

## Entwicklung geschäumter Produkte auf Proteinbasis

## **Synopsis**

Mittels Extrusion wurden geschäumte Pellets und Profile auf Naturstoffbasis hergestellt. Pellets sollen als Dämmstoff in der Bauindustrie dienen und Profile durch ihr geringes Gewicht neue Märkte erschließen. Versuche im halbtechnischen Maßstab verliefen gut.

## **Projektleiter**

Dipl.-Ing. Dr. Norbert Mundigler  
Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie (IFA-Tulln)  
Abteilung Naturstofftechnik, Konrad Lorenz Straße 20, 3430 Tulln

## **ProjektmitarbeiterInnen**

Am IFA-Tulln, Abteilung Naturstofftechnik:

Dipl.-Ing. Dr. Karin Pirker  
Dipl.-Ing. (FH) Rainer Bittermann  
Ing. Josef Hintenberger  
Mag. Alois Maticic  
Dr. Bogdan Grzeskowiak  
Wolfgang Schlager

Bei Fa. Fasalex, Kopfing

Rögner, Geschäftsführer  
Hartl, Produktionsleiter  
Zodl, Verfahrenstechniker  
Schmidseder, Produktmanager  
Störinger, Auer Hilfskräfte

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>6</b>
<b>KURZFASSUNG (LANG)</b> .....	<b>7</b>
EINLEITUNG .....	7
AUFGABENSTELLUNG .....	7
METHODEN .....	7
<i>Rohstoffe</i> .....	7
<i>Rezepturauswahl</i> .....	8
<i>Verarbeitungsparameter</i> .....	8
ERGEBNISSE .....	8
<i>Vorversuche</i> .....	8
<i>Strangextrusion am Extruder CM 45 Food</i> .....	8
<i>Schüttgutextrusion und Plattenpressversuche</i> .....	9
<i>Profilextrusion am Extruder Cincinnati Titan 58</i> .....	9
<i>Allgemeine Erkenntnisse im Hinblick auf das Schäumen mit Naturstoffen</i> .....	10
<b>ABSTRACT (LONG VERSION)</b> .....	<b>11</b>
INTRODUCTION .....	11
TASKS .....	11
METHODS .....	11
<i>Materials</i> .....	11
<i>Finding the right recipes</i> .....	12
<i>Processing parameters</i> .....	12
RESULTS .....	12
<i>Preliminary tests</i> .....	12
<i>Strand extruding on the extruder CM 45 Food</i> .....	12
<i>Bulk material extruding and production of sandwich-like boards</i> .....	13
<i>Profile extrusion on the extruder Cincinnati Titan 58</i> .....	13
<i>General aspects regarding the foaming with natural materials</i> .....	14
<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>15</b>
<b>ALLGEMEINES UND STAND DER TECHNIK</b> .....	<b>16</b>
THEORETISCHE GRUNDLAGEN DER SCHAUMBILDUNG AUS NATURSTOFFEN .....	17
<b>BEITRAG ZUR PROGRAMMLINIE „FABRIK DER ZUKUNFT“</b> .....	<b>17</b>
<b>VORARBEITEN</b> .....	<b>19</b>
<b>VERWENDETE MASCHINEN UND MATERIALIEN</b> .....	<b>19</b>
REZEPTURENTWICKLUNG .....	19
CHARAKTERISIERUNG DER VERWENDETEN ROHSTOFFE .....	20
<i>Vorbereitung der Lederabfälle</i> .....	20
<i>Lederanalyse</i> .....	20
<i>Naturharz</i> .....	20
<i>Weitere Rohstoffe</i> .....	21
<i>Korngrößenverteilung</i> .....	21
<i>Heißmischen</i> .....	21
MASCHINENBESCHREIBUNG.....	21
<i>Laborextruder der Fa. Collin</i> .....	21

