

Nachwachsende Biopolymere als Substitution für Massenkunststoffe

H. Wilhelm, K. Reitingner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

14/2006

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>
oder bei:

Projektfabrik Waldhör
Währingerstraße 121/3
1180 Wien

Nachwachsende Biopolymere als Substitution für Massenkunststoffe

DI Harald Wilhelm, Ing. Klemens Reitingner
LKT LABORATORIUM FÜR KUNSTSTOFFTECHNIK GMBH

Wien, Juli 2003

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage www.FABRIKderZukunft.at und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

1	KURZFASSUNG.....	9
2	ABSTRACT	10
3	KURZFASSUNG 3 SEITEN	11
4	ABSTRACT	14
5	EINLEITUNG	17
6	GRUNDLAGEN, BEGRIFFSABGRENZUNG, WERKSTOFFE.....	18
6.1	MARKTSITUATION	19
6.2	WERKSTOFFVERFÜGBARKEIT	20
6.2.1	<i>Produkte mit verfügbaren Angaben zu Preisen und Kapazitäten.....</i>	<i>21</i>
6.2.2	<i>Produkte ohne Angaben zu Preisen und Kapazitäten</i>	<i>26</i>
6.2.3	<i>Produkte im Entwicklungsstadium</i>	<i>26</i>
6.3	PRODUKTFINDUNG	27
6.3.1	<i>Plastikkarten</i>	<i>27</i>
6.3.2	<i>Essbesteck</i>	<i>28</i>
6.3.3	<i>Ausziehbare Folien.....</i>	<i>28</i>
6.3.4	<i>Zusammenfassung von Anwendungsmöglichkeiten für BAW</i>	<i>30</i>
6.4	WERKSTOFFSELEKTION.....	31
6.4.1	<i>Anwendung der Stärken – Stand der Technik - Patentrecherche.....</i>	<i>32</i>
6.4.2	<i>Verarbeitung von modifizierten Stärken.....</i>	<i>35</i>
6.4.3	<i>Hilfs- und Verstärkungstoffe.....</i>	<i>38</i>
6.5	INNOVATIONSPOTENTIAL FÜR DIE GEPLANTEN SCHLÜSSELPRODUKTE.....	44
7	WIRTSCHAFTLICHE ABSCHÄTZUNGEN.....	44
7.1	STOFFLICHE NUTZUNG NACHWACHSENDER ROHSTOFFE IN ÖSTERREICH.....	44
7.2	ABSATZPOTENTIALE IN EUROPA.....	45
8	ANWENDUNG AUF SCHLÜSSELPRODUKTE.....	47
8.1	ERMITTLUNG DER KRITISCHEN MENGEN	48
9	BEITRAG ZUM GESAMTZIEL DER PROGRAMMLINIE	49
9.1	BEITRAG DES KONZEPTEES ZU DEN 7 LEITPRINZIPIEN NACHHALTIGER TECHNOLOGIEENTWICKLUNG	49
10	SCHLUSSFOLGERUNGEN ZU DEN PROJEKTERGEBNISSEN.....	50
11	AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN	51
12	LITERATUR.....	53
13	ANHANG.....	55
13.1	MATERIALDATEN	55
13.2	WERKSTOFFSCREENING.....	58

Kurzfassung

In den letzten Jahren sind biologisch abbaubare Polymere mehr denn je in das Licht des Forschungsinteresses gerückt. Zahlreiche Institute und Unternehmen der westlichen Welt beschäftigen sich mit der Forschung an natürlichen und synthetischen biologisch abbaubaren Polymeren. Durch diese Materialien sollen entweder problematische synthetische Stoffe ersetzt, Abfallprobleme verringert, oder spezifische neue Anforderungen erfüllt werden (z.B. in Medizin, Landwirtschaft und Informationstechnologie). Andererseits herrschen Skepsis über die Wirtschaftlichkeit dieser Produkte oder Bedenken wegen neuer Probleme, die durch biologisch abbaubare Werkstoffe (BAW) entstehen können. Diese Skepsis hat eine Umsetzung von neuen Technologien auf diesem Sektor im großen Maßstab bisher nicht zugelassen. Speziell in Österreich sind wenige bis keine Modellprojekte vorgesehen. Es gilt dieses Marktsegment einer wirtschaftlichen Umsetzung zuzuführen. Die nahe liegenden Vorteile der Schonung petrochemischer Ressourcen und der Verminderung des Abfallaufkommens ergeben ein zukunftssträchtiges Entwicklungspotenzial.

Das gegenständliche Konzept hat daher als Projektziel die Erstellung von kurzfristig realisierbaren Produktentwicklungskonzepten für jene Marktsegmente, in denen Naturpolymere in den geforderten Eigenschaften den petrochemischen Kunststoffen überlegen sind und durch ein werbewirksames Ökodesign höherwertig vermarktet werden können, ohne dem für Massenkunststoffe typischen Preisdruck ausgesetzt zu sein. In diesem Bericht wird der IST Stand des Marktes der Biopolymere dokumentiert, mögliche Produktgruppen definiert und eine mögliche wirtschaftliche Umsetzung von bestehendem Know-how beschrieben.

Das Konzept ist in vier Kapitel unterteilt. Im ersten Teil „Recherche und Produktinnovation“ ist der Stand der Technik unter Dokumentation der Materialquellen dokumentiert. Darauf aufbauend beschreibt der zweite Abschnitt „Werkstoffselektion“ die Rohstoffsituation und Möglichkeiten der Verwertung österreichischer Rohstoffe. Dieser Abschnitt wird von einem Werkstoffscreening unterstützt, welches das Spektrum der mechanischen Eigenschaften von biologischen Werkstoffen beleuchtet. Im Kapitel „Wirtschaftliche Abschätzungen“ wird die Umsetzung von Produktlinien aus quantitativer und monetärer Sicht beschrieben. Das vierte und letzte Kapitel „Anwendung auf Schlüsselprodukte“ enthält das Konzept zur konkreten Umsetzung im Rahmen einer Technologie und Komponentenentwicklung.

Abstract

In recent years, biodegradable polymers have become more than ever the focus of much research interest. Numerous businesses and research institutes in the western world deal with research into natural and synthetic biodegradable polymers. In such polymers, problematic synthetic materials should be replaced to reduce avoidable waste. However, scepticism still exists over the economic viability of these products. This scepticism has previously hindered the large scale uptake of new technologies in this sector. Specifically in Austria, there are just a few small scale projects planned. There is a demonstrable need to bring this market segment to a point where economic viability is achieved. Advantages such as biodegradability and reduction of domestic waste yield a seminal development potential.

Therefore, the goal of this project is the creation of product development concepts, realisable in the short term, in market segments where biopolymers are superior to their petrochemical counterparts.

In this report the state of the market of biopolymers will be reported. Niche markets will be described and the possibilities of economic implementation will be demonstrated.

The concept is split into four work packages. In the first chapter “Investigation and product innovation”, the state of the art is documented. On the basis of this, the second section “Material selection” describes different sorts of raw materials and their implementation in the biopolymer market. This chapter is supported by a “material screening” which consists of numerous tests to point out the spectrum of the mechanical characteristics of renewable materials. The work package “Economic estimations” deals with the implementation into product lines from a quantitative and monetary viewpoint. The last chapter contains the concrete plan of the implementation of a project consortium to develop and commercialise biopolymers.

Kurzfassung 3 Seiten

In den letzten Jahren sind biologisch abbaubare Polymere mehr denn je in das Licht des Forschungsinteresses gerückt. Zahlreiche Institute und Unternehmen der westlichen Welt beschäftigen sich mit der Forschung an natürlichen und synthetischen biologisch abbaubaren Polymeren. Durch diese Materialien sollen entweder problematische synthetische Stoffe ersetzt, Abfallprobleme verringert, oder spezifische neue Anforderungen erfüllt werden (z.B. in Medizin, Landwirtschaft und Informationstechnologie). Andererseits herrschen Skepsis über die Wirtschaftlichkeit dieser Produkte oder Bedenken wegen neuer Probleme, die durch biologisch abbaubare Werkstoffe (BAW) entstehen können. Diese Skepsis hat eine Umsetzung von neuen Technologien auf diesem Sektor im großen Maßstab bisher nicht zugelassen.

Das Konzept ist dahingehend entwickelt worden, dass der IST Zustand vorhandener Technologien und auch Einsatzgebiete für potentielle Verwerter in Österreich aufbereitet werden. Mit diesem Grundlagenwissen werden mit dem Konzept interessierte Firmen für wirtschaftliche Umsetzungen in Österreich angesprochen und über die Einsatzmöglichkeiten von biologisch abbaubaren Werkstoffen informiert. Ziel des Konzeptes ist die Zusammenführung von potentiellen Firmen entlang der Produktentwicklungskette um auch in Österreich den Einsatz von BAW zu forcieren.

Das Konzept zeigt, dass die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe im Non-food Bereich auf etwa 14% des Gesamtflusses an nachwachsenden Rohstoffen beschränkt ist, wobei nur 0,8% andere Rohstoffe als Holz (hauptsächlich Zellstoff, Papier, Bauholz, Möbel) eingesetzt werden. Demgegenüber steht der Bereich der Non food Stärkeanwendungen, der zwar in Bezug auf die verarbeiteten Mengen zur Zeit eher unbedeutend ist, der aber in einer raschen und innovativen Entwicklung begriffen ist. In der Welt werden heute ca. 45 Mt/a Stärke produziert, von denen wieder ca. 53 % in den Nahrungsmittelsektor fließen. Die restlichen 47 % werden für technische Zwecke erzeugt. Aus den stärkehaltigen Pflanzenmaterialien, die zum Großteil direkt als Nahrungsmittel dienen, wird industriell auch das Trockenprodukt Stärke hergestellt.

Für 2001 schätzte man den jährlichen Verbrauch für BAW-Produkte auf etwa 25000 bis 30000 t in der Europäischen Union. Dies entspricht einem Umsatz von etwa 100 Mio. EUR. Das Potential wird allerdings auf einen Faktor 100 höher geschätzt. Langfristig können rund 10% der Standardpolymere durch BAW substituiert werden. In den führenden Ländern am BAW Sektor, Finnland, Italien, Deutschland u.v.m. haben sich schon einige Materialmi-

schungen für wirtschaftliche Anwendungen durchsetzen können. In Deutschland hat das Modellprojekt Kassel auch die positive Bewertung des Einsatzes von BAW durch den Konsumenten belegt. Trotz all dieser Faktoren kann man sich in Österreich bei einem Gang durch den Supermarkt von den fehlenden Umsetzungen überzeugen.

Biopolymere sind nach wie vor bezogen auf die mechanischen Eigenschaften sowie den Preis Standardkunststoffen unterlegen. Es gilt Nischenanwendungen zu finden, in denen durch den Mehrwert der biologischen Abbaubarkeit der Preisnachteil egalisiert werden kann. Mit den im Konzept durchgeführten Firmenbesuchen wurden die Anforderungen an einen marktfähigen Werkstoff ermittelt. Zur Überraschung sind auch jetzt schon viele Firmen bereit, kurzfristig in den Markt einzusteigen und damit den Biopolymeren den Platz zu geben den sie verdienen. Die übereinstimmenden Bedingungen liegen allerdings in der Notwendigkeit einer gesicherten Mindestqualität des Werkstoffes bei einem moderaten Preisniveau, nicht viel höher als das der Massenkunststoffe. Weitere Innovationshemmnisse wurden in den fehlenden Adaptionenmöglichkeiten der Stärkepolymere erkannt. Es besteht die unmittelbare Notwendigkeit der schnellen Adaptionenmöglichkeit durch gezielte Komponentenentwicklung. Aus dieser Überlegung ist mit diesem Konzept eine Art Biopolymernetzwerk mit Betrieben entlang der Werkstoffentwicklung bis hin zum Fertigprodukt ins Leben gerufen worden. Der Einstieg in die Verarbeitung von Stärkepolymeren erfolgt nun über Nischenprodukte mit oft geringen Stückzahlen. Trotzdem ist in vielen Fällen eine Adaption der Eigenschaften speziell auf den Anwendungszweck erforderlich. Diese technologischen Herausforderungen sind für viele KMU mit den eigenen kleinen F&E Abteilungen oft nicht zu bewältigen. Das Konzept hat daher, wie erwähnt, eine Art Firmennetzwerk (ARGE) für Biopolymere zusammengestellt, in dem jeder Produktionsschritt durch spezialisierte Unternehmen „abgedeckt“ wird. Diese Schritte untergliedern sich erstens nach dem Rohstoffhersteller für Stärke. Der zweite Bereich liegt in der Materialaufbereitung und wird von einem Compoundierunternehmen betreut. Zur Umsetzung der Ergebnisse werden drei Unternehmen der österreichischen Kunststoffwirtschaft Prototypen bis zur Upscaling Phase entwickeln und vermarkten. Diese Produktschienen sollen als Demonstrationsobjekte für viele weitere innovative Produkte anleiten.

Das Konzept beleuchtet technologische Erkenntnisse und beinhaltet ein Werkstoffscreening. Dieses Werkstoffscreening soll die breite Einsatztauglichkeit von Stärkeapplikationen demonstrieren. Neben den Auflistungen bestehender Werkstoffe sowie der Beschreibung von Verbesserungsmöglichkeiten der der Werkstoffe z.B. durch Naturfasern gilt das Konzept als Arbeitspapier, um noch mehr interessierte Firmen konkret für den Bereich der Biopolymere

zu gewinnen. Mit den Ergebnissen des Werkstoffscreenings konnten interessierte Firmen für den Bereich der Biopolymere angesprochen werden. Mit Abschluss des Konzeptes ist eine Technologie und Komponententwicklung im Rahmen der Programmlinie Fabrik der Zukunft eingereicht worden.

Abstract

In recent years, bio-degradable polymers have elicited an ever increasing amount of interest within the research community. Numerous institutes and companies are currently involved in research into natural and synthetic bio-degradable polymers. The benefits of these materials lie in the replacement of synthetic materials, reduction of problems associated with waste, or the fulfilment of specific requirements (e.g. Medicine, Agriculture, IT).

On the other hand, scepticism abounds concerning the financial viability of such products, as well other potential problems which could result from the implementation of bio-degradable polymers. This scepticism has so far proved a stumbling block to the large scale uptake of these new technologies

The concept is designed such that the status of current technology as well as potential application areas for Austrian producers are made clear. This knowledge base will target companies interested in commercial exploitation in Austria as well as provide them with information on the application potential of bio-degradable polymers. The concept goal is to bring together potential companies from all areas of the product development cycle with the aim of providing impetus for the implementation of bio-degradable materials.

The concept indicates that the material usage of renewable raw materials in the non-food sector is limited to around 14% of total production, whereas only 0.8% of other raw materials such as wood (mainly, cellulose, paper, timber and furniture) are used. In contrast to this, the application of non-food starch is, relative to the amounts produced, negligible. However, the area is currently experiencing a fast and innovative period of development. World production of starch currently stands at around 45 million tonnes per annum, of which 53% finds its way into the food production sector. The remaining 47% is produced for technical applications. The starch containing plant-based materials, which, for the greater part, go directly into the foodstuffs industry, are also used in the industrial production of starch powder.

The annual consumption in the European Union of Bio-degradable products was estimated at between 25000 and 30000 tonnes. This represents a turnover of something like EUR100 million. The potential is estimated to be 100 times greater. In the long term, around 10% of standard plastics could be replaced by bio-degradable polymers. In the leading countries in this field, Finland, Italy, Germany and others, commercial applications of material blends have already for have already found their way to market. In Germany, a pilot project in Kassel resulted in a positive reaction from consumers to the application of bio-degradable plastics. In

spite of all these factors, a walk through any Austrian supermarket reveals the conspicuous absence of application of these technologies.

Biopolymers are still inferior to their standard plastic counterparts in terms of their mechanical properties and price. Niche sectors need to be found in which the price disadvantage can be counteracted by the added value bestowed on a product by virtue of its bio-degradability. The properties required of a commercially viable material were investigated by means of visits to numerous companies. Surprisingly, there are already many companies prepared to enter the market at very short notice and, in so doing, give biopolymers the place they deserve. There is general agreement on the requirement for a minimum assured level of polymer quality at a reasonable price which is not higher than standard materials. Further limitations on innovation have been identified in the lack of adaptation potential of starch polymers. There is an immediate necessity to develop such adaptability by means of focused component development. From this thought process, the concept will result in the growth of a kind of biopolymer network comprising companies at all stages of the product development cycle from polymer development to producers of finished products. The first step in the processing of starch polymers happens as a result of niche products, often with limited production runs. In spite of this fact, an adaptation of the polymer properties to the application is often deemed necessary. These technological challenges are often not within the capabilities of many small to medium sized enterprises with small research & development facilities. Hence, a network of biopolymer companies has been assembled, as already mentioned, which comprises specialist knowledge covering every step within the product development cycle. These steps are dependent on the starch raw material producers. The second area is the material processing area and is covered by a compounding company. For the purposes of application of the research results, three Austrian plastic manufacturing companies will develop and market prototype products to mass production. These products should act as catalysts for many further innovative products.

The concept illuminates technological findings and involves a polymer screening process. This screening will serve to demonstrate the wide applicability of starch based polymers. Besides the listing of existing plastics along with the description of adaptation possibilities of the polymers (e.g. by the addition of natural fibres), the concept stands as a working paper which will attract more concrete interest within the plastics industry for the area of biopolymers.

The completion of the concept will deliver a technological and component development within the framework of the programme 'factory of the future.'

Einleitung

In den letzten Jahren sind biologisch abbaubare Polymere mehr denn je in das Licht des Forschungsinteresses gerückt. Zahlreiche Institute und Unternehmen der westlichen Welt beschäftigen sich mit der Forschung an natürlichen und synthetischen biologisch abbaubaren Polymeren. Durch diese Materialien sollen entweder problematische synthetische Stoffe ersetzt, Abfallprobleme verringert, oder spezifische neue Anforderungen erfüllt werden (z.B. in Medizin, Landwirtschaft und Informationstechnologie). Andererseits herrschen Skepsis über die Wirtschaftlichkeit dieser Produkte oder Bedenken wegen neuer Probleme, die durch biologisch abbaubare Werkstoffe BAW entstehen können. Diese Skepsis hat eine Umsetzung von neuen Technologien auf diesem Sektor im großen Maßstab bisher nicht zugelassen. Speziell in Österreich sind wenige bis keine Modellprojekte vorgesehen, dieses Marktsegment einer wirtschaftlichen Umsetzung zuzuführen. Die nahe liegenden Vorteile der Schonung petrochemischer Ressourcen und der Verminderung des Abfallaufkommens ergeben jedoch ein zukunftssträchtiges Entwicklungspotenzial.

Als Biopolymere gelten grundsätzlich entweder Polymere die der Natur entstammen, oder synthetisch hergestellte, biologisch abbaubare Polymere. Biopolymere auf Stärkebasis bestehen derzeit mehrheitlich aus Mais und verschiedenen Alkoholen. Die mechanischen Eigenschaften sind, im Vergleich zu herkömmlichen Thermoplasten, unzureichend für den technischen Anwendungsbereich. Es gilt einerseits neue bestehende Materialien für österreichische KMU entsprechend aufzubereiten und qualitativ zu verbessern und andererseits von Grund auf neue Rezepturen zu entwickeln.

Dem gegenüber gibt es Biopolymere auf Esterbasis die durchaus bemerkenswerte mechanische Eigenschaften aufweisen, die aber aufgrund der Kostensituation für eine breite Anwendung nicht in Frage kommen. Die heutzutage gebräuchlichsten Biopolymere bestehen meist aus modifizierter Stärke oder Cellulose, oder deren Derivate, sowie anderen Polymeren wie Polymilchsäuren (PLA), Polyhydroxybutyraten (PHB) oder Proteinen.

Formmassen basierend auf nachwachsenden Rohstoffen werden derzeit in erster Linie von Materialherstellern aus Deutschland, Italien, Finnland sowie Übersee in den USA und Japan hergestellt. Auf dem österreichischen Markt ist die Herstellung und Verwendung von Biopolymeren weitgehend nicht vorhanden. Das gegenständliche Konzept hat zum Inhalt, auch nationale Rohstoffhersteller sowie Kunststoffverarbeiter in das Marktsegment der Biopolymere zu integrieren. Zu dieser Verwirklichung werden Marktchancen, Marktpotentiale, verfügbare

Technologien und Risikopotentiale aufgezeigt und der Kunststoffwirtschaft sowie der Landwirtschaft zugänglich gemacht.

