich für das zweite Konfidenzniveau von 99%:

$$x = \varphi^{-1}(0{,}995) = 2{,}58$$

Nun können wir auf die Definition des Arguments anhand des der Trefferanzahl k, dem Erwartungswertes μ und der Standardabweichung σ zurückgreifen:

$$x := \frac{k - \mu}{\sigma} = \frac{k - np}{\sqrt{np(1-p)}} = \frac{r - p}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}}$$

$$r - p = x * \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

Damit kann man die Schranken für p auf zwei verschiedenen Wegen herleiten: Zunächst kann man diese Gleichung analytisch nach p auflösen:

$$(r - p)^2 = x^2 * \frac{p(1-p)}{n}$$

$$(n + x^2) * p^2 + (-2rn - x^2) * p + r^2 n = 0$$

$$p_{oben,unten} = \frac{2rn + x^2 \pm \sqrt{(2rn + x^2)^2 - 4r^2 n(x^2 + n)}}{2 * (x^2 + n)}$$

Auf der anderen Seite kann man auch den realen Anteil p unter der Wurzel durch die Ergebnisse des Versuchs (r) abschätzen, so dass sich für die obere bzw. untere Schranke des Intervalls ergibt:

$$p_{oben,unten} = r \pm 1{,}96 * \sqrt{\frac{r(1-r)}{n-1}}$$

Zunächst ist also die analytische Lösung vorzuziehen, da man hier eine Approximation weniger trifft. Jedoch lässt sich beobachten, dass beide Ausdrücke ineinander übergehen, wenn man die x- Potenzen gegenüber den n- Potenzen vernachlässigt. Im Falle unserer Umfrage liegt das Verhältnis $\frac{n}{x}$ bei einem

Konfidenzniveau von 95% bei ungefähr 350, so dass dies im Vergleich zu den restlichen Annahmen einen sehr geringen Fehler ausmacht. Deshalb haben wir uns für unsere Berechnung für die zweite, kompaktere Version entschieden.

5.2.2. Abhängigkeit der Konfidenzintervallgröße vom Stichprobenumfang

Nun wollen wir betrachten, wie sich der Stichprobenumfang n einer Umfrage auf die Größe der zugehörigen Konfidenzintervalle auswirkt. Dazu betrachten wir erneut die bereits weiter oben aufgeführte Berechnungsformel für die Grenzen des Konfidenzintervalls:

$$p_{oben,unten} = r \pm 1{,}96 * \sqrt{\frac{r(1-r)}{n-1}}$$

Hierbei lässt sich erkennen, dass die Größe des Konfidenzintervalls proportional zu $n^{-\frac{1}{2}}$ bzw. umgekehrt proportional zu $\sqrt{n}$ ist (da $n \gg 1$). Daraus lässt sich ableiten, wie sich die Breite des Konfidenzintervalls mit der Stichprobenanzahl verändert:

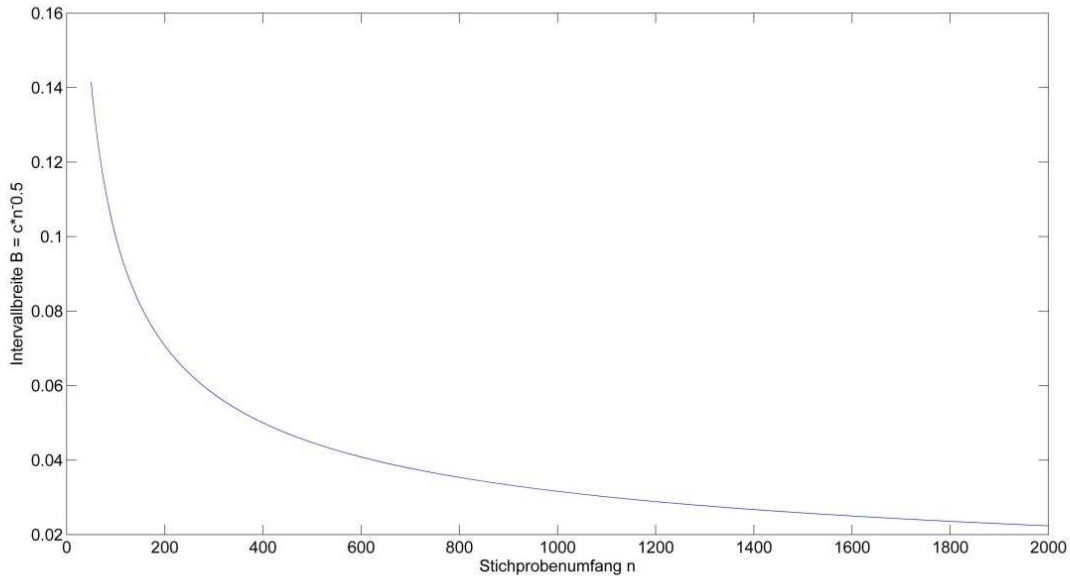

Abbildung 7: Abhängigkeit der Größe des Konfidenzintervalls vom Stichprobenumfang

Da es sich nur um eine Proportionalitätsbeziehung handelt, hängt die Breite des Intervalls neben dem Stichprobenumfang noch von einer bezüglich des Stichprobenumfangs konstanten Größe ab. Im analysierten Fall hängt diese Konstante von dem Konfidenzniveau und der empirischen relativen Häufigkeit r ab.

Dem entsprechend ist der Verlauf der Konfidenzintervallgröße qualitativ richtig, wird jedoch durch die zusätzliche konstante Einflussgröße auf der Ordinate skaliert.