<i>Doppelschneckenextruder</i> .....	22
<i>Verarbeitungsparameter</i> .....	22
<i>Extruder CM 45 Food (halbtechnischer Maßstab)</i> .....	22
<i>Extruder Cincinnati Titan 58</i> .....	23
<i>Extruder Cincinnati Titan 80</i> .....	23
<i>Variablenfestsetzung</i> .....	23
PRÜFUNG DER EXTRUDATE .....	24
<i>Wichtige Beurteilungskriterien</i> .....	24
<i>Mikroskopie</i> .....	24
<i>Universalprüfmaschine</i> .....	24
<i>Druckprüfung</i> .....	24
<i>Dichtemessung</i> .....	25
<i>Wasseraufnahme nach 2h</i> .....	25
<i>Stampfdichte</i> .....	25
PRESSVERSUCHE .....	25
<i>Bestimmung der Querkzugfestigkeit der gepressten Platten</i> .....	26
<b>ERGEBNISSE DER EXTRUSIONSVERSUCHE .....</b>	<b>26</b>
VORVERSUCHE.....	26
SCHÄUMEN VON PULVERMISCHUNGEN ZU EXPANDIERTEN STRÄNGEN .....	27
<i>Extrusionsversuche</i> .....	27
<i>Charakterisierung der extrudierten Stränge</i> .....	28
SCHÜTTKÖRPERPRODUKTION .....	31
<i>Extruder CM 45 Food</i> .....	31
<i>Upscaling mittels Extruder Cincinnati Titan 58</i> .....	33
<i>Externe Versuche mit Extruder Cincinnati Titan 80</i> .....	34
PRESSVERSUCHE .....	34
<i>Auswahl Schaumrezepturen für Pressversuche</i> .....	34
<i>Beschreibung der Sandwichbauteile</i> .....	35
<i>Bestimmung der Querkzugfestigkeit</i> .....	35
PROFILEXTRUSION.....	36
<i>Schäumen mittels Schlitzdüse am Extruder CM 45 Food</i> .....	36
<i>Direktextrusion zu geschäumten Profilen am Extruder Cincinnati Titan 58</i> .....	37
<i>Probleme bei der Direktextrusion zu Profilen</i> .....	38
<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN ZU DEN PROJEKTERGEBNISSEN .....</b>	<b>39</b>
ALLGEMEINE ERKENNTNISSE IM HINBLICK AUF DAS SCHÄUMEN MIT NATURSTOFFEN .....	39
VERWENDUNG ALS DÄMMSTOFF .....	39
<b>AUSBLICK .....</b>	<b>40</b>
ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN.....	40
WEITERFÜHRENDER FORSCHUNGSBEDARF.....	41
<i>Allgemein</i> .....	41
<i>Profilextrusion</i> .....	41
<i>Sandwichbauteil</i> .....	41
<i>Mögliche Risiken</i> .....	41
<b>PROJEKTKOSTEN.....</b>	<b>42</b>
INDUSTRIEPARTNER .....	42
FORSCHUNGSEINRICHTUNG.....	43
<b>LITERATURLISTE .....</b>	<b>44</b>

## Kurzfassung

Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines neuen Schaumproduktes aus proteinreichen Neben- und Abfallprodukten, die eine Dichte  $< 1,0 \text{ g/cm}^3$  aufweisen und damit den Dichten der meisten Holzarten sehr nahe kommen.

Das vorliegende Projekt stellt ein Verfahren zur Herstellung von geschäumten Formkörpern mittels Extrusion aus biogenen Rohstoffen dar. Als solche Formkörper seien beispielhaft Schaumplatten erwähnt.

Dabei sind die verschiedensten Anwendungen denkbar, z. B. Einbauteile zur Wärmedämmung im Baustoffbereich, Möbelteile, Automobilteile, Füllkörper im Baustoffbereich, Bleistiftholzersatz etc.

Zur Vorauswahl von geeigneten Rohstoffen, Additiven und Verarbeitungsbedingungen wurden an einem Laborextruder Rezepturen entwickelt und verschäumt und je nach Qualität der erhaltenen Schaumprodukte wurden Testläufe im halbtechnischen Maßstab durchgeführt. Als proteinreicher Rohstoff wurden chromfreie Lederabfälle aus Gerbereien eingesetzt.

Ausgehend von Versuchen aus der Vergangenheit wurde eine Auswahl von Rezepturen getroffen, die bezüglich Schaumentwicklung vielversprechend schienen. Wichtige Kriterien waren geringe Rohstoffkosten, geringe Dichten, feine Poren und hohe Expansion.

Da die Maschineneinstellungen großen Einfluss auf das Endprodukt haben, wurden auch diese im Verlauf der Versuchsreihen optimiert. So konnten die Menge der Dosierung, die Drehzahl und die damit verbundene Verweilzeit, die Masstemperatur, (abhängig von den Schmelzpunkten der Mischungskomponenten), der Wassergehalt, der Einfluss unterschiedlicher Schneckenkonfigurationen, sowie die Düsen mit unterschiedlichen Austrittsflächen getestet und festgelegt werden.

Anhand der Ergebnisse aus den Versuchsreihen konnten grundsätzliche Parameter, die zur Schaumbildung notwendig sind, ermittelt werden. So konnte der optimale Wassergehalt und das Verhältnis zwischen fließfähigen Materialien und Füllstoffen, sowie strukturgebenden Komponenten gefunden werden. Generell ist zu sagen, dass es möglich ist die Schaumeigenschaften von elastisch bis spröd einzustellen, aber bei Rezepturen ohne faserigen Anteil fehlt die strukturgebende Komponente, was zu verminderter Steifigkeit führt. Ein Gesamtanteil von 30% fließfähigen Komponenten ist nötig um eine gute Verarbeitbarkeit am Extruder und eine ausreichende Wasserbeständigkeit des Endproduktes zu garantieren. Als Hydrophobierungsmittel fungieren hauptsächlich Naturharze und thermoplastische Polymere, die in Punkto Polarität kompatibel zu den verwendeten Naturstoffen sind.

Zur Untersuchung der Schaumbildung bzw. Schaumstruktur wurden ein Auflichtmikroskop und eine Universalprüfmaschine herangezogen.

Im Zuge dieses Projektes konzentrierten wir uns auf die Entwicklung von Rezepturen für Schüttkörper, die anschließend zwischen Platten verpresst wurden (Sandwichaufbau) und zweitens wurden mittels Direktextrusion leichte Profile hergestellt.