Für 2001 schätzte man den jährlichen Verbrauch für BAW-Produkte auf etwa 25000 bis 30000 t in der Europäischen Union. Dies entspricht einem Umsatz von etwa 100 Mio. EUR. Marktführer ist die italienische Novamont SpA - ein Hersteller von Stärkeblends, die diese Produkte seit Jahren mit hohen Wachstumsraten erfolgreich vermarktet. Weltgrößter Hersteller von BAW ist seit der Inbetriebnahme der PLA-Produktionsanlage in Blair (Nebraska) im Frühjahr 2002 Cargill Dow.

Zurzeit (Stand: Jänner 2003) erreicht die Produktionskapazität für BAW weltweit etwa eine viertel Million Tonnen¹. Somit wurde nach der Forschungs- und Entwicklungsphase und der anschließenden Upscaling-Phase erstmals eine industrielle Größenordnung erreicht. Bisher standen jedoch die Materialentwicklung und die Festlegung der Basiseigenschaften im Vordergrund, nun erfolgt die anwendungstechnische Optimierung. Jedoch gilt für BAW nach wie vor: Sie stehen am Anfang ihrer Entwicklung, deren Ziel es sein wird, eine Verbesserung der Funktionalität bei gleichzeitiger Reduktion der Kosten. Daher ist es unabdingbare Notwendigkeit, weitere Verbesserungen, sowohl in technischer, als auch in ökonomischer Sicht herbeizuführen. Die Betrachtung der Entwicklung weltweiter Produktionskapazitäten zeigt dabei das Bild eines dynamischen Wachstums

Grundlagen, Begriffsabgrenzung, Werkstoffe

Die Definition des Wortes Polymer ist in der Literatur sehr ausführlich und eindeutig definiert. Hingegen ist die Definition des Begriffes „Biopolymer“ viel weitreichender und mit verschiedenen Bedeutungen behaftet.

Unabhängig von den Ausgangsstoffen des Polymers, kann Biopolymer für seine biologische Abbaubarkeit stehen oder aber für seine Herstellung aus biogenen Rohstoffen.

Die Verwendung eines Naturstoffes als Rohstoff für biologisch abbaubare Polymere ist daher nicht zwingend notwendig. Nicht die Herkunft, sondern allein die molekulare Struktur (Typ der chem. Bindung im Polymer und die Eigenschaften des Monomers) eines Stoffes entschei-

1 vgl. Käß in Kunststoffe 09/2002, Zurück zur Natur, Hanser Verlag, München 2002

det, ob dieser biologisch abbaubar bzw. kompostierbar ist oder nicht. Daher können biologisch abbaubare Kunststoffe auf Basis nachwachsender (pflanzlicher oder tierischer) als auch fossiler Rohstoffe hergestellt werden. Des Weiteren können biologisch abbaubare Produkte als Mischungen, so genannte Blendsysteme, beider Rohstoffarten realisiert werden (alchemianova 2001).

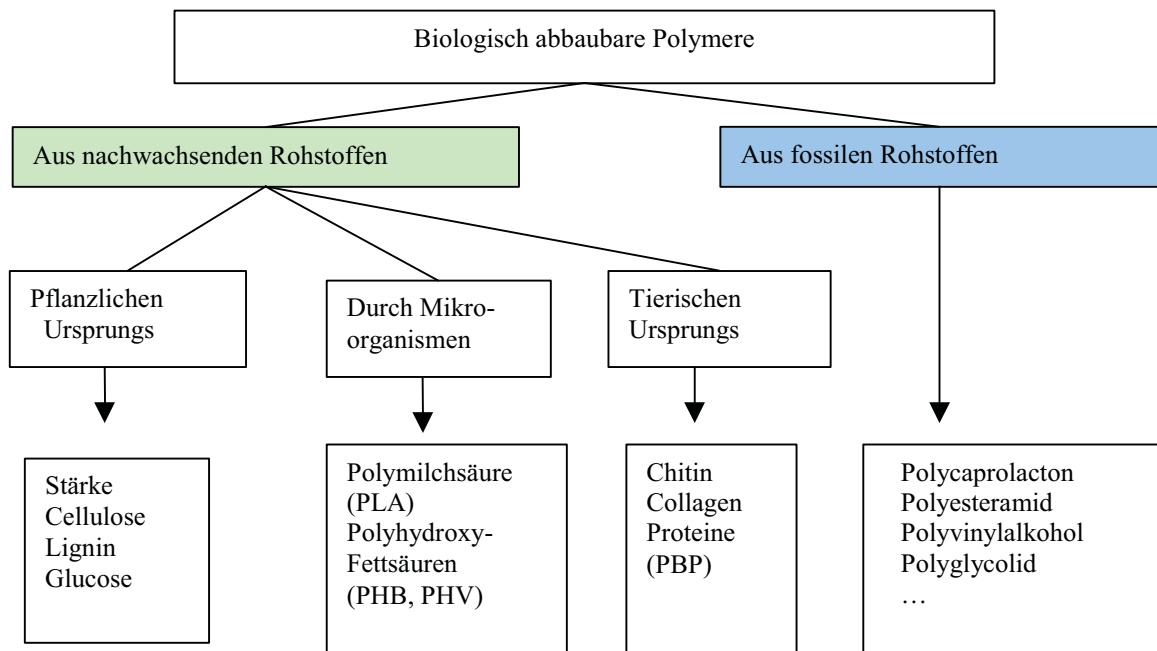


Abbildung 1: Einteilung von BAWs

Marktsituation

Es existiert eine Vielzahl an Werkstoffen die am Markt angeboten werden. Trotz dieses Angebotes wird aus Kostengründen in den meisten Anwendungsgebieten auf Biopolymere verzichtet. Die Werkstoffrecherche im Rahmen des Konzeptes gestaltete sich daher nicht in quantitativer Weise schwierig, sondern in qualitativer Zuordnung zu Produkten und Produktionskapazitäten.

Als Folge der intensiven Entwicklungsarbeiten existiert zurzeit eine Anzahl von Materialien, denen hinsichtlich des Preises, der Verfügbarkeit und auch den Anwendungseigenschaften eine realistische Marktchance in nächster Zeit eingeräumt werden kann.

Würden die BAW derzeit ausschließlich in Hinblick ihrer abfallwirtschaftlichen Besonderheiten betrachtet werden, könnten sie bestenfalls in einigen Spezialprodukten wie Bioabfall-

Sammelsäcken oder Mulchfolien eingesetzt werden. Da eine rasche Verknappung der weltweiten Erdölressourcen in den nächsten Jahrzehnten mit einer hohen Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann, sind für Erdöl die Marktpreise derzeit stabil und niedrig. Aufgrund der derzeitigen Marktdominanz von Kunststoffen auf Erdölbasis, zurückzuführen auf niedrige Marktpreise und langjährige Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten, ist es ein Bestreben, das Know-how der klassischen Kunststoffindustrie, für Kunststoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe zu nutzen. Viele BAW-Hersteller setzen auf die Synergieeffekte fossiler und nachwachsender Rohstoffquellen.

So haben Stärkeblends (Mischungen aus synthetischen abbaubaren Polyestern und reiner Pflanzenstärke) heute in ersten Anwendungen die Marktreife erreicht. Dass dieser Ansatz ökonomisch, und vor allem aber ökologisch vernünftig ist, belegen die guten Resultate vergleichender Ökobilanzen.

Mittel bis langfristig wird der Anteil nachwachsender Rohstoffe zur Herstellung von BAW weiter steigen. Gründe dafür sind:

- Forderung einer nachhaltigen Entwicklung (AWG)
- Positive Rohstoffentwicklung für BAW
- Zukünftige Verknappung von fossilen Rohstoffen (langfristig)
- Steigende Umweltkosten von Standardpolymeren

Kunststoffe auf fossiler Basis werden vor allem zu Massenkunststoffen verarbeitet. In manchen Bereichen wie vor allem im Lebensmittelbereich könnten BAK als bioabbaubare Verpackungen, wie Folien, Flaschen, Becher und Ähnliches als kurzlebige Verpackungen ihren Einsatz finden. Nach Gebrauch sollen diese einer Kompostierung, Vergärung oder thermischen Verwertung (CO₂ neutral) zugeführt werden.

Werkstoffverfügbarkeit

Nachstehende Tabellen aus dem Abschlußbericht der Expertenkommission Niedersachsen geben eine Übersicht wichtiger Hersteller und ihrer Produkte.

Es zeigt sich, dass es für die gewünschte biologische Abbaubarkeit und die geforderten technischen Eigenschaften in der Anwendung erforderlich ist, die Produkte auf Stärke- wie auch auf Milchsäure-Basis als Hybride zu konzipieren, die Bausteine sowohl aus fossilen wie auch aus nachwachsenden Rohstoffen besitzen.

Zur Abschätzung der Verfügbarkeit von biologisch abbaubaren Kunststoffen wurden die Hersteller befragt. Ihre Angaben wurden nach den vier verschiedenen Kategorien strukturiert.

- Kategorie 1: Produkte mit verfügbaren Angaben zu Preisen und Kapazitäten
- Kategorie 2: Produkte mit verfügbaren Angaben zu Preisen
- Kategorie 3: Produkte ohne Angaben zu Preisen und Kapazitäten
- Kategorie 4: Produkte im Entwicklungsstadium

Die hier angegebenen Kapazitäten stellen die maximalen Anlagenkapazitäten dar. Bei allen aufgeführten Produkten kann davon ausgegangen werden, dass eine technische Realisierung möglich ist bzw. bereits stattgefunden hat.

1.1.1 Produkte mit verfügbaren Angaben zu Preisen und Kapazitäten

Rohstoffbasis: Polymere auf pflanzlicher Basis

<i>Produkt</i>	<i>Chemische Grundstruktur</i>	<i>Kapazitäten/Preise</i>	<i>Anwendungen</i>	<i>Unternehmen, Adressen</i>
Biocet	Cellulosediacetat	nur Rohstofflieferant Cellulosediacetat 70,000 t/a		Rhône-Poulenc Rhodia AG D-79108 Freiburg
BIOPAC	Stärke	Kapazität ist abhängig vom Produkt, z.B. Frühstücksschale 2-2,5 Mio. Trays/a Preise auf Anfrage	Einwegbesteck, Einweggeschirr,	BIOPAC (Eine Abt. der Franz Haas Waffelmaschinen GmbH) Ebreichsdorfer Str. 18 A-2512 Tribuswinkel, Austria
Verpackungs popcorn	Basis: Maiskörner	ca. 5000 m ³ /a ca. 40 €/m ³	Füllmaterial, vergleichbar mit Styropor.	Persika Naturpack GmbH, Dehnberg 3, D-91207 Lauf
Bioform	Basis: Getreidestroh, Getreidestärke und Zellulose ca. 8 Mio. Formteile pro Jahr Preisniveau unter dem von Wellpappe oder Kunststoff.	ca. 8 Mio. Formteile pro Jahr Preisniveau unter dem von Wellpappe oder Kunststoff.	Verpackungen, Baudämmstoffe	Bioform GmbH Am Industriegelände 15 D-19288 Ludwigslust
flupis	Basis: Stärke und Altpapier	60 m ³ /h (Nov. 97) 12-16 €/ 0,5 m ³ Sack	Loose-fill-Material, Verpackungsmaterial zum Schutz von Transportgütern	PSP Papierschaum Priehs GmbH Desmastraße 3-5 D-28832 Achim

Tabelle 1 Polymere auf pflanzlicher Basis

Die Tabelle bestätigt, dass derzeit der größte Anteil an biologisch abbaubaren Kunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffen auf Stärkebasis zurückzuführen ist. Stärke ist überall verfügbar und bietet ein besonders gutes Preis-Leistungs-Verhältnis.

Auch bei den übrigen biologisch abbaubaren Werkstoffen auf fossiler Basis kann davon ausgegangen werden, dass weitere Kapazitäten bereit gestellt werden können.

Mischung aus nachwachsenden und synthetischen Polymeren

<i>Produkt</i>	<i>Chemische Grundstruktur</i>	<i>Kapazitäten/Preise</i>	<i>Anwendungen</i>	<i>Unternehmen, Adressen</i>
Bioflex, Bioplast, Biopur	Stärke und andere vollsynthetische biol. abbaubare Polymere	Biotec: ca. 50.000 t/a ca. 3,5 €/kg (Granulatpreis)	Bioflex: kompostierbare Verbrauchsgüter, Inliner für Biomülltonnen, Biomüllsäcke, Gartenbaufohlen, Verpackungen, Tragetaschen, Etiketten, Banderolen, Raschelsäcke, Wurzelnetze, Absperrbänder, Folienbändchen, Einweggeschirr, Eimer, Behälter, etc. Bioplast: Granulat als Grundstoff zur Spritz- und Blasextrusion Biopur: Loose-fill, dickwandige und dünnwandige Verpackungen	BIOTEC GmbH & Co. KG (Melitta Tochter) Postfach 100220 D-46422 Emmerich
Mater-Bi	Stärke und Polycaprolacton	7.000 t/a (Nov. 97) Granulat: 4,5 €/kg, je nach Type	Müllbeutel, Einkaufstüten, Folien für Windeln, Verpackungsfolie für Zeitungen, beschichtetes Papier und Pappe, Netze. Mechanische Eigenschaften entsprechen denen von LDPE.	Novamont GmbH Kölner Str. 3A D-65760 Eschborn
Wenterra	Stärke und Polycaprolacton	Kapazität: ausreichend Fertigungsgrößen: 5 l - 240 l Nennvolumen ca. 4 €/kg	Biosäcke auf Basis von Mater-Bi	Wentus Kunststoff GmbH Eugen-Diesel-Straße 12 D-37671 Hötter

Tabelle 2 Mischung aus nachwachsenden und synthetischen Polymeren

Fermentativ erzeugte Polymere und Monomere

Produkt	Chemische Grundstruktur	Kapazitäten/Preise	Anwendungen	Unternehmen, Adressen
Biopol	PHB/V Copolymere	Granulat: 1000 t/a 7.5 €/kg	Blasformen in der Kosmetikindustrie, Verschlüsse für Flaschen, Tuben und Gläser, Golf T's, beschichtete Papiere und Pappen	Monsanto Deutschland GmbH Immermannstraße 3 D-40210 Düsseldorf (Geschäftsfeld ab dem 31.12.1998 geschlossen)
EcoPLA	Polymilchsäure	ca. 4.000 t/a ≤ 2,5 €/kg (zukünftig)	Abfallsäcke für Bioabfall, Einweggeschirr, Verpackungsfolien für die Schnellgastronomie, Anwendungen in der Landwirtschaft und Gartenbau, Einweggeschirr	Cargill Dow Polymers Box 5698 Minneapolis, MN 55440-5690 2040 Dow Center Midland, MI 48674

Tabelle 3: Fermaentativ erzeugte Polymere und Monomere

Petrochemisch erzeugte Monomere

Produkt	Chemische Grundstruktur	Kapazitäten/Preise	Anwendungen	Unternehmen, Adressen
Bionolle	aliph. Diole und aliph. Dicarbonsäuren	Pilotanlage 10 t/a (seit '92) semikommerzielle Anlage 3000 t/a (seit Okt. '93) ca. 5,5 €/kg Ziel: ca. 3,5 €/kg mitkommerzieller Anlage	Tragetaschen, Lebensmittelverpackungen, Papierbeschichtungen, Serviertablets, Angelschnüre, Netze, Seile, Windeln, med. Einwegartikel, Damenbinden, Shampoo-flaschen, Kosmetikflaschen, Bestecke, Bürsten, Kämmе, Tassen, Becher, Polster, etc.	Showa Denko Europe GmbH Uhländstraße 9 D-40237 Düsseldorf
BAK 1095, BAK 2195	Copolyesteramide	Kapazität: z.Zt. mehrere tausend Jahrestonnen Granulat: < 4 €/kg (Nov. 97)	Folien, Spritzguss, Hohlkörper, Fasern	Bayer AG D-47829 Krefeld
Walocomp	Copolyesteramide u. andere BAW	Folien: 5-6 €/kg	Folien, Beutel, Schläuche, Verpackungen	WOLFF Walsrode AG Postfach 15 D-29655 Walsrode
TONE Polymers	Polycaprolacton	> 3000 t/a Preise je nach Abnahmemenge, ab 100 t < 4,5 €/kg	Lebensmittelfolien, Abfalltüten, Pflanzbehälter, Controllead Release Matrices, Gipsersatz f. orthopäd. Anwend., Masterbatches, Mold Release, Klebstoff	Union Carbide Chemicals GmbH Mörsenbroicher Weg 200 D-40470 Düsseldorf

Tabelle 4: Petrochemisch erzeugte Monomere

Polymere auf pflanzlicher bzw. tierischer Basis

<i>Produkt</i>	<i>Chemische Grundstruktur</i>	<i>Kapazitäten/Preise</i>	<i>Anwendungen</i>	<i>Unternehmen, Adressen</i>
Biocellat	Cellulosediacetat	Preise für gefüllte Hüllen auf Anfrage	Hohlkörper (Hüllen, Flaschen etc.)	Aeterna Lichte GmbH & Co. KG (Verarbeiter von Bioceta; Hersteller: Rhône-Poulenc) Ellerholsdamm 50 D-20457 Hamburg
ULTRAPHAN	Cellulose 2½ - acetat	Folie: > 10 €/kg	<i>Verpackung:</i> Kartonage-Sichtfenster, Klarsichtschachteln, Hochglanzkaschierung z. B. für Faltschachteln <i>Papierverarbeitung:</i> Briefmarkenalben, Abdeck- und Schutzfolien, Fototaschen, Hochglanzkaschierungen von Prospekten und Büchern <i>grafisches Gewerbe:</i> Trickfilm-Zeichenfolie, Zeichenfolie, Montagefolie, Druckträger, Rasterfolie, Overheadfolie <i>Sonstiges:</i> Selbstklebeetiketten, Klebebänder, Filzschreibpatronen, Skalen und Schablonen, Schnürsenkel-Spitzen	Lonza-Folien GmbH Weilstraße 2 D-79576 Weil am Rhein (die englische Firma Courtaulds hat im Dez. 1996 die Ultraphan-Produktlinie übernommen)
Coffi- Collagen-folie	Collagen	Preise auf Anfrage	Umhüllung von Lebensmitteln	Naturin GmbH & Co. Badeniastraße 13 D-69469 Weinheim
FARMfill	Basis: Maisgrieß	Verpackungschips: ca. 20-45 €/m ³ je nach Abnahmemenge	schüttfähiges Polstermaterial	Hubert Loick VNR GmbH Heide 26 D-46286 Dorsten-Lembeck
AEROMYLChips	Stärke	25 €/m ³ (500 l ≈ 10 kg)	Polster- und Füllmaterial, Viehfutter, Stärkemittel für Wäsche	Südstärke GmbH Königsbacher Weg 2a D-86529 Schrobenhausen