6.Handlungsempfehlungen

Durch die Durchführung des Feldversuches und die Kooperation mit dem Studentenwerk München konnten wir Erfahrungen sammeln, welche auch über den Rahmen des Feldversuches hinaus von Interesse sind. Diese wollen wir im Folgenden in Form von Handlungsempfehlungen zusammenfassen, damit auch andere Gastronomieunternehmen, welche die Umstellung auf biokompatible Verpackungen planen, von unseren Erfahrungen profitieren können.

- Biokompatible Verpackungen sind eine sehr gute Möglichkeit, das „greenimage“ eines Unternehmens zu verbessern. Dabei sollte das Hauptaugenmerk nicht auf der Kompostierbarkeit der Materialien liegen, sondern auf deren Herstellung aus nachwachsenden Rohstoffen.
- Basierend auf unserer Umfrage, an welcher hauptsächlich Münchner Studierende teilnahmen, sind 78 bis 84 Prozent der Kunden bereit, die Mehrkosten für biokompatible Verpackungen zu tragen. Grundvoraussetzung hierfür ist jedoch, dass die Kunden genau über die neuen Verpackungen informiert werden.
- Für den Kunden sind kaum Unterschiede zu konventionellen Verpackungen feststellbar. Daher sollte aktiv auf die neuen Verpackungen hingewiesen werden. Verglichen mit Hinweisen in Form von Infomaterialien (Poster, Flyer etc.) wird ein größerer Effekt durch persönliche Kommunikation erzielt. Die Information über die neuen Verpackungen sollte zum Zeitpunkt ihrer Einführung am intensivsten sein.
- Neben ökologischen Vorteilen sind biokompatible Verpackungen auch oft in praktischen Gesichtspunkten „konventionellen“ Verpackungen überlegen (z.B. Gasbarriere-Eigenschaften, Verlängerung der Haltbarkeit von Lebensmitteln).
- Die Qualitätsunterschiede zwischen den Produkten verschiedener Verpackungshersteller sind teilweise gravierend. Eine eingehende Prüfung der Produkte in Frage kommender Lieferanten wird dringend angeraten.

7. Zusammenfassung

Biokompatible Verpackungen stellen eine innovative Technologie dar und besitzen als Alternative zu Verpackungen aus erdölbasierten Kunststoffen viel Potenzial. Die vielen positiven Eigenschaften dieser Materialien waren der Beweggrund für die Durchführung dieses Projekts. Hauptziele des Projekts waren einerseits die Durchführung eines Feldversuches in ausgewählten Cafeterien des Studentenwerks zur Erhöhung des Bekanntheitsgrades dieser Materialien und andererseits eine Umfrage, um Informationen über den Kenntnisstand und die Einstellung der Besucher der Cafeterien zu diesem Thema zu erhalten.

Beide Ziele konnten erfüllt werden. Der Feldversuch zeigte, dass für die wichtigsten Verpackungen geeignete Alternativen aus biokompatiblen Materialien gefunden werden konnten und stieß bei den Besuchern der Cafeterien auf positive Resonanz. Die Umfrage ergab, dass insbesondere die Herstellung aus nachwachsenden Rohstoffen als sehr wichtig angesehen wird. Dies spielt eine bedeutendere Rolle als die Kompostierbarkeit von biokompatiblen Verpackungen. Zudem konnte gezeigt werden, dass rund 80 Prozent der Kunden bereit wären, die Mehrkosten von wenigen Cent pro Einheit zu tragen. Als besonders erfreuliches Ergebnis dieses Projekts ist zudem die Tatsache zu nennen, dass das Studentenwerk München in den neuen „StuCafes“ dauerhaft biokompatible Verpackungen einsetzen wird.

Für das Projektteam selbst war die Durchführung des Projektes ebenfalls sehr bereichernd. Die Fähigkeiten und Arbeitsweisen, die in den Seminaren zu Beginn des Projekts erlernt wurden, konnten direkt praktisch angewendet und so gefestigt werden. Die Tatsache, dass das Projekt auch über den Bearbeitungszeitraum hinaus eine im wahrsten Sinne des Wortes nachhaltige Wirkung hat, ist zudem für alle Beteiligten sehr zufriedenstellend.

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich der Umweltbelastung durch die Produktion bio-basierter und petrochemischer Polymere in den Wirkungskategorien fossiler Ressourcenverbrauch und Klimawandel 4
Abbildung 2: Weltweite Produktionskapazitäten von Bioplastiken.....13
Abbildung 3: Logo zur Kennzeichnung biologisch abbaubarer Materialien..... 18
Abbildung 4: Ein Schild auf einem Tisch der Cafeteria Audimax weißt während des Feldversuches auf die neuen biokompatiblen Verpackungen hin.....20
Abbildung 5: Interessierte Studenten nutzen den Infor-mationsstand um sich mit Projektgruppenmitgliedern über biokompatible Verpackungen auszutauschen und Fragebögen auszufüllen.....22
Abbildung 6: Abhängigkeit der Größe des Konfidenzintervalls vom Stichprobenumfang 31

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl der Studierenden an den Standorten, an welchen der Feldversuch durchgeführt wurde.....23
Tabelle 2: Frage nach der Bedeutung einzelner Eigenschaften biokompatibler Verpackungen 24
Tabelle 3: Statistische Auswertung der Frage nach der Bereitschaft, mehr für kompostierbare Verpackungen auszugeben 27
Tabelle 4: Anteil der Umfrageteilnehmer, die Probleme mit den neuen Verpackungen berichteten..... 27
Tabelle 5: Beitrag der verschiedenen Aspekte des Projekts zur Verbesserung des Kenntnisstandes über biokompatible Verpackungen unter den Umfrageteilnehmern 28