Zur Produktion von geschäumten Schüttkörpern wurden proteinhaltige Reststoffe herangezogen. Schüttkörper verschiedener Korngrößen wurden unter Bindemittelzusatz als Dämmschicht zwischen festigkeitsgebenden Deckplatten verpresst. Das Ergebnis ist ein Einbauteil in Sandwichbauweise aus vorwiegend nachwachsenden Rohstoffen und Reststoffen.

## Abstract

One of the main objectives of this project is the development of an innovative foamed product made from protein containing by-products and waste products. These foam products have a density of less than 1,0 g/ccm thus resembling the density of most of wood types.

An extrusion process is applied for the production of foamed profiles and filling materials consisting of biogenous raw materials. One might think of several applications such as insulation in building materials, automotive interior...

After preselection of appropriate raw materials, additives and extrusion conditions foaming was conducted on a laboratory extruder and afterwards scaling up was made.

Waste products from chromium free tanneries were used as protein containing raw material.

Based on former tests several promising recipes were chosen for further experiments.

Low costs of the raw materials, low densities, high porosity and expansion of the end product were important criteria.

The extrusion parameters having high influence on the mechanical properties of the final product were also optimised during the test runs. The optimum range of metering, the screw speed, residence time, the temperature in dependency of the melt temperatures of the components, and the water content were determined. Different screws and dies were also tested.

Fundamental parameters necessary for foaming processes were established on the basis of the results from the test series. The optimum water content and the optimum ratio between components exhibiting flowable or reinforcing properties and fillers were determined. It was possible to generate foams with a wide range of properties such as flexible or brittle. The products based on recipes without fibrous compounds lack stiffness. A percentage rate of 30% flowable components is necessary for obtaining good performance on the extruder and sufficient hydrophobicity.

Natural resins and thermoplastic polymers are compatible to wood and other natural raw materials and are therefore used for achieving hydrophobicity.

For examining foam structure a reflected light microscope was used.

We concentrated on the development of recipes of filling materials that were pressed between fibreboards in a sandwich like construction and the production of low-weight profiles by direct extrusion.

For the production of foamed filling materials leather wastes containing protein were used. These granules of different sizes were used in combination with adhesive agents as insulation layer between upper layers giving stability. The result is a sandwich-like construction board made from renewable resources and waste materials.

# Kurzfassung (lang)

## Einleitung

Die vorliegende Projektdokumentation soll den Fortschritt und den Abschluss der Arbeiten am IFA-Tulln präsentieren. Es wurden mehrere Versuchsreihen durchgeführt, um einerseits die Maschinenparameter und andererseits die Rohstoffzusammensetzung zu optimieren. Dazu wurde zuerst die grundsätzliche Eignung verschiedener Materialien getestet und in einem weiteren Schritt die optimale Menge in der Mischung ermittelt. Zur Vorauswahl von geeigneten Rohstoffen, Additiven und Verarbeitungsbedingungen sollten an einem Laborextruder Rezepturen entwickelt und verschäumt werden und je nach Qualität der erhaltenen Schaumprodukte Testläufe im halbtechnischen Maßstab durchgeführt werden.

Als proteinreicher Rohstoff wurden u.a. chromfreie Lederabfälle aus Gerbereien eingesetzt.

## Aufgabenstellung

Das vorliegende Projekt stellt ein Verfahren zur Herstellung von geschäumten Formkörpern mittels Extrusion aus hauptsächlich biogenen Rohstoffen auf Basis von proteinhaltigem Material vor. Als solche Formkörper seien beispielhaft Schaumplatten erwähnt.

Dabei sind die verschiedensten Anwendungen denkbar, z. B. Einbauteile zur Wärmedämmung im Baustoffbereich, Möbelteile, Automobilteile, Füllkörper im Baustoffbereich, Bleistiftholzersatz etc.

## Methoden

### Rohstoffe

Die Lederabfälle wurden feucht geliefert. Um die Verarbeitung im Extruder zu ermöglichen, musste das Material zuerst getrocknet werden. Die Größe der Teile wurde durch Mahlen verringert um das Einzugsverhalten zu verbessern und somit die gleichmäßige Verarbeitung der Lederabfälle zu ermöglichen. Anschließend wurden durch einen Siebvorgang Grobanteile ausgeschieden. Diese relativ aufwendige Vorbehandlung würde bei einer industriellen Umsetzung automatisiert und optimiert werden. Für die Versuche an unserem Technikum mussten diese Arbeiten vorerst manuell durchgeführt werden.

Da die verwendeten Rohstoffe in sehr unterschiedlichen Formen vorliegen, (Pulver, Plättchen, Granulat, ... ) wurden durch einen Mischvorgang unter Einwirkung von Temperatur die Homogenität und die Rieselfähigkeit verschiedener Rezepturen verbessert. Zu diesem Zweck beschickte man einen Heißmischer mit den eingewogenen Rohstoffen. Das Rotorblatt im Inneren des Mixers führte durch Friktion zur Erhitzung des Materials und somit zum Aufschluss der niedrigschmelzenden Komponenten. Die einzelnen Stufen des Schmelzvorganges konnten durch die Beobachtung der Leistungsaufnahme des Antriebsmotors beobachtet werden.