Tabelle 5: Polymeren auf pflanzlicher bzw. tierischer Basis

Nachwachsende Rohstoffe und/oder vollsynthetische Polymere

<i>Produkt</i>	<i>Chemische Grundstruktur</i>	<i>Kapazitäten/Preise</i>	<i>Anwendungen</i>	<i>Unternehmen, Adressen</i>
ENVIROphan	Stärke	z.B. Biomüllbeutel 330 x 420 mm (gestaffelte Preise) z.B. 109 € /1000 Stück (bei Abnahme unter 100.000, lose im Karton)	Biomüllbeutel, Tragetaschen, Hygieneartikel, Klinikbedarf, Folien für die Land- und Forstwirtschaft, Verpackungsfolie, etc.	4P FOLIE Forchheim GmbH Zweibrückenstraße 15-25 D-91301 Forchheim
Green-PAC ECO-FOAM	Stärke	siehe unter National Starch and Chemical Company		Folag AG CH-6203 Sempach-Station (Produktion unter Lizenz von National Starch and Chemical Company)
Green PAC ECO-FOAM	Stärke	Einführungspreis ca. 50 Fr./250 Litersack	Schüttfähiges Polster- und Füllmaterial	National Starch & Chemical GmbH (Vertrieb von Green Pac Eco Foam durch die Folag AG) Im Altenschemel 55 D-67435 Neustadt
Renatur	Stärke	380 l Sack ca. 10 € 500 l Sack ca. 13 €	Polster- und Füllmaterial	STOROpack Hans Reichenecker GmbH & Co. Postfach 13 33 D-72555 Metzingen
NOVON NOVONplus, Degra- NOVON /	Stärke Stärke und andere nachw. Rohstoffe	Granulat: 4-5 €/kg je nach Klasse	Bio-Abfallsäcke, Schutzfolien für Lebensmittel, Dickfolien, Papierbeschichtungen, Golf T's, Einweggeschirr, Opferkerzenbecher, Pflanztöpfe, Behälter (hergestellt durch Blasextrusion), Füllmaterial, etc. Verrottungsbeschleuniger	NOVON International, Inc. (Vertrieb: ECOSTAR Kunststoff-Zusätze Vertriebsgesellschaft mbH) 181 Cooper Avenue Tonawanda, New York, 14150-6645
natura	Stärke, Cellulose (und andere vollsynthetische, biologisch abbaubare Polymere)	Granulat: ca. 4 €/kg	Sammelsäcke, Bio-Abfallsäcke, Inliner, Raschelsäcke, Klippnetze	natura Verpackungs GmbH Poststraße 4 D-48499 Salzbergen
Ecoflex	aliph. Diole und aliph. + arom. Dicarbonsäuren	Erwartete Preise vergleichbar mit anderen Massenpolyestern (z. B. PET, PBT). 2,5- 5 € /kg	z.B. Folien, Faserverbundstoffe, Beschichtungen, Fasern, Fleece, Extrudate	BASF AG D- 67056 Ludwigshafen
PetroComp	Polycaprolacton Blends	5-6 €/kg	Anwendung ist vergleichbar mit PE-Folien	Petroplast AG CH-9204 Andwill SG Schweiz

Tabelle 6: Nachwachsende Rohstoffe und/oder vollsynthetische Polymere

1.1.2 Produkte ohne Angaben zu Preisen und Kapazitäten

Natürliche Polymere auf pflanzlicher und tierischer Basis

Produkt	Chemische Grundstruktur	Anwendungen	Unternehmen, Adressen
Galita	Gelatine	Folien	Deutsche Gelatine Fabriken Stoess & Co. GmbH Werk Friedrich-Wilhelm.Str. 155 D-32423 Minden (mehrere Adressen in D) c
Bioceta Biocellat	Cellulosediacetat	Blasfolien : Folien f. Verpackungen Blasformen : Trockenpulver, Behälter f. Schmieröl Kalandrierte Folien: Warmverformung Schlauchfolien: Skinverpackungen	

Tabelle 7: natürliche Polymere auf pflanzlicher und tierischer Basis

1.1.3 Produkte im Entwicklungsstadium

Rohstoffbasis: Nachwachsende Rohstoffe und/oder vollsynthetische Polymere

Produkt	Chemische Grundstruktur	Kapazitäten/Preise	Anwendungen	Unternehmen, Adressen
	Stärke	Native Stärke: ca. 0,5 €/kg Verbund: geringfügig über denen der Massenkunststoffe	Thermoplastische, abbaubare Polymerwerkstoffe z. B. Streudose	Buck Werke GmbH & Co. Mozartstraße 2 D-83435 Bad Reichen- hall
	Stärke		z. B. Einschlagfolien, Sichtfenster, Tiefziehblister, Beutel, Overheadfolien	Dr. Frische GmbH Industriestraße 13 D-63755 Alzenau
	Hydroxypropylcellu- lose-acetat		Thermoplastische biologisch abbaubare Werkstoffe, z. B. Faserverbund	WOLFF Walsrode AG Postfach 15 15 D-29655 Walsrode
Sconacell BSL	Stärke-acetat (DS2,2) und blend's		Spritzgussartikel, Tiefzieh und Verpackungsfolie, Faserverbundmaterialin	Olevinverbund GmbH Werk Schikopau Postf 1163 D-06201 Merseburg
	Block- Copolyesteramid	Block- Copolyesteramide: ≤ 2,5 €/kg	Fasern, Folien, Formkörper, Schmelzkleber	EMS-Chemie AG (Lizenznehmer: Petroplast) CH-7013 Domat/Ems, Schweiz

Tabelle 8: Nachwachsende Rohstoffe und/oder vollsynthetische Polymere

Es ist jedoch zwischen Anlagenkapazitäten und tatsächlichen Produktionsmengen zu unterscheiden. Die Kapazitätsangaben sind oftmals deutlich größer als die Produktionsangaben, weil sich die Daten häufiger auf Anlagenplanungen beziehen und Anlagen in der Regel nur zu einem geringen Anteil ausgelastet sind. Ferner erhofft man sich durch die Erschließung neuer Marktsegmente (z. B. Verbundsysteme mit Papier) oder auch durch neue Techniken (z.B.

Kapseln mit kontrollierter Wirkstofffreisetzung für die Landwirtschaft) eine Erhöhung der momentanen Absatzmengen. Angaben zu den Mengen der produzierten BAW im Zeitraum von 1987 bis 1998 unterliegen einer großen Unsicherheit, da abgesicherte Daten nicht vorliegen.

Produktfindung

Die Auflistung der Materialien im letzten Kapitel spiegelt die mögliche Einsatzvielfalt von BAWs wieder. Trotz dieser Fakten findet man in alltäglichen Konsumgütern kaum die Anwendung von Biopolymeren. Wie schon in diesem Konzept öfters erwähnt ist das Preis – Qualitätsverhältnis von Biopolymeren noch nicht auf einem Stand der mit Standardkunststoffen vergleichbar ist. Aus diesem Grund müssen Produkte gefunden werden, die von dem Mehrwert der biologischen Abbaubarkeit unmittelbar profitieren. Das heißt, dass es durchaus eine Vielfalt von Produkten gibt, die einen höheren Materialpreis in Bezug auf die Marktfähigkeit tolerieren. Im Rahmen des Konzeptes wurden mit mehreren interessierten Kunststoffverarbeitenden Betrieben Produktdefinitionen erarbeitet. Es werden im Weiteren einige der Schlüsselprodukte näher beleuchtet.

1.1.4 Plastikkarten

Die Anzahl umlaufender Plastikkarten weltweit steigt stetig an. Der europäische Durchschnittsbürger besitzt drei Karten in seiner Geldbörse. Hochgerechnet ergibt das ca. 1.125.000.000 Karten², die in Europa im Umlauf sind. Etwa 30% dieser Karten sind Einwegprodukte und 50% haben eine Lebensdauer unter einem Jahr. Nur etwa 25% aller Plastikkarten sind für den langfristigen Gebrauch bestimmt (Anwendungsdauer 3 - 5 Jahre).

Plastikkarten, wie sie jeder aus dem alltäglichen Gebrauch kennt (Bankomatkarten, Kundenkarten, Schiliftkarten, etc.) wurden bisher großteils aus Polyvinylchlorid (PVC) hergestellt. Diese besitzen aber das technische Potential, in Zukunft aus biologisch abbaubaren Kunststoffen gefertigt werden zu können. Vor allem kurzlebige Kartenprodukte wie Schiliftkarten, Eintrittskarten und Scratch-Off-Telefonwertkarten sind für den Einsatz von Biopolymeren gut geeignet.

² aus LKT-TGM, Craft Proposal Pro Bio Plastics, Vienna 2002

Recherchearbeiten haben ergeben, dass es auch in Österreich schon vor Jahren Anstrengungen gegeben hat, Biopolymere in den Kartenmarkt zu integrieren. Die Literatur kennt Patente aus Japan/Europa (z.B. EP 0890614 A1; Biodegradable Card Base 13.01.1999). Aufgrund fehlender mechanischer Eigenschaften ist eine Umsetzung bisher gescheitert.

Die Herstellung von Plastikkarten erfolgt über verschiedene Verfahren. Halbzeug zur Herstellung von Karten sind extrudierte sowie kalandrierte Platten. Die Plattendicke darf hier in einem Bereich von 0,2-0,5 mm liegen um weiterverarbeitet werden zu können. Das Kalanderverfahren ist eine teure Technologie zur Herstellung von Platten. Durch diesen Verarbeitungsprozess liegen die üblichen Plattenpreise für z.B. PVC bei rund €3-4/kg Platte (Rohstoffpreis PVC ca. €0,7/kg). Nach Rücksprache mit einem österreichischen Kartenhersteller ist daher die Verwendung eines Rohstoffes mit einem Preis bis zu €1,5/kg auf das Produkt anwendbar. Nach Angaben des Herstellers wäre mit diesem Preis, durch marketingtechnische Ansätze sowie den Mehrwert der biologischen Abbaubarkeit, das Produkt auch marktfähig. Diese Annahme setzt jedoch die Konkurrenzfähigkeit des Materials in Bezug auf mechanische Eigenschaft voraus.

Das Eigenschaftsprofil von Karten wird durch sehr hohe mechanische Qualitätsanforderungen ausgezeichnet. Karten (vor allem Scheck und Codierkarten) unterliegen einer sehr eng definierten Kartennorm. Formteilgenauigkeit und Knickfestigkeit sind die zwei entscheidenden Parameter.

1.1.5 Essbesteck

In der Literatur und auch schon auf dem freien Markt sind Applikationen von Biopolymeren im Cateringbereich weitgehend vorhanden. Trotzdem ist die Wirtschaftlichkeit dieser Produkte noch nicht so weit gegeben, dass sich eine flächendeckende Nutzung durchgesetzt hätte. In diesem Fall ist im Gegensatz zu Karten weniger die fehlende Qualität sondern vielmehr die preisliche Komponente der innovationshemmende Faktor.

1.1.6 Ausziehbare Folien

Ausziehbare Folien finden als Halbzeug Verwendung zur Herstellung von allen Arten an Bändchen (z.B. Zigarettenverpackungen, Kabelkennzeichnungsbändchen, Dekorierbänder), Kabelfolien, Selbstklebebänder u.v.m. Die mechanische Grundvoraussetzung die der Werkstoff hier erfüllen muss, ist die „Ausziehbarkeit = Verstreckbarkeit“. Folien erfahren durch Verstreckung eine Ausrichtung der molekularen Struktur in Verstreckungsrichtung. Durch diese Ausrichtung wird das Produkt einerseits zu extrem dünnen Wandstärken verarbeitet,

andererseits profitiert man von der extremen Festigkeitssteigerung entlang der Verstreckungsrichtung. Das Produkt wird anisotrop, d.h. unterschiedliche Eigenschaftsabhängigkeit von der Belastungsrichtung. Die Ausziehbarkeit ist bei Stärkepolymeren aufgrund des Sprödverhaltens nicht ausreichend vorhanden. Die Literatur kennt allerdings Biopolyester die den mechanischen Anforderungen entsprechen. Es gilt eine kostengünstigere Lösung zu finden, die den hohen Ansprüchen dieser Foliengruppe entspricht.

1.1.7 Zusammenfassung von Anwendungsmöglichkeiten für BAW

Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die derzeitigen Gebrauchsanwendungen von BAW. In der Spalte Argumentation/Driver sind Überlegungen zu den Vorteilen der Verwendung von BAW.

Segment	Beispiele	Argumentation/Driver
Verpackung	Loose Fill Folien	→ Lebensmittelverpackungen biologisch verunreinigt, daher Recycling schwierig
	Hohlkörper, Flaschen, Trays, Blister, Netze, Säcke, Tüten	→ Stoffvielfalt erschwert konventionelles Recycling → kurzlebige Anwendungen
	Geschirr	→ Mehrweg ist nicht immer möglich bzw. günstiger
Fast Food Catering Imbiss	Besteck	→ Produkte durch Lebensmittelkontakt häufig biologisch verunreinigt
	Strohhalme	
	Becher	
Fasern, Textilien	Kleidung	→ atmungsaktiv
	Technische Textilien	→ Haptik
	Gewebe	→ Glanz
Spielzeug	Bastelmaterialien	→ pädagogischer Nutzen
	Baukästen/-steine	→ Umweltsicherheit/-erziehung
	Golf T's	
Convenience	(Bio-) Abfallsäcke	→ kurzlebige Artikel
	Hygieneprodukte	→ Recycling schwierig (s.o.)
	Ohrenstäbchen	→ Naturkontakt
Gartenbau	Pflanzentöpfe	→ Naturkontakt - Kompostierung naheliegend
	Steckunterlagen	→ Recycling durch Verschmutzung sehr schwierig
	Torfsäcke	→ geringere manuelle Kosten
Landwirtschaft	Düngerbänder	
	Bindematerial	
	Abdeckfolien	→ wie Gartenbau
Medizin	Mulchfolien	
	Bindegarne	
	Implantate	→ Unschädliche Resorption und Abbau im Körper
Sonstige	Operationsmaterial	→ kurze Lebensdauer
	Mundschutz	
	Handschuhe	
Sonstige	Funktionsträger	→ spezifische Anwendungsvorteile
	Befestigungstechnik	→ geringere manuelle/abfallwirtschaftl. Kosten
	Grablichter	→ Kompostierbarkeit gefordert
	Schreibmaterialien	→ Werbeeffekte etc.

Tabelle 9: Anwendungsmöglichkeiten BAW3

3 vgl. Käß in Kunststoffe 09/2002, Zurück zur Natur, Hanser Verlag, München 2002

Werkstoffselektion

Das Arbeitspaket Werkstoffselektion beinhaltet in erster Linie eine Abschätzung in wieweit österreichische Rohstoffe für den Einsatz im Materialsektor verfügbar und vor allem einsetzbar sind. Zu diesem Zweck wurden im Rahmen eines „Werkstoffscreenings“ einige Stärketypen sowie Verstärkungsstoffe untersucht.

Man muss bei Stärken prinzipiell zwischen zwei Gruppen von Stärken unterscheiden. Native Stärken sind unbehandelte Stärken deren Eigenschaftsprofile in der Lebensmittel- und Futtermittelindustrie genutzt werden. Native Stärken sind je nach Rohstoffherkunft (Mais, Kartoffel, Weizen,...) abhängig von der Menge in einem sehr niedrigen Preissegment anzusetzen. Angaben von österreichischen Herstellern liegen bei einer Größenordnung von ca. €0,4/kg.

Für technische Produkte (Bau, Textil, Papier, ...) werden in erster Linie modifizierte Stärken verwendet. Modifizierte Stärken sind preislich sehr weit gestreut. Die oft sehr aufwendigen Modifikationen können den Preis/kg sehr leicht auf ein Vielfaches von nativer Stärke steigen lassen.

Unter chemisch modifizierter Stärke versteht man jene Stärke, deren natürliche Eigenschaften auf chemischen Weg geändert wurden. Dies geschieht hauptsächlich durch polymeranaloge Umsetzung, dabei wird die Stärke mit mono-, bi-, oder polyfunktionellen Reagenzien bzw. Oxidationsmitteln behandelt. Bei der Modifikation werden vorzugsweise die Hydroxylgruppen der Polyglucane, der Stärke durch Veretherung, Veresterung oder selektive Oxidation umgewandelt. Eine andere Möglichkeit ist eine radikalisch initiierte Propfcopolymerisation von copolymerisierbaren ungesättigten Monomeren auf das Stärkerückrat.

Die Hauptaufgabe der Modifikation der Stärke liegt in der Vernetzung. Ein zu hoher Vernetzungsgrad hat negativen Einfluss auf die Verarbeitung. Das Resultat der Vernetzung sind unlösliche, aber quellbare Produkte.

Fermentative Stärke

Fermentative Stärke ist jene Stärke, die durch fermentative Prozesse unter Verwendung in der Natur vorkommender Organismen (Pilze, Algen, Bakterien) gewonnen wird.

Rekombinierbare Stärke

Stärke rekombinierten Ursprungs meint jene Stärke, die durch fermentative Prozesse gewonnen wird. Es werden jedoch für die Modifikation Organismen zur Hilfe genommen, die nicht

in der Natur vorkommen oder durch gentechnische Veränderung der in der Natur vorkommende Organismen (Pilze, Algen, Bakterien).

Biotransformierte Stärke

Biotransformierte Stärke bedeutet, dass Stärke (Amylose, Amylopektin oder Polyglucane) durch katalytische Reaktion von monomeren Grundbausteinen (welche im Allgemeinen oligomere Saccharide sind) insbesondere Mono- und Disacchariden hergestellt wird, indem ein Biokatalysator (auch Enzyme) zum Einsatz kommt.

1.1.8 Anwendung der Stärken – Stand der Technik - Patentrecherche

Ausgehend von dem ökologischen Ziel, nachwachsende Rohstoffe zur wirtschaftlichen Herstellung umweltverträglicher Produkte zu nutzen, bestand im vorliegenden Konzept die Aufgabe, ein kostengünstiges Verfahren zur Herstellung einer thermoplastisch verformbaren, biologisch abbaubaren Polymermischung auf Stärkebasis anzugeben, die auch noch bei sehr hohen Stärkeanteilen gut wasserformbeständig ist und keine Verfärbungen aufweist.

Um ein aussagekräftiges Bild über die Breite des möglichen Eigenschaftsspektrums von polymerisierter Stärke zu bekommen wurden im Rahmen von Vorversuchen native Stärken sowie modifizierte Stärkemuster zu Formmassen compoundiert. Die Vernetzung von Stärke wurde im Knetversuch sowie am Walzwerk durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde die Patentliteratur aufgearbeitet und in Anlehnung an bestehende Verfahrensanweisungen eine große Serienanzahl an Probemustern hergestellt. Es gilt Know-how aus den vorhandenen Patenten auf das bestehende Produktsortiment (Stärkensortiment) von dem österreichischen Rohstofflieferant anzuwenden. Mit großem Potential bewertete Patente sind:

- Low cost thermoplastic moulding material prodn. for packaging
DE19533800, Prof. Dr. Werner Berger, 1997
- Biopolymer Formulations and processes for preparing them
EP0137538, Jan Jakob Blecker, Shell int. research
- Biologisch abbaubarer Werkstoff, bestehend im wesentlichen aus oder auf der Basis thermoplastischer Stärke
DE19624641, Biotec Naturverpackungen GmbH, 1998

- Thermoplastische Mischung auf Stärkebasis zur Herstellung von abbaubaren Formkörpern

DE19729272, Dr. Arnold Schneller, Hoechst AG, 1999

WO 90/05161 (PCT/CH89/00185) beschreibt die Herstellung thermoplastisch verarbeitbarer Stärke durch Beimischung eines Zuschlagstoffes zu im wesentlichen nativer oder natürlicher Stärke und Schmelzen des Gemisches durch Zuführen von Wärme und mechanischer Energie. Beim Zuschlagstoff handelt es sich um eine Substanz, welche die Schmelztemperatur der Stärke erniedrigt, so dass die Schmelztemperatur der Stärke zusammen mit diesem Zuschlagstoff unterhalb der Zersetzungstemperatur der Stärke liegt. Konkret handelt es sich beim Zuschlagstoff beispielsweise um DMSO, 1,3-Butandiol, Glycerin, Ethylenglycol, Propylenglycol, Butylenglycol, Diglycerid, Diglycolether, Formamid, N,N-Dimethylformamid, N-Methylformamid, N,N'-Dimethylharnstoff, Dimethylacetamid, N-Methylacetamid. Die WO 90/05161 (PCT/CH89/00185) schlägt ausserdem den Zusatz eines Vernetzungsmittels aus der Gruppe der zwei- oder mehrwertigen Carbonsäuren und/oder Anhydride, der Halogenide und/oder Säureamide von zwei- oder mehrwertigen Carbonsäuren, der Derivate von zwei- oder mehrwertigen anorganischen Säuren, der Epoxide, Formaldehyd, der Harnstoffderivate, der Divinylsulfone, der Isocyanate, der ein- oder mehrwertigen Oxoverbindungen sowie Cyanamid vor.

DE-A 39 31 363 bezieht sich auf ein Verfahren, zur Reduktion der Quellbarkeit von Stärke durch Modifikation, dergestalt dass das Vernetzungsreagenz pur oder in verkapselter Form hinzugegeben wird, und die Vernetzungsreaktion durch anschliessendes Tempern bei erhöhter Temperatur erreicht wird. Die eingesetzten Vernetzungsmittel sind u. a. Harnstoffderivate, Urotropin, Trioxan, Di- oder Polyepoxide, Di- oder Polychlorhydrine, Di- oder Polyisocyanate, Kohlensäurederivate, Di-Ester oder auch anorganische Polysäuren, wie Phosphorsäuren oder Borsäuren. Die beschriebenen Mischungen zeichnen sich dadurch aus, dass sehr hohe Gewichtsverhältnisse an Vernetzer eingesetzt werden (zwischen 10 und 100 Gew.-%), um durch die anschliessende thermische Behandlung eine entsprechende Erhöhung der mechanischen Stabilität zu erzielen.

Aus US 2,801,242 ist ein Verfahren zur Herstellung von Distärke-Phosphaten mit Natriumphosphaten bekannt. Hierbei werden an ein Phosphat Molekül zwei unterschiedliche Stärkekettens angebonden und auf diese Weise überbrückt. Dabei wird allerdings die Stärke nicht plastifiziert, vielmehr bleibt das Stärkekorn erhalten.

Die US 2,938,901 offenbart ähnlich wie die US 2,801,242 ein Verfahren, bei dem das ungelöste und nichtgequollene Stärkekorn in Suspension mit Phosphorsäuren und ihren Salzen modifiziert wird, um nichtstaubende Puder für die Anwendung im Operationssektor herzustellen.

Gemäss der US 2,328,537 werden anorganische Chloride zur Modifizierung von Stärkekörnern in wässriger Suspension eingesetzt. Auch diese Stärkemischungen werden vor oder während der Verarbeitung mit diesen Chemikalien nicht thermoplastifiziert.

WO 94/21236 beschreibt die Verwendung von Vernetzern, insbesondere Epichlorhydrin, derart, dass eine Mischung von Stärke und Vernetzer direkt verpresst wird. Solche Stärkemischungen sind als Bindemittel in Tabletten beansprucht.

Die Anwendung von difunktionellen Carbonsäuren, insbes. Adipinsäure als Vernetzer wird eingehender auch in der EP-A 0 143 643 diskutiert.

DE-A 23 08 886 beschreibt ein Verfahren, bei dem eine phosphathaltige Lösung auf Stärke aufgesprüht wird. Durch das anschliessende Kneten wird eine krümelige Masse erhalten, die im Anschluss über Zeiten von mehreren Stunden bei Temperaturen von mindestens 140 DEG C erhitzt wird. Das Produkt lässt sich nach dem Abkühlen sehr leicht in Wasser lösen. Den guten niedrigviskosen Eigenschaften steht der Nachteil der heterogenen Umsetzung gegenüber.

Aus EP-A 0 391 853 kennt man die Verwendung von Stärke mit Phosphatgruppen zur Herstellung thermoplastischer Stärken. Hierzu wird native pflanzliche Stärke eingesetzt. Die Eigenschaften werden durch unterschiedliche Zugaben vorwiegend zweiwertiger Kationen modifiziert.

EP-A 0 298 920 beschreibt die Bereitstellung von nativer Stärke mit Phosphatgruppen, die dadurch modifiziert wird, dass durch einen Waschprozess mit entmineralisiertem Wasser zunächst die freien Elektrolyte herausgewaschen werden. Im Anschluss daran werden die sauren Protonen der Phosphatgruppen durch vorwiegend bivalente Ionen, wie Mg^{2+} oder Ca^{2+} , ersetzt und die Stärke auf diese Weise modifiziert.

Solarek, D. B., in "Modified Starches": Properties and Uses, 1986, p. 97-112, Hrsg. Otto B. Publisher, Boca Raton, Florida reflektiert den Stand der Technik der Modifikation von Stärke mit Phosphaten, überwiegend in Suspension.

1.1.9 Verarbeitung von modifizierten Stärken

Man kann selbstverständlich bei den selbst hergestellten Probemuster nicht von marktreifen Formmassen sprechen, die weite Streuung der Eigenschaften der erzeugten Muster zeigt/demonstriert aber das breite Eigenschaftsspektrum von Stärkeapplikationen. Die nachfolgend beschriebenen Stärkemuster sind vorläufig noch durchgehend wasserlöslich und entsprechen nicht dem farblichen Standard für Produktanwendungen. Es wurde aber ein Basis Know-how angelegt um in einem Folgeprojekt im Sinne des Effizienzprinzips direkt mit aussichtsreichen Versuchsprogrammen starten zu können.

Alle Serien bestehen zu 100% aus biologisch abbaubaren Stoffen. Der Stärkegehalt variiert in einem Bereich von 50-80%. Die restlichen Zusatzstoffe sind in erster Linie höherwertige Alkohole, Biopolyester und Wasser. Bei all den im Stand der Technik beschriebenen Polymeren bzw. Polymermischungen, enthaltend thermoplastische Stärke oder basierend auf thermoplastischer Stärke wird davon ausgegangen, dass zunächst die thermoplastische Stärke durch Umwandlung aus nativer Stärke mit einem weitgehend niedermolekularen Plastifizier- oder Quellmittel bewerkstelligt wird. Erst anschließend werden gegebenenfalls weitere Komponenten mit der so hergestellten thermoplastischen Stärke rein physikalisch oder auch teilweise chemisch gemischt. Als Zuschlagstoffe und Plastifiziermittel, die die Schmelztemperatur der Stärke erniedrigen und einen ausreichenden Löslichkeitsparameter besitzen, werden bisher, niedrig molekulare Additive, unter anderem wie DMSO, Butandiol, Glycerol, Ethylenglycol, Propylenglycol, Diglycerid, Diglycolether, Formamid, DMF, Dimethylharnstoff, Dimethylacetamid, N-Methylacetamid, Polyalkenoxid, Glycerinmono- oder -diacetat, Sorbitol, Sorbitolester sowie Zitronensäure vorgeschlagen und verwendet. (Patent Bayer s.o.). Als Weichmacher wurden daher die Versuche mit Glycerin durchgeführt, welches in unterschiedlichen Mengen zugegeben wurde. Glycerin wird in der Literatur als natürliches Vernetzungsmittel beschrieben. Es zeichnet sich zusätzlich durch seine Eigenschaft als Gleitmittel aus. Neben Glycerin wurden zusätzlich als Vernetzungsmittel folgende Chemikalien verwendet: Glyoxal, Phtalsäureanhydrid, Oxalsäure, Formaldehyd und Glutarsäure. In Form reaktiver Extrusion wurden die Formmassen hergestellt. Diese Vorversuche sind im Hinblick auf eine systematische Formmassenentwicklung notwendig.

Amitrolit 8850 ist eine modifizierte Kartoffelstärke von der Firma Agrana. Amitrolit 8850 hat einen hohen Substitutionsgrad, ist Kaltwasserlöslich und vorvernetzt. Diese Aufbereitungsschritte erklären den Preis von rund €1,8/kg. Bei den Versuchen wurden die Zusatzstoffe Wasser und Glycerin beigegeben.

Anfangs wurde ermittelt, welcher Glyceringehalt notwendig war um die Probe den Knetkammern entnehmen zu können. Es wurden Glycerinmengen von 16 – 50 Gewichtsprozent der Stärke beigelegt. Bei einem Glyceringehalt um 16% wurden Inhomogenitäten in der Masse festgestellt. Weiters war auch eine farbliche Veränderung feststellbar. Die Farbe des Stärkepulvers war weiß. Der Prozess der Materialherstellung färbt die Masse braun. Je nach Höhe des Glyceringehaltes ergaben sich weiche und harte Massen.



Abbildung 19: Probe A1 (siehe Anhang)



Abbildung 20: Probe A3 (siehe Anhang)

Das linke Bild zeigt eine weiche Masse, hier beträgt der Glyceringehalt 50 Gewichtsprozent der Stärke. Die Masse am rechten Bild ist ebenfalls weich, allerdings ist die Oberfläche weniger klebrig wie bei Bild 18. Die Masse auf dem rechten Bild enthält einen höheren Anteil an Wasser ($66\% = \frac{2}{3}$) als die Masse auf dem Rechten (50%). Der Glycerin Anteil beträgt bei der helleren Probe 33% ($\frac{1}{3}$) und bei der dunkleren Masse 50% . Es ist somit zu erkennen, dass die Farbe vom Wasser- und Glyceringehalt beeinflusst werden kann. Neben diesen Einflussfaktoren, spielt auch die Temperatur eine wichtige Rolle. Bei einer zu hohen Temperatur kommt es zu einer Karamellisierung der Stärke und die Farbe der Masse wird sehr dunkel.

Um das chemische Reaktionsverhalten von Stärken näher zu untersuchen wurde die Stärke vorgetrocknet. Native Stärke hat einen hohen Anteil an Restfeuchtigkeit von bis zu 16% . Getrocknete Stärke zeigt ein gänzlich anderes Verhalten. Die Stärke wurde bei diesen Versuchsreihen erst getrocknet und dann mit LPO gecoatet, dieser Vorgang dauerte ca. 5 min. Dann erst wurde Glycerin beigegeben und die Drehzahl im Knetter von 20 auf 30 U/min geändert. Nach 5 min Knetzeit, wurde Glyoxal als Vernetzungsmittel beigegeben und anschließen noch 10 Minuten lang geknetet.

Bei der Entnahme war die Masse weich, als sie dann abkühlte wurde sie hart. Die entnommene Masse wies keine inhomogenen Stellen auf.



Für eine weitere Probenserie wurde eine modifizierte Maisstärke der Firma Agrana herangezogen. Amitrolit 8860 ist eine chemisch modifizierte Maisstärke mit hohem Substitutionsgrad. Sie ist kaltwasserlöslich sowie vorvernetzt. Der Preisbereich liegt wie bei Amitrolit 8850 bei knapp €2/kg. Die Proben wurden mit Stärke, Wasser und Glycerin durchgeführt. Im Anschluss wurden alle Parameter sowie Rezepturelemente in unterschiedlichen Anteilen getestet. Durch Variation von Temperatur, Knetzeit und Rezeptur konnte das weite Eigenschaftsspektrum dokumentiert werden.

		
Maisstärke, 50% Glycerin, Wasser klebrig, duktil	Maisstärke, 50% Glycerin, Wasser Nicht klebrig, gelartig	Maisstärke, Glyoxal, Wasser Hart,
		
Kartoffelstärke nativ, Wasser Kleisterklumpen	Kartoffelstärke, Glycerin, Wasser Spröde, klebrig	Maisstärke getrocknet, Wasser, Glyoxal, hart, nicht klebrig,

Die sechs Abbildungen zeigen einen kleinen Teil des umfangreichen Versuchsprogrammes. Die vollständige Auflistung des Werkstoffscreenings mit Abbildungen und Rezepturen sowie Verfahrensanweisungen ist im Anhang dokumentiert.

1.1.10 Hilfs- und Verstärkungsstoffe

Im Rahmen des Konzeptes wurde im Hinblick auf zukünftige Entwicklung von Schlüsselprodukten wie Karten und andere technische Produkte die Möglichkeit der Eigenschaftsverbesserung durch Zugabe von Hilfsstoffen untersucht. Durch Erfahrungen v.a. aus dem Automotivsektor ist bekannt, dass Faserwerkstoffe ein großes Entwicklungspotential darstellen.

1.1.10.1 Weichmacher und Vernetzungshilfe Glycerin

Glycerin kann auf Grund seiner ähnlichen chemischen Struktur als Weichmacher für thermoplastische Stärke verwendet werden. Glycerin besitzt den Vorteil, dass auf Grund des niedrigen Dampfdruckes eine thermoplastische Verarbeitung in offenen Systemen, beispielsweise bei der Filmextrusion, im Temperaturbereich oberhalb 200°C, möglich ist. Daneben ist Glycerin ungiftig, biologisch abbaubar, und als Lebensmittelzusatzstoff zugelassen. In der gegenständlichen Diplomarbeit wurde die Plastifizierung der nativen Stärke mit Glycerin als Weichmacher im Kneter sowie am Walzwerk durchgeführt. Es wird eine Quellung der Stärkekörner mit dem Weichmacher Glycerin beobachtet.

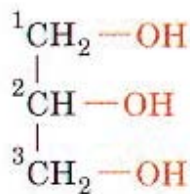


Abbildung 2: Chemische Struktur Glycerin

Das Fehlen von Weichmachern kann selbst mit höherer thermischer oder mechanischer Energie nicht wettgemacht werden. Ein zu hoher Weichmacheranteil (über 50%) wirkt ebenfalls der Plastifizierung und der Homogenität entgegen. Ein weiterer wesentlicher Punkt bei der Umwandlung der nativen Stärke in thermoplastischer Stärke ist die Herabsetzung des Schmelzpunkts, damit eine molekulare Zersetzung der Stärke verhindert wird. Diese Zersetzung kann durch Plastifizierungsmittel bzw. Weichmacher verhindert werden, was wiederum für den Einsatz von Glycerin als solchen spricht.

1.1.10.2 Fasern

Den ungenügenden mechanischen Eigenschaften thermoplastischer Stärken entgegenzuwirken ist die Zugabe von Fasern ein sinnvolles Mittel. Dabei handelt es sich um Pflanzenfasern wie z. B. Flachs, Hanf, Jute oder Ramie (Zellulosefasern), die in biopolymere Matrices (Stärke) eingebettet werden. Solche Faserverbunde können nach ihrer Nutzungsdauer durch CO₂-neutrale thermische Verwertung oder durch Kompostierung und durch klassisches Recycling

umweltverträglich im Stoffkreislauf geführt werden. Bei der Verwendung konventioneller Kunststoffe und Faserverbunde auf petrochemischer Basis sind Produktion, Nutzung und Entsorgung unter dem Gesichtspunkt der Umweltverträglichkeit oftmals sehr problematisch und mit erheblichem Aufwand verbunden. Im Rahmen des Konzeptes wurden verfügbare Fasern untersucht. Ein besonderes Augenmerk liegt in der Einarbeitbarkeit der Faser in die Polymermatrix. Es gilt den richtigen Materialanlieferungszustand zu bestimmen, um eine eindeutige Chargenidentifikation gewährleisten zu können.

Das ursprüngliche Einsatzgebiet für die Faserverbundwerkstoffe liegt vor allem in der Luft- und Raumfahrt. Mittlerweile werden diese Konstruktionswerkstoffe jedoch auch für zahlreiche andere technische Anwendungen eingesetzt. Die Verwendung von Faserverbundwerkstoffen ist immer dann besonders sinnvoll, wenn es darauf ankommt, hohe Festigkeiten und Steifigkeiten bei geringem Gewicht zu erzielen. In einem Faserverbundwerkstoff nimmt die Faser die Aufgaben der Verstärkung wahr und muss daher eine hohe Zugfestigkeit und Steifigkeit aufweisen, während die Matrix in der Regel ein zeit- und temperaturabhängiges Materialverhalten aufweist sowie eine deutlich geringere Zugfestigkeit und eine vergleichsweise höhere Dehnung besitzt. Das bedeutet, dass die mechanischen Eigenschaften der Faser das Steifigkeits- und Festigkeitsverhalten des Verbundes entscheidend prägen. In der Regel werden sehr dünne Fasern eingesetzt, da diese ein großes Oberflächen/Volumen-Verhältnis aufweisen, welches sich günstig auf die Haftung zwischen Faser und Matrix auswirkt. Das Fasermaterial richtet sich nach dem gewünschten Steifigkeits- und Festigkeitsverhalten des Verbundes. Weitere Auswahlkriterien zur Bestimmung der geeigneten Verstärkungsfaser sind:

- Bruchdehnung
- Wärmebeständigkeit
- Haftungsverhalten zwischen Faser und Matrix
- Dynamisches Verhalten
- Langzeitverhalten
- Preis und Verarbeitungskosten

Naturfasern lassen sich in pflanzliche, tierische und mineralische Fasern unterteilen. Alle pflanzlichen Fasern (Baumwolle, Jute, Flachs, Hanf usw.) sind aus Zellulose aufgebaut, Fasern tierischen Ursprungs dagegen aus Protein (Wolle, Seide, Haare). Pflanzenfasern werden nach ihrem Vorkommen in Bast- und Hartfasern eingeteilt. Bastfasern werden aus Pflanzenstengeln gewonnen; zu ihnen gehören z. B. Hanf, Jute, Ramie und Flachs. Hartfasern werden dagegen aus Blättern, Blattscheiden oder Früchten gewonnen; hierzu gehören Sisal und Kokos.

Der Markt der Naturfasern:

In Europa lag der Verbrauch an Naturfasern in der Automobilindustrie 1999 bei ca. 21.300 t und im Jahr 2000 bei ca. 28.300 t. Da die Automobilindustrien in Frankreich, Italien, Spanien und Schweden die Möglichkeiten von Naturfasern mit einer Verzögerung von ca. 2 Jahren gegenüber Deutschland entdeckten, werden in diesen Ländern mittelfristig besonders hohe Zuwachsraten erwartet. So könnten – sofern die EU – Alttarichtlinie die Entwicklung nicht ungünstig beeinflussen wird –im Jahr 2005 bereits 50.000 bis 70.000 t und im Jahr 2010 sogar mehr als 100.000 t Naturfasern zum Einsatz kommen. Bei einem Preis von ca. 0,5 – 0,6 Euro / kg Faser entspräche dies einem Umsatzvolumen von mehr als 50-60 Mio. Euro / Jahr.

Die im Automobilbereich eingesetzten Flachs-Kurzfasern stammen aus der EU und Osteuropa (insbesondere Litauen). Wie viel aus EU-Anbau und Produktion stammen ist aufgrund der schlechten Datenlage kaum zu bestimmen. Die Schätzungen gehen von 20 % bis über 50 %. Flach-Kurzfasern werden in der Regel als Nebenprodukt der Flach-Langfasern, die in die Bekleidungs textilindustrie gehen, produziert.

Die im Automobilbereich eingesetzten Hanffasern stammen dagegen praktisch ausschließlich aus deutscher (ca. 50 %), niederländischer, englischer und französischer Gesamtfaser-Produktion. Die neuen Hanfunternehmen in der EU sind stark auf die Automobilindustrie ausgerichtet. Die anderen eingesetzten Naturfasern stammen vor allem aus Asien (Jute, Kenaf, Kokos) sowie aus Afrika und Südamerika (Sisal). Geplant ist zukünftig, Kenaf in Spanien anzubauen und zu verarbeiten.

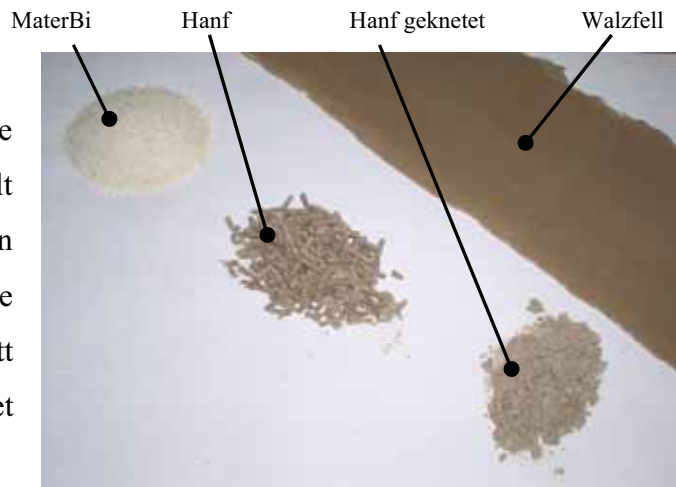
Die dargestellten Möglichkeiten der verfügbaren Biopolymere als Matrizes sind vielfältig, so dass eine auf die Anforderungen angepasste Werkstoffauswahl getroffen werden muss. Dabei erfolgt die Auswahl der Matrix für einen Hochleistungskonstruktionswerkstoff nach den Randbedingungen Einsatztemperatur, mechanische Belastung und Verarbeitungstechnologie etc. Eine wichtige Anforderung an die Matrix ist eine hinreichend geringe Viskosität, damit eine gute Durchtränkung der Verstärkungsfaser erreicht werden kann. Dabei müssen aber auch wichtige Eigenschaften wie z. B. die Bruchdehnung, die vorzugsweise im Bereich der der Naturfasern liegen sollte, und eine gute Haftung zur Naturfaser gewährleistet sein. Die genannten Charakteristika sind neben anderen Matrixeigenschaften Grundvoraussetzung für den Aufbau eines idealen Faserverbundwerkstoffs. Im Konzept werden verfügbare Fasermuster bezüglich der Eignung als Verstärkungstoff in einer Maisstärkebasis bewertet.