Teile der proteinhaltigen Rohstoffe enthalten niedermolekulare Bestandteile, die durch Wärmeeinwirkung gasförmig und als Geruch wahrgenommen werden können. Um diese Amine zu binden wurden verschiedene mineralische Pulver getestet.

Bei der Verarbeitung von Naturstoffen spielt die Korngrößenverteilung eine wichtige Rolle. Sie wird durch Siebanalysen festgestellt und charakterisiert den Rohstoff.

### **Rezepturauswahl**

Ausgehend von Versuchen aus der Vergangenheit an unseren Maschinen wurde eine Auswahl von Rezepturen getroffen, die bezüglich Schaumentwicklung vielversprechend schienen. Wichtige Kriterien waren geringe Rohstoffkosten, geringe Dichten, feine Poren und hohe Expansion.

Auf Basis dieser Erfahrungswerte wurden erste Versuchsreihen geplant und durchgeführt. Die Ergebnisse wurden ständig in eine eigens angelegte Datenbank eingetragen um eine vollständige und übersichtliche Dokumentation zu gewährleisten.

Anhand der Ergebnisse aus den Versuchsreihen konnten grundsätzliche Parameter, die zur Schaumbildung notwendig sind, ermittelt werden. So konnte der optimale Wassergehalt und das Verhältnis zwischen fließfähigen Materialien und Füllstoffen, sowie strukturgebenden Komponenten gefunden werden. Zur Untersuchung der Schaumbildung bzw. Schaumstruktur wurde ein Auflichtmikroskop herangezogen und die Aufnahmen mittels Digitalkamera festgehalten.

Anhand der Porengröße und -verteilung konnte die Schaumbildung beurteilt werden. Die optische Erfassung einzelner Partikel ließ Rückschlüsse auf die Homogenität und den Aufschluss der schmelzenden Mischungsanteile zu.

### **Verarbeitungsparameter**

Da die Maschineneinstellungen großen Einfluss auf das Endprodukt haben, wurden auch diese im Verlauf der Versuchsreihen optimiert. So konnten die Menge der Dosierung, die Drehzahl und die damit verbundene Verweilzeit, die Masstemperatur (abhängig von den Schmelzpunkten der Mischungskomponenten), der Wassergehalt, der Einfluss unterschiedlicher Schneckenkonfigurationen, sowie die Düsen mit unterschiedlichen Austrittsflächen getestet und festgelegt werden.

## **Ergebnisse**

### **Vorversuche**

Nach der Auswahl vorhandener Rezepturen wurden Versuche auf dem Laborextruder Collin durchgeführt.

Aufgrund der geringen Scherwirkung und der Kürze der Schnecke, sowie der damit verbundenen geringen Verweilzeit, lassen sich viele Eigenschaften nicht hinreichend genau bestimmen. Daher wurde ein Großteil der Versuche im halbtechnischen Maßstab durchgeführt.



### **Strangextrusion am Extruder CM 45 Food**

Die extrudierten Stränge wurden durch Druckmessung an der Prüfmaschine getestet. Anhand der Ergebnisse aus den Versuchsreihen konnten grundsätzliche Parameter, die zur Schaumbildung notwendig sind, ermittelt werden. So konnten der optimale Wassergehalt und das Verhältnis zwischen fließfähigen Materialien und Füllstoffen sowie strukturgebenden Komponenten gefunden werden. Beispielhaft seien folgende Experimente erwähnt:

Zu einer gut schäumenden Rezeptur wurde sukzessive Holz als strukturverstärkender Füllstoff zugegeben. Bei 30% war keine Expansion mehr; durch Zugabe von Harz wieder Expansion beobachtbar. D.h. wenn der Holzgehalt einer Mischung den Harzgehalt überschreitet, nimmt die Expansion stark ab.

Bei einem Düsendurchmesser von 2 - 4 mm wurden expandierte Stränge auf Leder- bzw. Biomassebasis extrudiert. Bei der Verarbeitung war leichter Ammoniakgeruch festzustellen. Die optimierten extrudierten Stränge wiesen eine gute Expansion, eine hellere Farbe und eine glatte Oberfläche auf. Sie waren feinporig und außerdem steifer als die „Originalmischung“.



Verschiedene Rezepturen zeigten gute Expansion und relativ hohe Festigkeit, waren aber teilweise zu brüchig.

Um den Mischaufwand gering zu halten wurden u.a. „Zweikomponentenmischungen“ auf Biomasse- und Kunststoffbasis entwickelt und zu Strängen extrudiert. Diese Mischungen zeigten teilweise eine hohe Expansion; die Stränge waren relativ druckfest und meist elastisch und die Oberfläche war glatt. Je nach der verwendeten Kunststofftype wurden aber auch brüchige Stränge extrudiert, die in Wasser aufquellen. Die elastischen wenig spröden Stränge zeigten schlechtere Expansion.

### **Schüttgutextrusion und Plattenpressversuche**



In weiterer Folge konnten teilweise mit Biomasse und Mais beaufschlagte Mischungen auf Lederbasis zu gleichmäßig geformten Schüttkörpern extrudiert werden. Schüttkörper mit geeigneten Dichten und optimierten Festigkeitseigenschaften wurden für anschließende Plattenpressversuche ausgewählt. Dazu wurde Schüttgut mit definierten Mengen an in der Holzindustrie üblichen Bindemitteln versetzt und in einer Laborplattenpresse zwischen zwei Dünnsplattplatten zu leichten Sandwichbauteilen verpresst. Die so erhaltenen Musterteile wurden anschließenden Festigkeitsprüfungen unterzogen.

### **Profilextrusion am Extruder Cincinnati Titan 58**

Als Vorversuch zur Profilextrusion wurden geschäumte bandförmige Stränge mittels einer Schlitzdüse extrudiert. Bei niedriger Drehzahl war die Expansion besser, aber die Oberfläche unregelmäßig; bei höherer Drehzahl war eine glattere Oberfläche dafür weniger Expansion festzustellen; es kam teilweise zu Einzugsproblemen der Pulvermischungen; nach einem Schneckentausch (Schnecke mit höherer Scherwirkung) war eine hohe Expansion zu beobachten, die Oberfläche blieb jedoch unregelmäßig.

Unter Verwendung des Standardequipments, das Wasserkühlung und einen aktiven Abzug beinhaltete, wurden geschäumte Profile hergestellt. Das Werkzeug war ein Formrohr mit 2 mm Wandstärke.



Verschiedene vielversprechende Rohstoffmischungen schäumten nicht; es wurden Profile mit runzeliger Oberfläche erhalten. Stärkehaltige Rohstoffmischungen führten zu elastischen Profilen mit ruppiger Oberfläche und großen Poren. Die Verwendung von proteinhaltiger Biomasse und Leder statt Stärke führte zu härteren Profilen mit kleineren Poren. Bei der Verarbeitung war deutlicher Ammoniakgeruch festzustellen.

Ersetzt man den Naturkautschuk durch ein synthetisches Polymer und verwendet keinen zusätzlichen anorganischen Füllstoff, erhält man Profile mit glatter Oberfläche und kleineren Poren. Bei Verwendung einer mais- und naturkautschukhaltigen Rezeptur wird dagegen ein gewelltes Profil erhalten. Es kam zu Einzugsproblemen bei Verwendung der Rohstoffmischungen mit langfaserigem Leder. Dem teilweise starken Geruch nach Ammoniak wurde durch Verringerung des Gehalts an mineralischem Pulver entgegengewirkt. Profile mit kleinen Poren wurden bei der Verwendung von feinerem Leder in der Rohstoffmischung erhalten. Die Profile waren relativ hart und glatter als bei Verwendung von langfaserigem Leder.

### **Allgemeine Erkenntnisse im Hinblick auf das Schäumen mit Naturstoffen**

Generell ist zu sagen, dass es möglich ist die Schaumeigenschaften von elastisch bis spröd einzustellen, aber bei Rezepturen ohne faserigen Anteil fehlt die strukturgebende Komponente, was zu verminderter Steifigkeit führt. Ein Gesamtanteil von 30% fließfähigen Komponenten ist nötig um eine gute Verarbeitbarkeit am Extruder und eine ausreichende Wasserbeständigkeit des Endproduktes zu garantieren. Als Hydrophobierungsmittel fungieren hauptsächlich Naturharze und thermoplastische Polymere, die in Punkto Polarität kompatibel zu den verwendeten Naturstoffen sind.

„Maschinenseitig“ ist zu sagen, dass die Schergeschwindigkeit und außerdem Düsenaustrittsfläche einen großen Einfluss auf die Expansion haben.

Ohne Basezusatz zur Unterstützung des Schäumvorganges wurde eine geringere Expansion beobachtet; mit geringem Naturkautschukanteil war die Relaxation der Stränge nach der Düse geringer.

Eine hohe Expansion wiesen solche Stränge auf, die sonst weich und leicht eindrückbar waren. Weniger Expansion war dafür bei härteren Strängen zu messen. Bei einer Beaufschlagung mit Holz mit dem Ziel die Steifigkeit zu erhöhen sank die Expansion.

# **Abstract (long version)**

## **Introduction**

This project documentation presents the progress and the final results of the work performed on the IFA-Tulln. Several test series were accomplished, in order to optimise on the one hand the machine parameters and on the other hand the raw material composition. In addition the suitability of different materials was tested and their optimal quantity in the mixture was determined. For the preselection of suitable raw materials, additives and processing conditions preliminary tests were performed using a laboratory extruder. Depending upon the quality of the received foam products scaling-up trials were run.

As protein-rich raw material particularly chrome-free leather wastes from tanneries were used.

## **Tasks**

The project presents a procedure for the production of foamed parts by means of extruding from mainly biogenous raw materials based on sources rich on protein. As such foamed parts exemplarily sandwich-type foamed boards are mentioned. Lots of different applications are possible, e.g. special fittings for thermal insulation in the building material sector, furniture parts, automobile parts, filling materials in the building material sector, pencil wood replacement etc.