Es wurden drei unterschiedliche Naturfasern auf dem Walzwerk in eine MaterBi Maispolymermatrix eingearbeitet. Um die Eigenschaftsänderungen durch die Faseranteile quantifizieren zu können wurde auch eine Serie ohne Faseranteil hergestellt. Um Einflüsse durch den Arbeitsschritt am Walzwerk auszuschließen wurde auch die Referenzserie auf dem Walzwerk geschert. Die Serien umfassen:

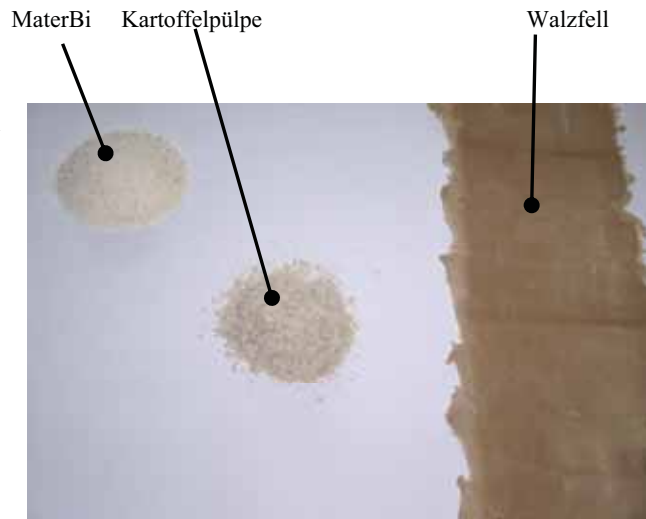
- MaterBi YI01U natur als Referenzserie
- MaterBi YI01U + 5Gew.% Hanffaseranteil
- MaterBi YI01U + 5Gew.% Kartoffelpülpe(faser)
- MaterBi YI01U + 5Gew.% Rübenfaser

Eine homogene Einarbeitung der Rübenfaser war nicht möglich. Die Hanffaseranteile wurden auf dem Knetter vorgeknetet und mit Ethylenglykol gecoatet. Die Kartoffelfaser wurde unvorbehandelt eingearbeitet.

Die Abbildung zeigt die Ausgangsstoffe zur Herstellung von Hanffaser verstärkten Walzfellen. Die Walzfelle wurden im Anschluss gehexelt und im Spritzgießprozess zu Probestäben verarbeitet. Es ist zu erkennen, dass die Hanfpellets in einem extra Arbeitsschritt vorbehandelt wurden, um eingearbeitet werden zu können.

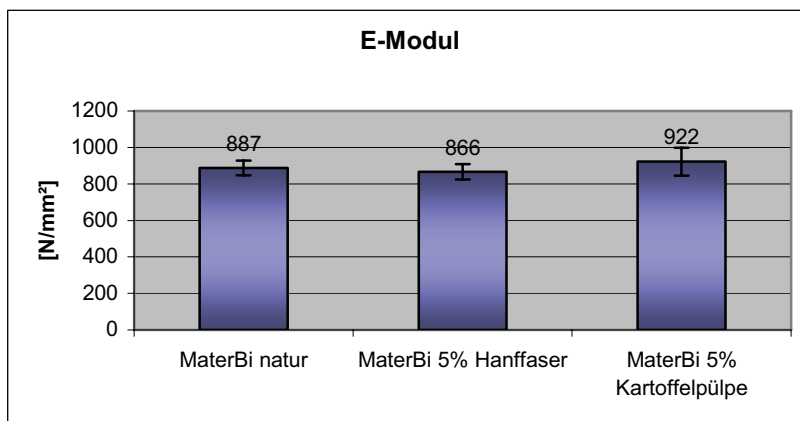


Analog zu den Versuchen mit den Hanffasern wurde Kartoffelpülpe in die Maisstärke eingearbeitet.

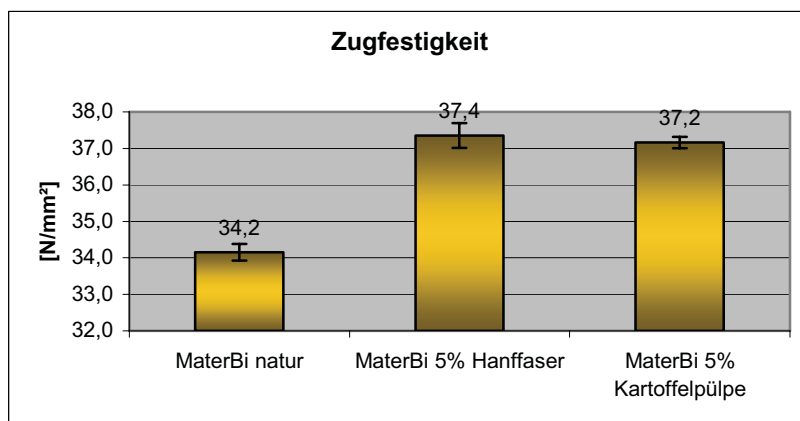


Zur Ermittlung der Eigenschaftverbesserung durch Faserzugabe wurden die Serien prüftechnisch untersucht. Zur Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften dient u.a. der E-Modul, die Zugfestigkeit sowie die Reißdehnung.

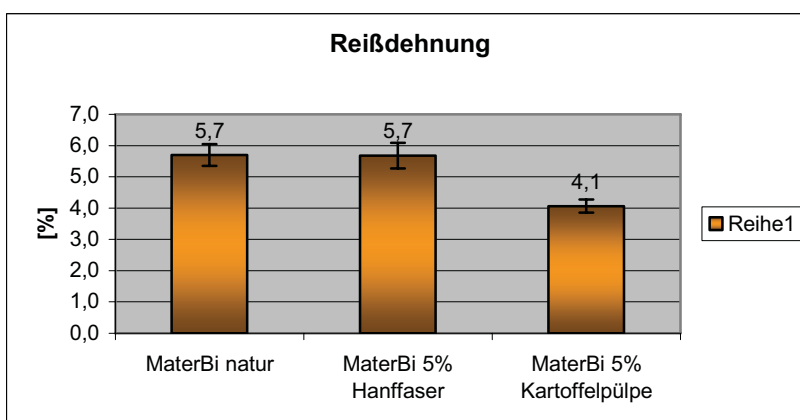
Der E-Modul wurde zwischen 0,05 bis 0,25 % Dehnung bestimmt. Das Diagramm zeigt, dass sich die Vertrauensbereiche aller drei Serien überlappen. Es ist daher kein signifikanter Unterschied durch die Faserverstärkung festzustellen.



Die Zugfestigkeit wurde bei einer Abzugsgeschwindigkeit von 50 [mm/min] bestimmt. Es ist eine signifikante Erhöhung der Zugfestigkeit durch Zugabe von Faseranteilen nachzuweisen. Unter den beiden Fasertypen ist jedoch keine Aussage der Eigenschaftsverbesserung zulässig.



Die Reißdehnung ist im Vergleich zu z.B. Olefinen sehr niedrig. Es handelt sich um Spröbruchverhalten. Es ist keine Veränderung der Dehnung durch Faserzugabe festzustellen.



Schlussfolgerung: Aus der Literatur ist die Verarbeitung von Naturfasern in Verbundwerkstoffen bekannt. Die Festigkeitssteigerung und Eigenschaftsverbesserung ist garantiert. Führende Konzerne in der Automobilindustrie verwenden Naturfaserwerkstoffe in ihren Produk-

ten. Die Versuche zeigen allerdings, dass die Einarbeitung von Fasern in Naturmatrizes ein gewisses Maß an Know-how voraussetzt und ein beträchtliches Entwicklungspotential offen lässt.

Innovationspotential für die geplanten Schlüsselprodukte

Die Literatur- und Patentrecherche zeigt die Patentflut in den letzten Jahren auf dem Gebiet der stärkernodifizierten Biopolymere. Alle internationalen Großkonzerne der chemischen Industrie haben umfangreiche Patente eingereicht, die mit auffallend großer Rezepturvielfalt beschrieben werden und sich auch im Patentschutz überschneiden.

Ein Freiraum für einen Patentschutz inländischer Biopolymer- Formmassen ergibt sich in der chemischen Modifizierung der verschiedenen Stärkesorten und in der physikalisch- chemischen Behandlung der Stärkekornoberfläche. Das verfahrenstechnisch vielseitig ausgestattete Forschungszentrum des österreichischen Stärkeproduzenten ermöglicht Neuentwicklungen für jedes Marktsegment der geplanten Schlüsselprodukte.

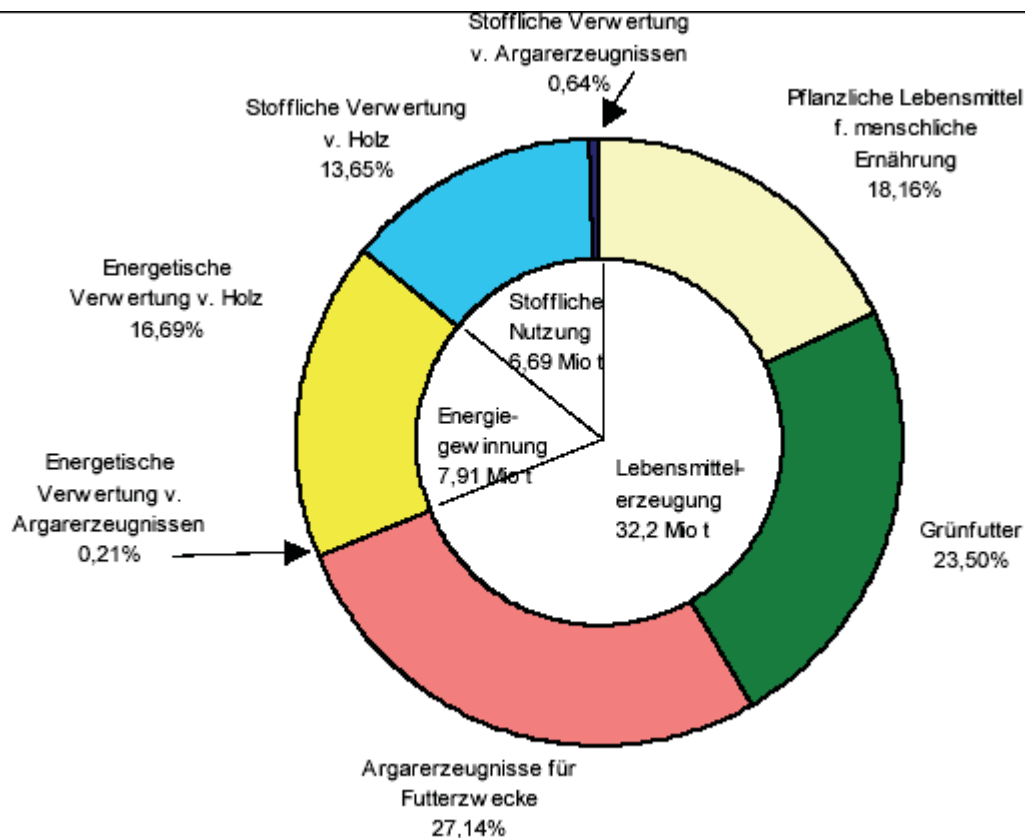
Wirtschaftliche Abschätzungen

Entsprechend dem Proposal (Arbeitspaket III) werden in diesem Kapitel die Chancenpotentiale sowie die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in Österreich dargestellt. Im Rahmen des Konzeptes wurden Kontakte zu interessierten Firmen der Kunststoff verarbeitenden Industrie geknüpft. Es konnte festgestellt werden, dass speziell im Bereich von KMU viele Produktideen auf ihre Umsetzung warten. Voraussetzung dafür sind BAW die auf jeden eigenen Anwendungszweck speziell adaptiert werden können. Es galt in einem weiteren Schritt alle notwendigen Betriebe entlang der Produktentwicklungskette (Rohstofflieferant, Compoundierer, Verarbeiter) zusammenzuführen, um Schlüsselprodukte zu entwickeln. Diese Kette wird im 7. Kapitel beschrieben.

Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Österreich

Die Abbildung zeigt die Stoffflussübersicht für Österreich im Bereich biologischer Rohstoffe. Lässt man die energetische Nutzung, und die Nutzung als Nahrungsmittel, bzw. landwirtschaftliche Vorprodukte außer Acht, so geht daraus hervor, dass nur etwa 14,3% des Gesamtflusses nachwachsender Rohstoffe stofflich genutzt werden. Davon entfällt der Löwenanteil (13,65%) auf die Nutzung von Holz, der Rest (0,64%) auf andere agrarische Produkte. Innerhalb der Holznutzung dominieren industrielle Nutzungen wie Zellstoff und Papier sowie Bauholz und Möbelerzeugung. Obwohl auf diesen Gebieten eine sehr intensive technische Ent-

wicklung abläuft, können die hier genannten Bereiche doch als konventionelle Nutzung nachwachsender Rohstoffe angesehen werden. Sowohl die Institutionen der technischen Entwicklung als auch die verwendeten Technologien sind etabliert. Industrie und Gewerbe sind hier bereits fester Bestandteil des Wirtschaftssystems und entwickeln sich nach den Gesetzen des Marktes.



4

Stoffliche Nutzung in Österreich

Absatzpotentiale in Europa

Die innovativen neuen Werkstoffe auf der Basis von Biomaterialien, die aus ökologischer Sicht natürlich zu bevorzugen sind, werden dagegen verstärkt von kleineren Unternehmen entwickelt und angeboten. Deswegen ist es schwierig abzuschätzen, ob diese Produkte den Sprung zu größeren Mengen (sowohl markt- als auch produktionsseitig) schaffen können. Neben den reinen Werkstoffeigenschaften und dem Preis werden auch die Verarbeitungstechnologien stark mitentscheiden, ob und wenn ja und wie schnell die Marktdurchdringung erfolgen wird.

4 C. Krotscheck, R. Wimmer, M. Narodoslawsky; Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Österreich; TU-Graz 1997

Je weniger sich die BAWs in ihrer Verarbeitung von den traditionellen Polymeren unterscheiden, desto größer ist die Bereitschaft der Verarbeiter, diese neue Werkstoffgeneration zu verwenden, da dann kaum Änderungsinvestitionen getätigt werden müssen.

Der Verbrauch an Polymeren (Standardkunststoffe und technische Kunststoffe) beträgt derzeit in Westeuropa ca. 40 Millionen Jahrestonnen, das Potenzial für BAW wird für die nächsten Jahre auf 50.000 – 250.000 Tonnen pro Jahr geschätzt, d.h. sie haben einen Marktanteil unter 1%. Noch Mitte der neunziger Jahre wurde für das Jahr 2005 ein weltweiter BAW-Verbrauch von ca. 10 Millionen Tonnen vorausgesagt, wobei als Hauptmärkte die USA und die asiatischen Länder genannt wurden. Für diese optimistischen Annahmen gibt es noch keine handfesten Beweise, derzeit liegt der Verbrauch in Westeuropa bei ungefähr 20.000 Tonnen.

Das Absatzpotenzial von Bio-Kunststoffen wird in Europa im Jahr 2010 auf 1,1 Mio. t geschätzt. Nach einer Studie der amerikanischen Unternehmensberatung Frost & Sullivan werden die Umsätze von Bio-Kunststoffen in der EU von heute ca. 50 Mio. US-Dollar auf ca. 83,1 Mio. US-Dollar im Jahr 2004 steigen. Insbesondere bei kurzlebigen Produkten wie z.B. Verpackungen, Folien, Plastiktüten etc. werden Bio-Kunststoffe mittelfristig ihre Haupteinsatzgebiete finden.

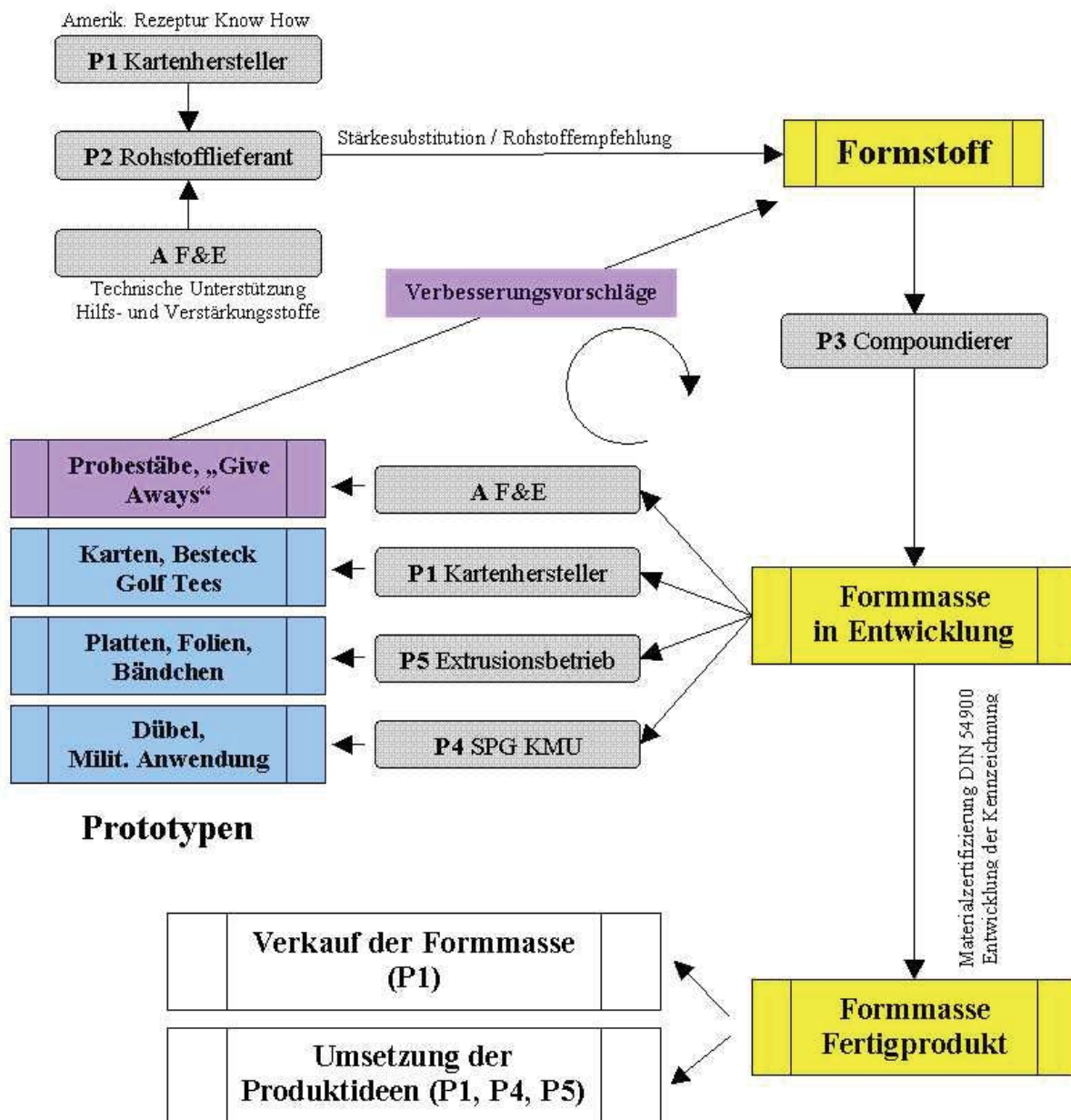
Obwohl sich die Erwartungen der BAW-Branche noch nicht erfüllt haben, scheint es durchaus realistisch, dass BAW mittelfristig gute Marktchancen besitzen (C.A.R.M.E.N. 2001 <http://www.carmen-ev.de/>), jedoch unter der Voraussetzung, dass ihre Leistungsfähigkeit zu steigern ist und dass das primäre Markthemmnis – nämlich der zu hohe Preis – abgebaut werden kann.