## **Methods**

### **Materials**

The supplied leather wastes contained a certain amount of water. In order to make extrusion possible, the material had to be dried primarily. To improve the feeding behaviour the size of the particles was reduced by grinding to make the processing of the leather wastes possible. Subsequently coarse fractions were separated by sieving. This relatively complex pre-treatment would be automated and optimised in an industrial production. For the trials at our pilot plant these procedures had to be done manually.

Since the used raw materials are available in very different properties, (powder, pellets...) better homogeneity and higher flotation of different compositions were achieved by a mixing process under the effect of temperature. For this purpose a mixing unit with an arrangement for maintaining temperature was fed with the weighed raw materials. The rotor blade inside the mixer led to the heating of the material by friction and thus to the homogenisation of the low melting components. The individual stages of the melting process could be observed by the changing power input of the driving motor.

Some of the protein containing raw materials emit low-molecular components, which can be noticed as smell. For binding these amines different mineral powders were tested. During the processing of natural substances the particle size distribution plays an important role. It is determined by sieving analyses and characterizes the raw material.

## Finding the right recipes

On the basis of the trials from the past a preselection of promising recipes was performed. Important criteria were small raw material costs, small densities, fine pores and high expansion. On basis of these empirical values first test series were planned and accomplished. The results were journalised into a data base for a complete and clear documentation. On the basis the results from the test series fundamental parameters, which are necessary for foaming, could be determined. The optimal water content could be found as well as the relationship between the melting or thermoplastic materials, the fillers and the structure-giving components. To analyse the properties of the generated foam structure a reflected light microscope was used and photographs were taken with a digital camera. On this basis the diameter and distribution of the pores could be estimated. The optical display of individual particles facilitated conclusions on the homogeneity of the mixtures.

## Processing parameters

Due to the fact that the extruder settings have large influence on the final product, these were optimised during the test series. So the following could be examined and specified: the quantity of the dosage, the number of revolutions and the associated retention time, the mass temperature (dependent on the melting points of the mixture components), the water content, the influence of different screw configurations, as well as of different dies.

## Results

### Preliminary tests

After the preselection of recipes trials were performed on the laboratory extruder Collin. Due to the low shear action and size of the screw, as well as the associated low retention time, many parameters cannot be determined exactly. Therefore the majority of the trials was accomplished in the semi technical gauge.



### Strand extruding on the extruder CM 45 Food

The extruded strands were tested by pressure measurement at the testing machine. On the basis of the results from the test series fundamental parameters necessary for foaming could be determined. So the following could be found: the optimal water content and the relationship between thermoplastic and/or melting materials and fillers as well as structure-giving components. Exemplarily the following experiments are mentioned: To a well foaming recipe wood was added gradually as structure-giving filler. At a maximum of 30% wood no more expansion was achieved; i.e. if the wood content of a mixture exceeds the content of resin, the expansion decreases strongly.

Expanded strands on leather and/or biomass basis were extruded using a die diameter of 2 – 4 mm. During the processing ammonia was smelled. The optimised extruded strands exhibited a good expansion, a



bright colour and a smooth surface. They were fine pored and in addition more rigid than the original mixture. Different recipes showing good expansion and relatively high strength were however sometimes too brittle.

To maintain the mixing time low two-component mixtures on basis of biomass and thermoplastics were developed and extruded to strands. These mixtures partly showed a high expansion; the strands were relatively resistant to compression and usually flexible and the surfaces were smooth. In addition, depending upon the used plastic type fragile strands were extruded, which swelled in water.

The flexible strands showed low expansion.

### **Bulk material extruding and production of sandwich-like boards**



In further consequence mixtures on leather basis were charged with biomass and corn and could be extruded to uniformly shaped bulk material. Bulk materials with suitable densities and optimized physical properties were selected for the following production of sandwich-like boards. Therefore defined quantities of binding agents - usually used in the wood industry - were applied on the bulk material and pressed between two thin chip boards in a laboratory plate press to light sandwich components. The received sample parts were submitted to strength tests.

### **Profile extrusion on the extruder Cincinnati Titan 58**



As preliminary test to the profile extrusion foamed strands were extruded with a slot die. At low number of revolutions the expansion was better, but the surface was irregular; at higher number of revolutions a smoother surface but less expansion were obtained; partly the feeding capacity of the powdery substances was low; after a screw exchange (screw with higher shear action) a high expansion was observed, the surface remained however irregular.

Using the standard equipment, which contained water cooling and an active haul-off, foamed profiles were produced. The tool was a pipe with 2 mm of wall thickness. Different promising raw material mixtures did not foam; profiles with rugose surface were received. Starch containing raw material mixtures led to flexible profiles with a rough surface and large pores. The use of protein containing biomass and leather instead of starch led to harder profiles with smaller pores. During the processing ammonia could be smelled.