Das in Kassel erprobte Modell für biologisch abbaubare Werkstoffe (BAW) zeigt die ökonomische Bedeutung des Bioverpackungsmarktes. Die Lizenzverpackungen aus Massenkunststoffen ergeben bei einem Zukunfts- Szenario vergleichbare Kosten wie BAW- Verpackungen, deren Gesamtkosten aus dem Rohstoffpreis, den Verarbeitungskosten auf konventionellen Verpackungsautomaten und den Kompostierungskosten (Biotonne) auf einer industriellen Kompostierungsanlage errechnet werden.

Die Kostenprognose ergibt ca. € 2,20/kg bei konventionellen Verpackungen und € 2,30/kg bei den BAW- Verpackungen (vergleiche Kunststoffe 2002, H. 9, S. 34 – 40).

Anwendung auf Schlüsselprodukte

Im Laufe der Konzeptentwicklung ist durch intensive Kontakte mit verarbeitenden Betrieben die mögliche Umsetzung von neuen Produktschienen entwickelt worden. Nicht ausschließlich Karten sowie Kartonersatz im Cateringbereich sind für die Firmen von Interesse. Es sind Anwendungen im Bereich technische Produkte angedacht. Im Rahmen des Konzeptes wurde eine Art Entwicklungsnetzwerk von interessierten Firmen gebildet das in einem Arbeitsschema wie folgt agieren wird:



Dieses Firmennetzwerk befindet sich derzeit in den ersten Arbeitssitzungen. Es wurden die Produktideen der beiden Verwerter besprochen und die Arbeitsrichtung vorgegeben. Derzeit

ist eine amerikanische Formmasse vorhanden deren Eigenschaften es weiterzuentwickeln gilt. Es liegt ein erster Arbeitsschritt beim Rohstoffhersteller, die Hauptkomponenten durch österreichische Rohstoffe zu ersetzen. Der Beitrag vom Rohstoffhersteller liegt vor allem in der Herstellung und Bereitstellung von Stärken, Stärkederivaten und Fasermaterialien als nachwachsende Rohstoffe für den Einsatz bei der Entwicklung, Prüfung und Herstellung von Massenkunststoffen. Der Aufwand liegt in der Trocknung, Vermahlung von Rübenschnitzel, Trocknung und Vermahlung von Kartoffelpülpe, Produktion von Amylomaaisstärke aus Amylomaais mit Hilfe der Pilotanlage im Technikum des Rohstoffherstellers. Diese ersten Formmassen bzw. Bestandteile sind von dem Compoundierunternehmen für die verarbeitenden Betriebe aufzubereiten. Die Formmassen werden vom betreuenden Entwicklungszentrum geprüft und weiterentwickelt. Es ist ein wichtiger Schritt eine Materialzertifizierung nach DIN V54900 über die vollständige biologische Abbaubarkeit durchzuführen. Die ersten Verarbeitungsversuche werden die Grundlage für einen zweiten Durchlauf zur Weiterentwicklung zu den geforderten Eigenschaften je nach Produktgruppe darstellen.

Durch diese durchgängige Projektgruppe ist die Nutzung von Synergieeffekten gegeben. Die zu entwickelnde Formmasse wird zwar in verschiedenen Bereichen eingesetzt, die mechanischen Anforderungen überschneiden sich aber natürlich. Somit ist eine Innovationshemmung durch projektinterne Konkurrenz ausgeschlossen. Entsprechend dem Leitprinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität wird durch die Umsetzung dieses Konzeptes die fast ausschließlich österreichische Wertschöpfungskette geschlossen. Die Verwertung liegt in den Bereichen der Herstellung, Aufbereitung und Verarbeitung vor allem bei KMU.

Ermittlung der kritischen Mengen

Die kritischen Mengen der ausgewählten Schlüsselprodukte sind abhängig von deren Herstellungsart. Durch die Verwendung von konventionellen Massenverarbeitungsverfahren wie Spritzguss und Extrusion sind keine besonders hohen kritischen Mengen zu erwarten.

Bei der Entwicklung von Golf Tees ergibt sich durch die hohen Fertigungslose und Werkzeugkosten (96-fach Werkzeug in Planung) errechnet sich die kritische Menge wie folgt: Die Werkzeugkosten sind mit €300 000.- bewertet, das ergibt eine jährliche Abschreibung von rund €60 000 bei 5 jähriger Nutzungsdauer. Die Materialkosten liegen bei €0,015/Stück. Die überschlagsmäßige Break Even Analyse ergibt daher eine kritische Menge von >400 000 Stück/Jahr. Bei den vom Produzenten angegebenen Umsatzschätzungen (siehe Tabelle) wird die kritische Menge weit überschritten.

Durch die gleiche Verarbeitungstechnik verhält sich die Kostensituation entsprechend des oben dargestellten Beispiels. Die Daten in der untenstehenden Tabelle sind direkt von den interessierten Firmen.

	Kapazität Weltmarkt/ Jahr	Kapazität Österreich/ Jahr	Absetzbare Stückzahl/ Jahr Weltweit	Absetzbare Stückzahl/ Jahr Österreich	Markt- Anteil [%] Weltmarkt	Markt- Anteil [%] Österreich	Einzelpreis €	Summe €
Karten	7000000000	10000000	3000000	3000000	0,04	30	0,18	540000
Golf Tees	6000000000	18000000	50000000	2000000	0,83	11,11	0,03	60000
Dübel		150000	0	150000	0,00	100	0,05	7500
Klammern		400000	0	100000	0,00	25	0,10	10000
Essbesteck	500000000	2500000	10000000	250000	2,00	10	0,50	125000
Platten	1000000	50000	50000	20000	5	40	2,00	40000
								782500

Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie

Grundlegendes Konzeptziel ist die Klärung der Möglichkeit der Substitution von herkömmlichen Standardkunststoffen durch Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Der Vorteil von Biopolymeren liegt einerseits in der biologischen Abbaubarkeit und andererseits in ihrer Rohstoffquelle aus nachwachsenden Ressourcen. Wird in einem Folgeprojekt eine Werkstoffrezeptur gefunden die sowohl wirtschaftlich als auch in ihren mechanischen Eigenschaften konkurrenzfähig ist, dann können Betriebe nachhaltig ihr Produktsortiment auf nachwachsende Rohstoffe umstellen. Das Konzept spricht daher auch ganz bewusst interessierte Partnerfirmen mit konkreten Nischenproduktideen an. Bei einem positiven Ausgang der zukünftigen Entwicklungstätigkeiten stehen damit eine ganze Reihe an „Leuchtturmprodukten“ zu Verfügung.

Beitrag des Konzeptes zu den 7 Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung

Der Energieaufwand zur Herstellung von Biopolymeren kann nach dem SPI (Sustainable Product Index) bewertet werden. Der SPI rechnet mit „Fußabdrücken“ als eigenwilliges Mass zur Beurteilung der Umweltauswirkungen von verschiedenen Rohstoffen. Biopolymere haben

im Gegensatz zu Standardpolymeren auf petrochemischer Basis einen Faktor 10 bis 100 niedrigeren Umwelteinfluss. Das **Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen** könnte nicht deutlicher verfolgt werden.

Durch die Substitution der bisher importierten amerikanischen Komponenten wurde nicht im Sinne des **Effizienzprinzipes** gehandelt. Durch die Verwendung von den im Konzept ermittelten lokalen Rohstoffquellen werden Transportwege minimiert und damit auch kosteneffizient gestaltet.

Durch das thermoplastische Verhalten der Stärke ist im Sinne des Prinzips der **Rezyklierungsfähigkeit** die Wiederverwertung von Produktionsabfällen (Angüsse, Plattenbeschnitt, Folienbeschnitt) möglich.

Ein mit Entwicklungsrisiko behaftetes Stärkepolymer kann nur dann Marktchancen haben, wenn es mit herkömmlichen Verarbeitungsmaschinen ohne zusätzlichen Adaptierungen verarbeitet werden kann. Dies wurde durch die Verarbeitungsversuche im Rahmen des Konzeptes ermittelt. Diese ständige Überprüfung der Entwicklung liegt im Gedanken von den Leitprinzipien der **Einpassung, Flexibilität** und **Adaptionsfähigkeit** sowie der **Fehlertoleranz** und **Risikoversorge**.

Bei der Auswahl potentieller Partner für eine folgende Technologie- und Komponentenentwicklung lag der Schwerpunkt auf der lückenlosen Produktentwicklungskette. Alle potentiellen Partner sind in nationalen Bereichen angesiedelt und garantieren eine hohe Wertschöpfung in Österreich. Ausgehend vom Agrarsektor, über die Aufbereitung bis hin zu den vielen Arbeitsplätzen in der Produktion. Das Konzept stellt daher nach Meinung des Verfassers ein Potential zur Sicherung von Arbeitsplätzen und Einkommen dar.

Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Biologisch abbaubare Werkstoffe sind in ihrer Entwicklung sehr weit fortgeschritten. Der großtechnische Einstieg ist in Österreich bislang nicht zu verzeichnen.

Mit der Erstellung des Konzeptes wurde eine österreichische Arbeitsgemeinschaft Biopolymere (ARGE BIOPOL) ins Leben gerufen. Durch das umfangreiche Materialscreening und die Musterherstellung im Labormaßstab wurde Firmeninteresse für ein Folgeprojekt zur Entwicklung einer neuen Biopolymer Formmasse konkretisiert.

Die Literatur- und Patentrecherche sowie die Erprobung der Rohstoffe inländischer Produzenten ergeben das Basis Know-how für marktnahe Produktentwicklungen. Ein wesentliches Konzeptergebnis ergibt sich aus der Kostenreduktion durch die Verwendung inländischer Stärketypen.

Der Innovationsgehalt liegt in den angestrebten Verbesserungspotentialen durch

- die Nutzung spezifischer Eigenschaften der Stärkeformmassen, wie z.B. die Wasserdampf - Durchlässigkeit, die in der Patentliteratur noch nicht berücksichtigt worden sind, für patentfähige Produktideen;
- den Einsatz von pflanzlichen Faserstoffen, für Verstärkungseffekte unter den Aspekten der Nachhaltigkeit und Kostenwirtschaftlichkeit;
- sowie der vielfältigen Problemlösungen für eine den Biopolymeren angepasste Verfahrens- und Produktionstechnik.

Ein wichtiger Grundstein für diese Materialentwicklung stellt die vorhandene amerikanische Rezeptur des Partners P1 dar (Preis rund €2,5/kg). Diese Rezeptur ist in ihrer Entwicklung so weit fortgeschritten, dass der Markteintritt mit dem Produkt Golf Tee bereits geschafft wurde. (Anmerkung: es gibt eine Vielzahl von Anbietern von Biogolftees, allerdings entsprechen diese nicht den üblichen Anforderungen für Golftees). Im Sinne der Ökoeffizienz ist es natürlich nicht sinnvoll, den Grundrohstoff Stärke wie bisher aus Amerika zu beziehen. Die großen Vorteile in einer Substitution der Hauptkomponenten liegen:

- Wegfallende Transportkosten der Hauptkomponente Stärke (Effizienzprinzip)
- Nutzung nationaler nachwachsender Rohstoffe, Belegung des Agrarsektors (Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität)
- Direkte Materialmodifikation zeitlich effizient möglich (Zusatzstoffe: Fasern, Farben,...)
“Material nach Maß“
- Bessere Verwertungschancen, da Firmen direkt angesprochen bzw. informiert werden

Ausblick und Empfehlungen

Mit dem Konzept ist der Grundstein gelegt, dass sich eine Projektgruppe im Rahmen eines Netzwerkes quer durch den Produktenstehungsprozess mit der wirtschaftlichen Umsetzung von Biopolymeren beschäftigt. Diese Technologie und Komponentenentwicklung ist mit der Abgabe dieses Konzeptes in der finalen Phase der Antragstellung. Das Konzept dient nun als Grundlage für ein Folgeprojekt im Rahmen der Fabrik der Zukunft. Durch die Gründung einer

ARGE Biopolymer sind über die Aktivitäten im Rahmen des Konzeptes innovative Produktentwicklungen initiiert worden. Die Wertschöpfung wird fast ausschließlich in Österreich liegen. Die geplanten und durchdachten Prototypen können als Leuchtturmprodukte verstanden werden. Das nächste Projektziel ist durch eine konkurrenzfähige Materialmischung mit marktfähigen Beispielprodukten definiert. Bei einem positiven Projektabschluss kann im Sinne der nachhaltigen Technologieentwicklung von einer großtechnischen Umsetzung ausgegangen werden.

Literatur

CARMEN „ http://www.carmen-ev.de/ “
Wissenschaftlicher Bericht MA22, Univ. Lektor Dipl.-Chem. Hanswerner Mackwitz Dr. Wolfgang Stadlbauer, Wien, Dezember 2001
„Chemie der Kohlenhydrate “Bericht aus Fachberatung Biologie Autor: Gerhard Arnold http://fachberatung-biologie.de/Biochemie/seitenbioch/biochemie2.htm#Cellulose
Organische Chemie 3. Auflage K.P.C. Vollhardt, N.E. Schore,– Wiley-VCH Verlag, Weinheim, Deutschland – 2000
Korrelation zwischen der Struktur und der enzymatischen Hydrolysen von Polyestern Dissertation von Elke Marten 2000 TU Carolo- Wihlemina zu Braunschweig
„Zurück zur Natur“ Fachbericht aus Kunststoffe 9 (2002) Autor: Dr. Harald Käb (IBAW) Carl Hanser Verlag, München 2002
http://www.modellprojekt-kassel.de/
Erich Gruber: Unterlagen zur Vorlesung „Makromolekulare Chemie, Ökologie und Ökonomie der Nachwachsenden Rohstoffe“
„Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Österreich“ Studie des Institutes für Verfahrenstechnik Autoren: C. Krotscheck, R. Wimmer, M. Narodoslowsky Technische Universität Graz; Oktober 1997
Vermeidung und Verwertung des Müllaufkommens durch Schließung des Kohlenstoffkreislaufs Autoren: Univ. Lektor Dipl.-Chem. Hanswerner Mackwitz Dr. Wolfgang Stadlbauer Wien, Dezember 2001
„Konstruktionswerkstoffe aus nachwachsende Rohstoffen (BioVerbunde)“ Autor: Dr.-Ing. Dipl.-Chem. U. Riedel, Institut für Strukturmechanik, Braunschweig 1999

<p>Ullman Enzyklopädie der technischen Chemie; 4. Auflage Verlag Chemie GmbH, Weinheim</p>
<p>Saechtling Kunststoffaschenbuch 28. Auflage Carl Hanser Verlag 2002</p>
<p>Expertenkommission „Kunststoffindustrie in Niedersachsen am Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung“ Endbericht des Arbeitskreises 2 „Biologisch abbaubare Kunststoffe“ Niedersächsisches Umweltministerium, 1998.</p>
<p>JONGBOOM, R. (1999): Kunststoffe und nachwachsende Rohstoffe. Arbeitspapier 209 KTBL 1999.</p>
<p>JACOBSEN, S. (2000): Polylactide-Biologisch abbaubare Kunststoffe auch nachwachsenden Rohstoffen für neue Anwendungen, Wechsel Wirkungen Jahrbuch 2000.</p>
<p>LÖRCKS, J. : Biologisch Abbaubare Werkstoffe – Pflanzen, Rohstoffe, Produkte. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. , Gülzow</p>
<p>KAUP, M.; KARUS, M.; ORTMANN, S.; Naturfasereinsatz in Verbundwerkstoffen in der deutschen und österreichischen Automobilindustrie; nova- Institut für Ökologie und Innovation; Februar 2003</p>

Anhang

Materialdaten

NAME HERSTELLER BASIS		BIOMER P 209 Biomer Polyhydroxybutyrat	BAK 402-006 Bayer AG Polyesteramid	BIOMAX M 6924 DuPont Polyester	BIONOLLE 1020 Showa Highpol. Co Ltd. Polyester	EASTAR 14766 Eastman Chem. Comp. Polyester	PP
MARKTPREIS	€/kg	20	3.3	4.1	3,5 - 5,5	4	1 - 1,5
DICHTE	g/cm ³	1.2	1.18	1.34	1.27	1.21	0.91
FEUCHTEAUFNAHME	%	0.76	1.2	0.4	0.37	0.34	
HÄRTE	Shore D	54	50	77	61	34	74
MFR	g / 10 Min.	5 - 7	208 - 230	7 - 10	8 - 9	11-12	65
SCHWINDUNG	%	1.66	0.19	0.15	0.87	0.8	
GLÜHRÜCKSTAND	%	2	2.22	14.05	0	1.93	
SCHMELZBEREICH	°C	150 - 170	100 - 190	180 - 210	89 - 130	90 - 125	160 - 165
VICAT-TEMPERATUR	°C	57	60	47	93	74	
BRUCHSPANNUNG	MPa	13.1	16.2	64.8	28.33	6.5	30
BRUCHDEHNUNG	%	5.01	230.2	3.11	124.5	29	
ZUG-E-MODUL	MPa	805	531	2592	685.2	96	1300
BIEGESPANNUNG	MPa	18.8	15.68	85.7	31.5	5.7	
RANDFASERDEHNUNG	%	3.9	8	4.17	8.08	8.7	
BIEGESPANNUNG bei 3,5%	MPa	16.3		84.5	20.5	3.4	
BIEGE-E-MODUL	MPa	743		2314	534	87	
SCHLAGZÄHIGKEIT (CHARPY)	kJ/m ²	32.7	kein Bruch	40	kein Bruch	kein Bruch	20
KERBSCHLAGZ. (CHARPY)	kJ/m ²	3.3	47.3	3.2	2392	kein Bruch	4


NAME HERSTELLER BASIS		CAPA 650 Solvay Interlox Ltd. Polycaprolacton	TONE POLYMER 767 Union Carbide Polycaprolacton	PP	PC
MARKTPREIS	€/kg	6.7	4,5 - 5	1 - 1,5	1,5 - 2,5
DICHTE	g/cm ³	1.14	1.15	0.91	1.2
FEUCHTEAUFNAHME	%	0.16	0.2		0.15
HÄRTE	Shore D	54	52	74	
MFR	g / 10 Min.	3.6	5 - 6	65	28
SCHWINDUNG	%	0.93	0.77		
GLÜHRÜCKSTAND	%	0.25	0		
SCHMELZBEREICH	°C	61 - 66	50 - 67	160 - 165	220 - 260
VICAT-TEMPERATUR	°C	51	50		
STRECKSPANNUNG	MPa	16.8	16.49	30	42
STRECKDEHNUNG	%	13.8	13.25		1.5
ZUG-E-MODUL	MPa	462	437.75	1300	3300
BIEGESPANNUNG	MPa	18.2	55.9		
RANDFASERDEHNUNG	%	7.2	0.77		
BIEGESPANNUNG bei 3,5%	MPa	13.5			
BIEGE-E-MODUL	MPa	387			
SCHLAGZÄHIGKEIT (CHARPY)	kJ/m ²	kein Bruch	kein Bruch	20	25
KERBSCHLAGZ. (CHARPY)	kJ/m ²	12.1	1.4	4	2

NAME HERSTELLER BASIS		BOMER L 5000 Biomer Poly-L-Milchsäure	ECOPLA 3010 Cargill Dow Polymilchsäure	LACEA H 100 Mitsui Toatsu Chem. Polymilchsäure	NESTE PLA Neste OY Polymilchsäure	PP	PC
MARKTPREIS	€/ kg	20		5 - 6		1 - 1,5	1,5 - 2,5
DICHTE	g / cm ³	1.25	1.26	1.25	1.25	0.91	1.2
FEUCHTEAUFNAHME	%	0.29	0.38	0.42	0.52		0.15
HÄRTE	Shore D	81	82	81	83	74	
MFR	g / 10 Min.	3 - 6	10	6 - 7	28 - 29	65	28
SCHWINDUNG	%	0.46	0.46	-0.32	0		
GLÜHRÜCKSTAND	%	1.3	0.54	0.6	0.43		
SCHMELZBEREICH	°C	170 - 180	118 - 167	160 - 170	175 - 185	160 - 165	220 - 260
VICAT-TEMPERATUR	°C	56	55	57	48		
BRUCHSPANNUNG	MPa	70.6	59.3	55.8	51.9	30	42
BRUCHDEHNUNG	%	2.4	4.7	1.62	1.53		1.5
ZUG-E-MODUL	MPa	3857	3461	4056	2076	1300	3300
BIEGESPANNUNG	MPa	112.5	100.9	56.6	56.2		
RANDFASERDEHNUNG	%	4.7	4.16	1.5	1.49		
BIEGESPANNUNG bei 3,5%	MPa	108					
BIEGE-E-MODUL	MPa	3495	3350	3782	3509.8		
SCHLAGZÄHIGKEIT (CHARPY)	kJ / m ²	17.7	14.5	15.5	14.9	20	25
KERBSCHLAGZ. (CHARPY)	kJ / m ²	3.7	3.2	3.2	2.5	4	2