If the natural rubber was replaced by a synthetic polymer and no additional inorganic filler was used, profiles with smooth surface and smaller pores were received. Using a corn and natural rubber containing mixture a wavy profile was obtained. Raw material mixtures with long-fibrous leather led to bad feeding capacity on the extruder. The partially strong smell of ammonia was diluted by the decrease of the content of mineral powder. Profiles with small pores were received when using finer leather particles in the raw material mixture. The profiles were relatively hard and smoother than those obtained when using long-fibrous leather.

## **General aspects regarding the foaming with natural materials**

Generally it can be said that it is possible to adjust the foam characteristics from flexible to brittle, but in recipes without fibrous components the structure-giving component is missing, what leads to decreased rigidity. A total amount of 30% thermoplastic or melting components is necessary for a good extrusion performance and a sufficient water resistance of the final product. As hydrophobic agents mainly natural resins and thermoplastic polymers, which exhibit compatible polarity to natural substances were used. Machine sided it is to be said that the shear action and in addition the die diameter have a large influence on the expansion. Without base additive for supporting the foaming procedure a smaller expansion was observed; with small amounts of natural rubber the relaxation of the strands was smaller after the die. Such soft and compressible strands exhibited a high expansion. Less expansion was measured on harder strands. In the case of a higher wood content with the goal to increase the rigidity the expansion was lowered.

## Einleitung

Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines neuen Schaumproduktes aus proteinreichen Neben- und Abfallprodukten, die eine Dichte  $< 1,0 \text{ g/cm}^3$  aufweisen und damit den Dichten der meisten Holzarten sehr nahe kommen.

Das vorliegende Projekt stellt ein Verfahren zur Herstellung von geschäumten Formkörpern mittels Extrusion aus hauptsächlich biogenen Rohstoffen auf Basis von proteinhaltigem Material dar. Dabei sind die verschiedensten Anwendungen denkbar: Einbauteile zur Wärmedämmung im Baustoffbereich, Möbelteile, Automobilteile, Füllkörper im Baustoffbereich, Bleistifthalzersatz etc.

Wesentliche Vorteile der neuen Schaumprodukte sind die Verwendung von größtenteils biogenen Rohstoffen und weiters die Möglichkeit auf die Beschränkung von Wasser als alleinigem Treibmittel bei der Herstellung.

Im Zuge dieses Projektes konzentrierten wir uns auf die Entwicklung von Rezepturen für Schüttkörper, die zwischen Platten verpresst werden sollen (Sandwichaufbau) und zweitens sollten mittels Direktextrusion leichte Profile hergestellt werden.

Zur Vorauswahl von geeigneten Rohstoffen, Additiven und Verarbeitungsbedingungen wurden an einem Laborextruder Rezepturen entwickelt und verschäumt und je nach Qualität der erhaltenen Schaumprodukte wurden Testläufe im halbtechnischen Maßstab durchgeführt.

Als proteinreicher Rohstoff wurden chromfreie Lederabfälle aus Gerbereien und hitzedeaktivierte Fermentationsrückstände (Biomasse) eingesetzt.

Laut Angaben der österreichischen Firma fallen in deren Gerberei 50 to Trockensubstanz pro Tag an Proteinabfällen an, deren Entsorgung zum Teil über Kläranlagen, Biogasanlagen bzw. Deponierung bewerkstelligt wird. Diese proteinhaltigen Rohstoffe könnte man mittels Weiterverarbeitung zu biogenen Schaumprodukten einer weiteren sinnvollen Nutzung zuführen. Dabei ist besonders hervorzuheben, dass bei diesem Verfahren keine weiteren Abfälle anfallen.

## Allgemeines und Stand der Technik

Eines der wichtigsten Verfahren thermoplastische Kunststoffe in Form zu bringen, ist die Extrusion. Beim Extrudieren wird die fließfähige Masse kontinuierlich durch eine Düse gedrückt und so z.B. zu Profilen geformt. In letzter Zeit kommen immer mehr Produkte auf den Markt, die natürliche Faserstoffe – meistens Holz – mit synthetischen Kunststoffen compoundieren und zu Profilen verarbeiten. Diese sogenannten „wood composites“ weisen aber in der Regel Dichten von 1,2 bis 1,4 g/cm<sup>3</sup> auf, wodurch manche Anwendungsgebiete aufgrund ihrer geringen Isolier- und Dämmeigenschaften verschlossen sind.

Zu den größten Fortschritten in der Extrusionstechnik zählt die Entwicklung der Thermoplast-Schaumextrusion (TSE) zur Herstellung von geformten Schaumstoffen. Schaumstoffe sind leicht und porenreich. Unter Verwendung von Schaumstoffen können Materialbedarf und Gewicht der späteren Endproduktes erheblich reduziert werden, im günstigsten Fall ohne dass deren mechanische Stabilität darunter leidet. Um diese besonderen Materialeigenschaften zu erreichen, sind die Hersteller von synthetischen Schaumstoffen auf chemische Treibmittel als Additive angewiesen. Chemische Treibmittel sind organische und anorganische Verbindungen, die sich bei erhöhter Temperatur unter Freisetzung eines Treibgases zersetzen.