NAME HERSTELLER BASIS		BIOCETA Mazzuocelli Celluloseacetat	CELLIDOR B 501-07A Albis Plastic GmbH Celluloseacetobutyrat	PP	PC
MARKTPREIS	€/ kg	5	7 - 9	1 - 1,5	1,5 - 2,5
DICHTE	g / cm ³	1.27	1.2	0.91	1.2
FEUCHTEAUFNAHME	%	1.28	0.92		0.15
HÄRTE	Shore D	70	72	74	
MFR	g / 10 Min.	5 - 6	19	65	28
SCHWINDUNG	%	1.65	0.65		
GLÜHRÜCKSTAND	%	9.01	10.33		
SCHMELZBEREICH	°C	amorph	amorph	160 - 165	220 - 260
VICAT-TEMPERATUR	°C	62	83		
BRUCHSPANNUNG	MPa	26.7	38.11	30	42
BRUCHDEHNUNG	%	7.6	4.62		1.5
ZUG-E-MODUL	MPa	1452	1635	1300	3300
BIEGESPANNUNG	MPa	36.9	53.4		
RANDFASERDEHNUNG	%	7.59	5.1		
BIEGESPANNUNG bei 3,5%	MPa		48		
BIEGE-E-MODUL	MPa	1342	1636		
SCHLAGZÄHIGKEIT (CHARPY)	kJ / m ²	160.3	kein Bruch	20	25
KERBSCHLAGZ. (CHARPY)	kJ / m ²	5.4	4.4	4	2

NAME HERSTELLER BASIS		FASAL 386 IFA Tulln Nawaros	LIGNOPOL 34001 Borregaard GmbH Nawaros	TREEPLAST F 368 PE design & engineering BV Nawaros	PP	PC
MARKTPREIS	€/ kg	2.5	1,5 - 2,5	4	1 - 1,5	1,5 - 2,5
DICHTE	g / cm ³	1.32	1.37	1.33	0.91	1.2
FEUCHTEAUFNAHME	%	8.5	7.11	8.7		0.15
HÄRTE	Shore D	70	76	59	74	
MFR	g / 10 Min.	n.b.		n.b.	65	28
SCHWINDUNG	%	0.46	0.12	0.17		
GLÜHRÜCKSTAND	%	21.7	36.3	21.6		
SCHMELZBEREICH	°C		60 - 125		160 - 165	220 - 260
VICAT-TEMPERATUR	°C	76	63	50		
BRUCHSPANNUNG	MPa	21.2	27.2	9.06	30	42
BRUCHDEHNUNG	%	1.43	0.8	0.41		1.5
ZUG-E-MODUL	MPa	3201	4644	2626	1300	3300
BIEGESPANNUNG	MPa	34.4	34.6	10.3		
RANDFASERDEHNUNG	%	1.83	1.29	0.5		
BIEGESPANNUNG bei 3,5%	MPa					
BIEGE-E-MODUL	MPa	2874	2458	1907		
SCHLAGZÄHIGKEIT (CHARPY)	kJ / m ²	10.3	5.3	5.9	20	25
KERBSCHLAGZ. (CHARPY)	kJ / m ²	6	4.2	4.3	4	2

Werkstoffscreening

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 2KM

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Maizena 70
Wasser	[g]:	30% = 21
Glycerin	[g]:	-
Chemikalien	[ml]:	Formaldehyd 6 = 10%
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur 140
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		40

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in den Knetter gegeben
2. einige Minuten kneten lassen
3. Zugabe von Formaldehyd
4. einige Minuten kneten lassen

Kommentar:

Harte Masse



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 3KM

Maschine		Kneter
Stärke	[g]:	Maizena 62
Wasser	[g]:	50% = 30
Glycerin	[g]:	-
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur 140
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		steigt bis 100

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in den Kneter gegeben
2. einige Minuten kneten lassen – Widerstand steigt auf 100

Kommentar:

Der Kneter lässt sich nicht öffnen
 sehr harte Masse
 ist wasserlöslich



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 4KM

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Maizena 51
Wasser	[g]:	50% = 26
Glycerin	[g]:	-
Chemikalien	[g]:	Glutarsäure 30% = 16
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 140
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in den Knetter gegeben
2. kneten lassen
3. Glutarsäure zugegeben
4. kneten lassen

Kommentar:

Drehzahl bleibt gleich

Durch Zugabe von Glutarsäure wird die Masse zäher / klebriger

Bildung von Blasen

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 5KE

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Kartoffel 53
Wasser	[g]:	50% = 26
Glycerin	[g]:	-
Chemikalien	[g]:	Glutarsäure 20% = 9
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 140
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in den Knetter gegeben
2. kneten lassen
3. Glutarsäure zugegeben
4. kneten lassen

Kommentar:

Keine Probe, da sich der Knetter nicht öffnen ließ.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 6KE

Maschine		Kneter
Stärke	[g]:	Kartoffel 53
Wasser	[g]:	50% = 28
Glycerin	[g]:	-
Chemikalien	[g]:	Phtalsäure 20% = 10
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 140
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in den Kneter gegeben
2. kneten lassen
3. Phtalsäure zugegeben
4. kneten lassen

Kommentar:

Keine Probe, da sich der Kneter nicht öffnen ließ.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 7WM

Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Maizena 300
Wasser	[g]:	38% = 115
Glycerin	[g]:	20% = 60
Chemikalien	[g]:	Oxalsäure 10
Temperatur	[°C]:	vordere Walze: 130/130 hintere Walze: 100/100
Drehzahl	[U/min]:	14
Widerstand		-

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in einem Becher gemischt
2. auf die Walzen aufgetragen
3. Oxalsäure und Glycerin zugeben
4. nach einigen Minuten die Masse von den Walzen grob entfernt

Kommentar:

Glycerin lässt sich sehr schwer einarbeiten
Masse lässt sich nicht von den Walzen entfernen



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 8WM

Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Maizena 250
Wasser	[g]:	50% = 125
Glycerin	[g]:	33% = 83
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	vordere Walze: 117/104/91 hintere Walze: 94/107/114 Walzfell: 92/91/90
Drehzahl	[U/min]:	14
Widerstand		-


Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in einem Becher gemischt
2. Kleistermischung auf 2 Teile aufteilen und auf die Walzen aufgetragen
3. 5 min walzen lassen und dann Glycerin zugegeben
4. nach insgesamt 12 Minuten die Masse von den Walzen grob entfernt



Kommentar:

Masse lässt sich sehr schwer von den Walzen entfernen.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 9WM

Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Maizena 250
Wasser	[g]:	50% = 125
Glycerin	[g]:	20% = 50
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	vordere Walze: 114/106/89 hintere Walze: 80/94/102 Walzfell: 80
Drehzahl	[U/min]:	14
Widerstand		-


Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in einem Becher gemischt
2. auf die Walzen aufgetragen
3. einige Minuten walzen lassen
4. Glycerin zugeben
5. nach einigen Minuten die Masse von den Walzen grob entfernt

Kommentar:

lässt sich nicht entfernen



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 10KE

Maschine		Kneter
Stärke	[g]:	Kartoffelstärke 60
Wasser	[g]:	50% = 30
Glycerin	[g]:	30% = 18
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 110
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		4


Verfahrensschritte:

1. Wasser und Stärke in den Kneter gegeben
2. kneten lassen
3. Glycerin zugegeben
4. kneten lassen

Kommentar:

Die Masse ist beim Herausnehmen stark klebrig.



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 11KM

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Maizena 60
Wasser	[g]:	50% = 30
Glycerin	[g]:	30% = 18
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur 110
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		7

Verfahrensschritte:

Stärke und Wasser in den Knetter gegeben

1. einige Minuten kneten lassen
3. Glycerin zugeben
4. kneten lasse

Kommentar:

Klebt weniger als die Masse mit Kartoffelstärke



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 12WE

Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Kartoffel 188
Wasser	[g]:	75% = 143
Glycerin	[g]:	30% = 60
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	vordere Walze: 86/88/104 hintere Walze: 88/86/90 Walzfell: 93
Drehzahl	[U/min]:	14
Widerstand		-

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in einem Becher gemischt
2. auf die Walzen aufgetragen
2. einige Minuten walzen lassen
3. Glycerin zugegeben
4. Walzen lassen

Kommentar:

lässt sich schwer entfernen



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 13WE

Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Kartoffel 198
Wasser	[g]:	50% = 108
Glycerin	[g]:	-
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	vordere Walze: 86/88/104 hintere Walze: 88/86/90 Walzfell: 93
Drehzahl	[U/min]:	14
Widerstand		-


Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser mischen
2. auf die Walzen auftragen
3. einige Minuten walzen lassen

Kommentar:

lässt sich überhaupt nicht entfernen



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 14KM

Maschine		Kneten
Stärke	[g]:	Maizena 60
Wasser	[g]:	50% = 30
Glycerin	[g]:	50% = 30
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur 110
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

Stärke und Wasser in den Kneten gegeben

1. einige Minuten kneten lassen ~ 5min
3. Glycerin zugeben
4. 5min kneten lassen

Kommentar:

Masse wirkt nach dem Abkühlen an der Oberfläche spröde, zu trocken (?)

Lässt sich nicht entfernen



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 15KM

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Maizena 60
Wasser	[g]:	100% = 60
Glycerin	[g]:	50% = 30
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur 110
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in den Knetter gegeben
2. ca. 5 Minuten kneten lassen
3. Glycerin zugegeben
4. ca. 5min kneten lassen

Kommentar:

Sehr klebrige Masse (möglicherweise zu viel Glycerin).

Lässt sich schlecht aus dem Knetter nehmen.



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 16WE

Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Kartoffel 155
Wasser	[g]:	50% = 78
Glycerin	[g]:	30% = 50
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	vordere Walze: 84/50/80 hintere Walze: 75/70
Drehzahl	[U/min]:	14
Widerstand		-

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in einem Becher gemischt
2. auf die Walzen aufgetragen
3. einige Minuten walzen lassen
4. Glycerin zugegeben
5. nach einigen Minuten die Masse von den Walzen grob entfernt



Kommentar:

lässt sich schwer entfernen

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 17KE

Maschine		Kneter
Stärke	[g]:	Kartoffelstärke 60
Wasser	[g]:	100% = 60
Glycerin	[g]:	50% = 30
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur 110
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in den Kneter gegeben
2. einige Minuten kneten lassen
3. Zugabe des Glycerins
4. einige Minuten kneten lassen

Kommentar:

schlecht zu entnehmen



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 1A

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana A 60
Wasser	[g]:	50% = 30
Glycerin	[g]:	50% = 30
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 104
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in den Knetter gegeben
2. 5 min kneten
2. Glycerin zugegeben
3. 5 min kneten

Kommentar:

Lässt sich etwas besser von den Knetkammern entnehmen

Masse ist nicht ganz homogen

bräunliche Masse



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 2A

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana A 62
Wasser	[g]:	50% = 30
Glycerin	[g]:	16,6% = 10 (1/6)
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 104
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in den Knetter gegeben
2. 5 min kneten
3. Glycerin zugegeben
4. 5 min kneten

Kommentar:

Klebt noch in der Kammer

Inhomogener, bräunliche Masse

~ 20% Glycerin, 50% Wasser



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 3A

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana A 46
Wasser	[g]:	66,6% = 30 (2/3)
Glycerin	[g]:	33,3% = 15 (1/3)
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 104
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in den Knetter gegeben
2. 5 min kneten
3. Glycerin zugegeben
4. 5 min kneten



Kommentar:

Lässt sich nicht gut aus den Knetkammern entnehmen.

inhomogen, bräunlich

2/3 Wasser, 1/3 Glycerin

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 4A

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana A 50
Wasser	[g]:	50% = 25
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 104
Drehzahl	[U/min]:	20/30
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in den Knetter gegeben
2. Drehzahl auf 30 erhöhen
3. 5 min kneten
4. Glycerin zugegeben
5. 5 min kneten

Kommentar:

Klebt noch in der Kammer

bräunliche Masse



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 5A

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana A 50
Wasser	[g]:	50% = 25
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 104
Drehzahl	[U/min]:	20/30
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

1. Wasser und Stärke in den Knetter gegeben
2. Drehzahl auf 30 erhöht
3. 5 min kneten
4. Glycerin und LPO zugeben
5. 5 min kneten



Kommentar:

Durch das LPO ist die Masse weniger klebrig, bleibt aber dennoch im Knetter kleben.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 6A

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana A 50
Wasser	[g]:	50% = 25
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 100
Drehzahl	[U/min]:	20/30
Widerstand		2 steigt auf 12 an


Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser in den Knetter geben, Drehzahl=20
2. Drehzahl auf 30 erhöht
3. 10 min kneten
4. LPO und dann Glycerin zugegeben, Widerstand=2
5. 5 min kneten
6. Glyoxal zugegeben
7. 10 min kneten, Widerstand=12



Kommentar:

Lässt sich schlecht aus den Knetkammern entnehmen
inhomogen

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 7A
Maschine		Knetter	
Stärke	[g]:	Agrana A 50 getrocknet	
Wasser	[g]:	-	
Glycerin	[g]:	30% = 15	
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1, Glyoxal 2% = 1	
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 120	
Drehzahl	[U/min]:	20/30	
Widerstand		30	

Verfahrensschritte:

1. Stärke mit LPO coaten ~ 5min
2. Drehzahl auf 30 erhöht
3. Glycerin zugeben
4. 5 min kneten
5. Glyoxal zugeben
6. 10 min kneten



Kommentar:

10g Glycerin ist zu wenig, Masse zu trocken (W=70)

15g Glycerin W=30

Glyoxal W=25

Material A klebt mehr als B

Komplett homogene Masse

Im warmen Zustand ist das Material weich, im Kalten hart

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 1B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 50
Wasser	[g]:	50% = 25
Glycerin	[g]:	50% = 25
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 105, im Knetter 80
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

1. Wasser und Stärke in den Knetter gegeben
2. 5 min kneten
3. Glycerin zugegeben
4. 5 min kneten

Kommentar:

zu viel Glycerin, wird nicht ganz aufgenommen

sehr klebrige Masse

Lässt sich sehr gut aus den Knetkammern entnehmen.



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 1KE

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 50
Wasser	[g]:	50% = 25
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 104, im Knetter 80
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

1. Wasser und Stärke in den Knetter gegeben
2. 5 min kneten
3. Glycerin zugegeben
4. 5 min kneten

Kommentar:

alle Komponenten lassen sich gut einarbeiten
lässt sich sehr gut aus den Knetkammern entnehmen
ist eine klebrige Masse



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 3B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 45
Wasser	[g]:	50% = 22,5
Glycerin	[g]:	33,3% = 15
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 104, im Knetter 80
Drehzahl	[U/min]:	20
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

1. Wasser und Stärke zugegeben
2. Drehzahl 20
3. 5 min kneten
4. Glycerin zugegeben
5. 5 min kneten

Kommentar:

alle Komponenten eingearbeitet

ist klebrig

lässt sich gut aus den Knetkammern entnehmen



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 4B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 50
Wasser	[g]:	50% = 25
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 104, im Knetter 80
Drehzahl	[U/min]:	20/30
Widerstand		5

Verfahrensschritte:

1. Wasser und Stärke in den Knetter gegeben
2. Drehzahl von 20 auf 30 erhöht
3. 10 min kneten
4. Glycerin zugegeben
5. 10 min kneten

Kommentar:

homogene Masse

lässt sich gut aus den Knetkammern entnehmen

kaum klebrig



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 5B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 50
Wasser	[g]:	50% = 25
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 104, im Knetter 80
Drehzahl	[U/min]:	20/30
Widerstand		2 – 4

Verfahrensschritte:

1. Wasser und Stärke in den Knetter gegeben
2. Drehzahl von 20 auf 30 erhöht
3. 10 min kneten
4. LPO zugegeben
5. Glycerin zugegeben
6. 10 min kneten

Kommentar:

homogene Masse

lässt sich gut aus den Knetkammern entnehmen

durch LPO nicht klebrig



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 6B

Maschine		Kneten
Stärke	[g]:	Agrana B 50
Wasser	[g]:	50% = 25
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1 hydroxiliertes Rapsölmethylester
Temperatur	[°C]:	
Drehzahl	[U/min]:	20/30
Widerstand		4

Verfahrensschritte:

1. Wasser und Stärke in den Kneten gegeben
2. Drehzahl von 20 auf 30 erhöht
3. 10 min kneten
4. LPO zugegeben
5. Glycerin zugegeben
6. Rapsölmethylester zugegeben
7. 10 min kneten




Kommentar:

homogene Masse

lässt sich gut aus den Knetkammern entnehmen

ist nicht klebrig

Rapsölmethylester lässt sich nicht einarbeiten

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 7B

Maschine		Kneten
Stärke	[g]:	Agrana B 50
Wasser	[g]:	50% = 25
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 100
Drehzahl	[U/min]:	20/30
Widerstand		durch Glyoxal 7

Verfahrensschritte:

1. Stärke und Wasser zugeben
2. 10 min kneten
3. Drehzahl auf 30 erhöht
4. LPO und danach Glycerin zugeben
5. 5 min kneten
6. Glyoxal zugeben
7. 10 min kneten



Kommentar:

Optisch keine Änderung gegenüber den Materialien ohne Glyoxal.

Drehzahl steigt auf einen Widerstand von 5 an.

Lässt sich gut aus den Knetkammern entnehmen.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 8B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 50
Wasser	[g]:	50% = 25
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 10% = 5
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 100
Drehzahl	[U/min]:	20/30
Widerstand		durch Glyoxal 8

Verfahrensschritte:

1. Wasser und Stärke zugegeben
2. 10 min kneten
3. Drehzahl auf 30 erhöht
4. LPO und danach Glycerin zugegeben
5. 5 min kneten
6. Glyoxal zugegeben
7. 10 min kneten



Kommentar:

Optisch keine Änderung gegenüber den Materialien ohne Glyoxal.

Lässt sich gut aus den Knetkammern entnehmen.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 9B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 50 getrocknet
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 120
Drehzahl	[U/min]:	30
Widerstand		13

Verfahrensschritte:

1. Stärke mit LPO coaten
2. Drehzahl von 20 auf 30 erhöht
3. Glycerin zugeben
4. 10 min kneten
5. Glyoxal zugeben
6. 10 min kneten


Kommentar:

inhomogene Masse

Lässt sich gut aus den Knetkammern entnehmen.

im warmen Zustand – weich → im kalten hart



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 10B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 50 getrocknet
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	40% = 20
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 10% = 5
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 140
Drehzahl	[U/min]:	40
Widerstand		10

Verfahrensschritte:

1. Stärke mit LPO coaten
2. Glycerin zugeben
3. 10 min kneten
4. Glyoxal zugeben
5. 10 min kneten



Kommentar:

Trotz mehr Glycerin, höherer Temperatur und höherer Drehzahl inhomogene Masse.

sehr Dunkle Masse

klebriger als jene zu vor

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 11B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 50 getrocknet
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 160
Drehzahl	[U/min]:	40
Widerstand		11

Verfahrensschritte:

1. Stärke mit LPO coaten
2. Glycerin zugeben
3. 10 min kneten
4. Glyoxal zugeben
5. 10 min kneten



Kommentar:

sehr dunkle Masse, inhomogen

härtet sehr schnell aus

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 12B

Maschine		Kneten
Stärke	[g]:	Agrana B 30 getrocknet
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	50% = 15
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 0,6
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 120
Drehzahl	[U/min]:	30
Widerstand		45


Verfahrensschritte:

1. Stärke mit LPO coaten
2. Glycerin zugeben
3. 10 min kneten

Kommentar:

zu wenig Masse, flutscht durch



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 13B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 50 getrocknet
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 120
Drehzahl	[U/min]:	30
Widerstand		15

Verfahrensschritte:

1. Stärke + LPO u. Glycerin in den Knetter gegeben
2. 10 min kneten
3. Glyoxal zugeben
4. 10 min kneten

Kommentar:

Es wurde die Reproduzierbarkeit von 9B geprüft.

homogenere Masse

Widerstand ~15 bei Glycerin

Widerstand bleibt bei Glyoxal gleich

lässt sich pressen

Schlieren bildeten sich beim Pressen, nach dem Pressen nicht mehr homogen

Luftkanäle entstehen beim Pressen an der Oberfläche.



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 14B

Maschine		Kneten
Stärke	[g]:	Agrana B 50 getrocknet
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 120
Drehzahl	[U/min]:	70
Widerstand		10

Verfahrensschritte:

1. Stärke + LPO u. Glycerin in den Kneten gegeben
(n=20)
2. Drehzahl auf 70 erhöht
3. 10 min kneten
4. Glyoxal zugegeben
5. 10 min kneten



Kommentar:

Gleiche Mengen wie bei 9B,13B allerdings wurde die Drehzahl auf 70 erhöht
homogenere Masse

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 15B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 50
Wasser	[g]:	50% = 25
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 100
Drehzahl	[U/min]:	30
Widerstand		6 nach Glyoxal 8

Verfahrensschritte:

1. Stärke + Wasser in den Knetter gegeben (n=20)
2. 10 min kneten
3. LPO, Glycerin zugeben
4. 5 min kneten
5. Glyoxal zugeben
6. 10 min kneten



Kommentar:

Reproduzierbarkeit von 5 B
 schaut gleich aus, ist gering dunkler

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 16B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 50
Wasser	[g]:	50% = 25
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 100
Drehzahl	[U/min]:	30
Widerstand		3

Verfahrensschritte:

1. Wasser + Stärke in den Knetter gegeben
2. 10 min kneten
3. LPO, Glycerin zugeben
4. 10 min kneten

Kommentar:

Probe für Reproduzierbarkeit von 9B, 13B in gepresster Form



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 17B

Maschine		Kneter
Stärke	[g]:	Agrana B 50 getrocknet
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	30% = 15
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 120
Drehzahl	[U/min]:	70
Widerstand		11

Verfahrensschritte:

1. Stärke, LPO und Glycerin in den Kneter gegeben
2. 10 min kneten
3. Glyoxal zugegeben
4. 10 min kneten



Kommentar:

Noch immer spröde, etwas weniger als Probe mit 10 g Glycerin

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 18B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 50 getrocknet
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	40% = 20
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 120
Drehzahl	[U/min]:	70
Widerstand		15

Verfahrensschritte:

1. Stärke, LPO und Glycerin in den Knetter geben
2. 10 min kneten
3. Glyoxal zugegeben
4. 10 min kneten



Kommentar:

Immer noch spröde

Durch Glycerin klebrig

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 19B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 50 getrocknet
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	40% = 20
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 1% = 0,5
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 120
Drehzahl	[U/min]:	70
Widerstand		18

Verfahrensschritte:

1. Stärke, Glycerin und LPO in den Knetter geben
2. 10 min kneten
3. Glyoxal zugegeben
4. 10 min kneten

Kommentar:

Bleibt spröde



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 20B

Maschine		Kneten
Stärke	[g]:	Agrana B 50
Wasser	[g]:	50% = 25
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 120
Drehzahl	[U/min]:	70
Widerstand		5

Verfahrensschritte:

1. Stärke mit LPO coaten
2. restliche Stärke und Wasser zugeben
3. Drehzahl auf 70 erhöht, Widerstand = 5
4. 10 min kneten
5. Glycerin zugeben
6. 10 min kneten




Kommentar:

Bei der Zugabe von Stärke, in kleinen Portionen, abwechselnd mit Flüssigkeit, entsteht eine homogene Masse.

Die gleichen Inhaltsstoffe wie bei 5B aber statt 120°C mit 104°C.

Die Drehzahl wurde auf 70 erhöht.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 21B

Maschine		Kneten
Stärke	[g]:	Agrana B 50
Wasser	[g]:	50% = 25
Glycerin	[g]:	20% = 10g
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 120
Drehzahl	[U/min]:	70
Widerstand		10

Verfahrensschritte:


1. Stärke mit LPO coaten
2. restliche Stärke und Wasser zugeben
3. Drehzahl auf 70 erhöht
4. 10 min kneten
5. Glycerin zugeben
6. 5 min kneten
7. Glyoxal zugeben
8. 5 min Kneten



Kommentar:

Das Material ist im warmen Zustand weich.

Material wurde, nach der Entnahme aus den Knetkammern, kalt gewalzen wodurch die Oberfläche spröde wurde.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 22B

Maschine		Kneten
Stärke	[g]:	Agrana B 50
Wasser	[g]:	20% = 10
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 120
Drehzahl	[U/min]:	70
Widerstand		10

Verfahrensschritte:


1. Stärke mit LPO coaten
2. restliche Stärke und Wasser zugeben
3. Drehzahl auf 70 erhöht
4. 10 min kneten
5. Glycerin zugeben, Widerstand = 4
6. 5 min kneten
7. Glyoxal zugeben
8. 5 min Kneten



Kommentar:

Schritt 3: Gewicht hüpf

Schritt 4: kleine Futzeln entstehen bei der Zugabe von Glycerin, Quellen aus der Kammer

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 23B

Maschine		Kneten
Stärke	[g]:	Agrana B 50
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 20% = 10
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 120
Drehzahl	[U/min]:	40
Widerstand		?

Verfahrensschritte:


1. Stärke mit LPO coaten
2. restliche Stärke und Glycerin zugegeben
3. Drehzahl auf 70 erhöht
4. 10 min kneten
5. Glyoxal zugegeben
6. 20 min kneten



Kommentar:

Glycerin und Stärke – extrem hoher Widerstand $W \sim 25$

Widerstand sinkt bei der Zugabe von Glyoxal auf $W = 10$

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 24B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 40 getrocknet, MaterBi 20
Wasser	[g]:	10
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1; Glyoxal 10% = 4
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 120
Drehzahl	[U/min]:	70
Widerstand		90/5

Verfahrensschritte:

1. Stärke mit LPO coaten
2. restliche Stärke und MaterBi eingegeben
3. 15 min kneten
4. Glycerin zugegeben
5. Wasser zugegeben
6. 10 min kneten
7. Glyoxal zugegeben



Kommentar:

Stärke und MaterBi bei einer Drehzahl von $n=40$ in den Knetter gegeben. Der Widerstand stieg kurz auf 90 und pendelte sich dann bei 43 ein.

- 2 Möglichkeiten:
1. zu trocken – Material verkeilt sich
 2. chem. Reaktion beim Aufschmelzen von MaterBi mit elast.

Stärke

Bei der Zugabe von Glycerin sinkt die Drehzahl extrem ($n = 5$)

Bei der Zugabe von Wasser schäumt die Masse stark auf, weiß/milchig, Wasser verdampft zum Teil.

Als Glyoxal zugegeben wurde, wurde die Masse gelblich und schäumte auf, weiße Streifen heben sich ab, die Drehzahl steigt auf 8 (kurz)

Es wirkt als wäre etwas ausgefallen.

Der Widerstand pendelt zwischen 4 – 9.

Kommt schon Härte aus dem Knetter (höhere Temperatur)

Farbe: arzurbraun

Nach dem Pressen ist die Masse weiß/crem.


Elastisches Material

Vermischte sich gut mit der Stärke.

Beim entnehmen aus dem Knetter an den Bruchstellen weich

Angenehmer süßlicher Duft.

Oberfläche ist bräunlich, innen ist es weiß

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 24B/2

Maschine		Kneten
Stärke	[g]:	Agrana B 40 getrocknet, MaterBi 20
Wasser	[g]:	10
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 140
Drehzahl	[U/min]	70
Widerstand		50/10

Verfahrensschritte:

1. Stärke mit LPO coaten
2. restliche Stärke und MaterBi eingeben
3. 15 min kneten
4. Glycerin zugeben
5. 5 min kneten
6. Wasser zugeben



Kommentar:

Drehzahl steigt nach Schritt 2 auf $n = 70$, $W \sim 50$

Bei der Zugabe von Glycerin, dunkle Masse → zu hohe Temperatur

Stärke karamellisiert, Widerstand = 10

Bei der Zugabe von Wasser starkes Schäumen.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 25B

Maschine		Kneten
Stärke	[g]:	Agrana B 40 getrocknet, MaterBi 20
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 120 / 130
Drehzahl	[U/min]:	70
Widerstand		60/20

Verfahrensschritte:

1. Stärke mit LPO coaten
2. restliche Stärke und MaterBi eingegeben
3. 10 min kneten
4. Glycerin zugeben
5. 10 min kneten



Kommentar:

Bei Schritt 2 stieg der Widerstand kurz auf 110 an.

Der Widerstand bleibt bei 60.

Nach der Zugabe von Glycerin sinkt der Widerstand auf 20.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 26B

Maschine		Kneten
Stärke	[g]:	Agrana B 50 getrocknet, Ecoflex SBX 7000 20% = 10
Wasser	[g]:	20% = 10
Glycerin	[g]:	20% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 1
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur: 130
Drehzahl	[U/min]:	70
Widerstand		20/10

Verfahrensschritte:

1. LPO und Stärke coaten
2. restliche Stärke, Exoflex und Wasser zugeben
3. 10 min kneten
4. Glycerin zugeben
5. 10 min kneten



Kommentar:


Der Widerstand ist nach der Zugabe von Wasser bei 20.

Zugabe von Glycerin:

Das Material auf der linken Seite ist homogen, bei der Entnahme ist die Masse hart, an der Oberfläche aber weich (1 – 2 mm)

Auf der rechten Seite ist die Masse inhomogen, bei der Entnahme ist die Masse weich.

Der Widerstand ist am Schluss gegen 10.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 27B

Maschine		Kneten
Stärke	[g]:	Agrana B 40 getrocknet, MaterBi 50% = 20
Wasser	[g]:	25% = 10
Glycerin	[g]:	25% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = ,08
Temperatur	[°C]:	120
Drehzahl	[U/min]:	70
Widerstand		20/6

Verfahrensschritte:

1. LPO mit Stärke in den Kneten gegeben
2. 10 min kneten
3. Glycerin zugegeben
4. 10 min kneten



Kommentar:

Der Widerstand ist am Anfang gegen 20, das Gewicht hüpf.

Bei der Zugabe von Glycerin sinkt der Widerstand auf 6, am Ende ist er um 14.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 28B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 40 getrocknet, MaterBi 50% = 20
Wasser	[g]:	25% = 10
Glycerin	[g]:	25% = 10
Chemikalien	[g]:	LPO 2% = 0,8
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur 125
Drehzahl	[U/min]:	80
Widerstand		25/6

Verfahrensschritte:

1. Stärke und MaterBi vor dem Knetter vermischen
2. Stärke und MaterBi mit LPO in den Knetter gegeben
3. Wasser in den Knetter gegeben
4. 10 min Kneten




Kommentar:

Der Widerstand ist am Anfang um 25, nach Schritt 3 steigt der Widerstand auf 45.

Durch die Zugabe sinkt der Widerstand auf 6.

Das Material ist auf der rechten Seite weich und auf der Linken hart.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 29B

Maschine		Knetter
Stärke	[g]:	Agrana B 20 getrocknet, MaterBi 200% = 40
Wasser	[g]:	25% = 5
Glycerin	[g]:	25% = 5
Chemikalien	[g]:	LPO 1% = 0,2
Temperatur	[°C]:	Öltemperatur 125
Drehzahl	[U/min]:	80
Widerstand		45/16

Verfahrensschritte:

1. Stärke und MaterBi vor dem Knetter vermischen
2. Stärke und MaterBi mit LPO in den Knetter gegeben
3. Wasser in den Knetter gegeben
4. 10 min Kneten
5. Glycerin zugegeben
6. 10 min Kneten



Kommentar:

Am Anfang ist der Widerstand gegen 45 und sinkt dann bis 10.
 Durch die Zugabe von Glycerin sinkt der Widerstand auf 16
 Beim Öffnen bilden sich große Luftblasen und kommen raus.
 Material blubbert bzw. kocht.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 25BW

Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Agrana B 71 getrocknet, MaterBi NF01U 200% = 140
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	25% ~ 19g
Chemikalien	[g]:	LPO auf die Walzen aufgetragen
Temperatur	[°C]:	vorne: 124 / 117 / 113 hinten: 103 / 120 / 111
Drehzahl	[U/min]:	14
Widerstand		-

Verfahrensschritte:

1. LPO auf die Walzen aufgetragen
2. Stärke B zu geben und walzen lassen
3. MaterBi zugegeben und walzen lassen
4. Glycerin zugegeben und walzen lassen



Kommentar:

Gleiche Mengen wie bei 25 B.

Stärke lässt sich sehr leicht von den Walzen entfernen (klebt nicht).

MaterBi lässt sich schmelzen und wird mit B homogen.

Nach der Zugabe von Glycerin bleibt das Material leicht auf den Walzen kleben und lässt sich entfernen.

Das Walzfell lässt sich nicht auf einmal entfernen.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 26BW

Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Agrana B 160 getrocknet, Ecoflex SBX 7000 20% = 36
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	20% = 32
Chemikalien	[g]:	LPO auf die Walzen aufgetragen
Temperatur	[°C]:	vorne: 124 / 117 / 113 (von links nach rechts) hinten: 103 / 120 / 111
Drehzahl	[U/min]:	14
Widerstand		-

Verfahrensschritte:

1. LPO auf die Walzen aufgetragen
2. Stärke B zu geben und ca. 5 min walzen lassen
3. Ecoflex zugegeben und ca. 5 min walzen lassen
4. Glycerin zugegeben und walzen lassen

Kommentar:

Stärke mit Ecoflex ist homogen aber sehr trocken

Nach der Zugabe von Glycerin bleibt das Material leicht auf den Walzen kleben lässt sich aber problemlos abnehmen.

Das Walzfell lässt sich nicht auf einmal entfernen.



REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 27BW


Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Agrana B 160, Ecoflex SBX 7000 20% = 36
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	Einige Tropfen
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	vorne: 124 / 117 / 113 (von links nach rechts) hinten: 103 / 120 / 111
Drehzahl	[U/min]:	14
Widerstand		-

Verfahrensschritt:

1. LPO auf die Walzen aufgetragen
2. Stärke B zu geben und ca. 5 min walzen lassen
3. Ecoflex zugeben und ca. 5 min walzen lassen
4. Glycerin zugeben und walzen lassen



Kommentar:

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 27BW2

Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Agrana B 160, Ecoflex SBX 7000 20% = 32
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	20% = 32
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	vorne: 124 / 117 / 113 (von links nach rechts) hinten: 103 / 120 / 111
Drehzahl	[U/min]:	14
Widerstand		-


Verfahrensschritte:

1. LPO auf die Walzen aufgetragen
2. Stärke B zu geben und ca. 5 min walzen lassen
3. Ecoflex zugegeben und ca. 5 min walzen lassen
4. Glycerin zugegeben und walzen lassen



Kommentar:

Masse lässt sich von den Walzen abnehmen. Nach dem Stanzen ist die Probe sehr hart.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 28W

Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Agrana B 160 getrocknet, Ecoflex SBX 7000 20% = 32
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	20% = 32
Chemikalien	[g]:	LPO auf die Walzen aufgetragen
Temperatur	[°C]:	vorne: 93 / 115 / 123 (von links nach rechts) hinten: 120 / 134 / 134
Drehzahl	[U/min]:	10, 18
Widerstand		-

Verfahrensschritte:

1. Stärke mit Glycerin in einem Becher gemischt
2. LPO auf die Walzen aufgetragen
3. Stärke-Glycerin Gemisch auf die Walzen aufgetragen, ca. 5 min walzen lassen
4. Ecoflex zugeben und ca. 5 min walzen lassen
5. ca. 10 min walzen lassen




Kommentar:

Die Drehzahl ist am Anfang auf 10 eingestellt und wird später auf 18 erhöht.

Stärke-Glycerin Gemisch ist trocken, lässt sich nicht als Walzfell walzen.

Durch die Zugabe von Ecoflex wird das Stärke-Glycerin Gemisch weicher und es bildet sich ein Walzfell.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 29W

Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Agrana B 160 getrocknet, Ecoflex SBX 7000 20% = 32
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	40% = 64
Chemikalien	[g]:	LPO auf die Walzen aufgetragen
Temperatur	[°C]:	vorne: 93 / 115 / 123 (von links nach rechts) hinten: 120 / 134 / 134
Drehzahl	[U/min]:	10, 18
Widerstand		-

Verfahrensschritte:

1. Stärke mit Glycerin in einem Becher gemischt
2. LPO auf die Walzen aufgetragen
3. Stärke-Glycerin Gemisch auf die Walzen aufgetragen, ca. 5 min walzen lassen
4. Ecoflex zugegeben und ca. 5 min walzen lassen
5. ca. 10 min walzen lassen



Kommentar:

Die Drehzahl ist am Anfang auf 10 eingestellt und wird später auf 18 erhöht.

Stärke-Glycerin Gemisch ist trocken, lässt sich nicht als Walzfell walzen.

Durch die Zugabe von Ecoflex wird das Stärke-Glycerin Gemisch weicher und es bildet sich ein Walzfell.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 30BW

Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Agrana B 160 getrocknet, Ecoflex SBX 7000 20% = 32
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	20% = 32
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	vorne 95 / 108 / 111 (von links nach rechts) hinten 114 / 120 / 119
Drehzahl	[U/min]:	10, 18
Widerstand		-

Verfahrensschritte:


1. Stärke auf die Walzen aufgetragen
2. Ecoflex zugegeben um ein Walzfell zu bekommen
3. Glycerin zugegeben
4. LPO (wenig), paar Tropfen



Kommentar:

Gleiche Mengen wie bei 28 BW allerdings in einer anderen Reihenfolge.

Das Walzfell ist spröde und klebrig, lässt sich gut walzen.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 31BW

Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Agrana B 320 getrocknet, Ecoflex SBX 7000 20% = 64
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	30% = 96
Chemikalien	[g]:	LPO auf die Walzen aufgetragen
Temperatur	[°C]:	vorne 95 / 108 / 111 (von links nach rechts) hinten 114 / 120 / 119
Drehzahl	[U/min]:	10, 18
Widerstand		-

Verfahrensschritte:

1. Stärke mit Glycerin in einem Becher gemischt
2. LPO auf die Walzen aufgetragen
3. Stärke-Glycerin Gemisch auf die Walzen aufgetragen, ca. 5 min walzen lassen
4. Ecoflex zugeben und ca. 5 min walzen lassen
5. ca. 10 min walzen lassen




Kommentar:

Die Drehzahl ist am Anfang auf 10 eingestellt und wird später auf 18 erhöht.

Stärke-Glycerin Gemisch ist trocken, lässt sich nicht als Walzfell walzen.

Durch die Zugabe von Ecoflex wird das Stärke-Glycerin Gemisch weicher und es bildet sich ein Walzfell.

REITI		Thermoplastische Stärke	Datum:
6PWB1			NR.: 32BW

Maschine		Walzwerk
Stärke	[g]:	Agrana B 300 getrocknet, Ecoflex SBX 7000 20% = 60
Wasser	[g]:	-
Glycerin	[g]:	30% = 90
Chemikalien	[g]:	-
Temperatur	[°C]:	vorne 88 / 103 / 115 (von links nach rechts) hinten 112 / 120 / 117
Drehzahl	[U/min]:	10, 21
Widerstand		-

Verfahrensschritte:

1. Stärke mit Glycerin auf die Walzen aufgetragen (abwechselnd)
2. Stärke mit Glycerin zu einem Walzfell walzen lassen
3. Ecoflex zugegeben
4. ca. 10 min walzen lassen
5. abwechselnd den Spalt weiter und enger gestellt



Kommentar:

Die Drehzahl ist am Anfang auf 10 eingestellt, damit am Anfang nicht alles wieder durchfällt, und wird später auf 21 erhöht.

Durch die Zugabe von Ecoflex wird das Stärke-Glycerin Gemisch weicher und es bildet sich ein Walzfell.