Aufgrund der Tatsache, dass fossile (erdölbasierende) Rohstoffe begrenzt sind und mit ihrer Verwendung entsorgungswirtschaftliche Probleme entstehen, wird vermehrt versucht auf biogene Rohstoffe zurückzugreifen. Voraussetzung für einen solchen Ersatz sind drei wichtige Punkte:

Biogene Materialien sollten ähnliche oder gleiche funktionelle Eigenschaften aufweisen; ihre Herstellung darf nicht energieaufwendiger sein und um wirtschaftlichen Erfolg zu haben darf ihr Preis nicht allzu sehr von fossilen Rohstoffen abweichen.

Bis jetzt haben sich die Anstrengungen zum Ersatz künstlicher Polymere durch biogene Polymere vor allem auf Polysaccharide beschränkt. Neben den Polysacchariden gibt es eine zweite große Gruppe natürlicher Polymere, die Proteine. Aufgrund ihrer chemischen Struktur ist eine gute Verträglichkeit sowohl mit hydrophoben als auch mit hydrophilen Materialien gegeben. Im Gegensatz zu Thermoplasten auf Polysaccharidbasis zeichnen sich die auf Protein basierenden Materialien durch geringere Wasserlöslichkeit und hohe Dehnbarkeit aus. Reine Proteine sind allerdings teuer und werden in erster Linie für Nahrungs- und Futtermittelherstellung verwendet. Es stehen jedoch potentiell viele proteinreiche Quellen zur Verfügung, die preisgünstige Neben- oder Abfallprodukte der Agrar- und Lebensmittelindustrie sind. Weiters fallen proteinreiche Abfälle in der Textil- und Lederindustrie an.

Wasser ist ein wesentliches Element bei der Herstellung von geschäumten Formteilen; als einfachster Porenbildner kann der der Rohstoffmischung innewohnende Wassergehalt herangezogen werden, der oberhalb des Siedepunktes für Expansion sorgt. Ein mögliches Mittel zur Steigerung der Festigkeit der erhaltenen Schaumprodukte ist die Verwendung von Fasern. In Frage kommen im Sinne einer möglichen späteren Abbaubarkeit besonders pflanzliche Fasern bzw. Holz in Form von Sägespänen. Weitere Additive sind Hydrophobierungsmittel wie z. B. Kautschuke und Harze auf natürlicher und synthetischer Basis.

## Theoretische Grundlagen der Schaumbildung aus Naturstoffen

Als Treibmittel wirken Wasser und Ammoniak, das mittels einer Base aus Aminen bzw. decarboxylierten Aminosäuren freigesetzt wird. Lösliche Proteine, aber auch unlösliche Proteinpartikel (myofibrilläre Proteine, Micellen) sind für eine gute Schaumstabilität verantwortlich.

## Beitrag zur Programmlinie „Fabrik der Zukunft“

Energiesparend zu bauen ist ein Kriterium; das Bauen mit umweltgerechten Baustoffen ist nicht weniger wichtig. Durch die Verwendung nachwachsender oder weniger energieintensiver Rohstoffe (Naturdämmstoffe,...) beim Hausbau, bei der Renovierung und in anderen Bereichen können wertvolle Ressourcen geschont werden. Die heute verwendeten bevorzugten Dämmmaterialien sind Styropor (insbesondere im Massivbau) und Mineralfasern bzw. Zellulose im Leichtbau.

Die Anforderungen an Bau- und Dämmstoffe steigen stetig, wobei neben Eignung und Preis die Umweltverträglichkeit bei den Verarbeitern und Nutzern verstärkt nachgefragt wird.

Wärmedämmstoffe sollten aus natürlichen Materialien bestehen und möglichst keine synthetischen Kleber enthalten. Sie sollten weiters atmungsaktiv, feuchtigkeitsregulierend und biologisch abbaubar sein.

Das Ziel ist synthetische Baustoffe wie Styropor durch Naturstoffe wie Holz und Proteine zu ersetzen.

Styropor ist sowohl bei der Produktion (energieintensiv, Emissionen von Styrol und Benzol) wie bei der Entsorgung problematisch.

Die Hauptnachteile von Styropor sind die fehlende biologische Abbaubarkeit bzw. die hohe Persistenz in der Umwelt, das Schwindverhalten und die Versprödung. Ein weiteres Problem ist das nachträgliche Ausdampfen von Treibmitteln. Im Brandfall entstehen giftige Gase.

Bei einem diffusionsgeschlossenen Dämmstoff wie Styropor kommt es zu einer Einschränkung des natürlichen Wohnklimas (Taupunkt, Schimmelbildung).

Nachteile der Mineralfasern wie Steinwolle und Glaswolle sind die energieintensive Herstellung und der Anteil an Faserstaub, der insbesondere bei der Verarbeitung freigesetzt wird (Lungengängigkeit). Der Hauptnachteil des Zellosedämmstoffes ist die Selbstverdichtung durch Eigengewicht und damit die Entstehung von Kältebrücken.

Dämmstoffe auf Holz- bzw. Proteinbasis können eine naturnahe Alternative zu künstlichen Dämmstoffen sein. Denn der Energieaufwand für die Herstellung, der Gehalt an möglicherweise schädigenden Zusatzstoffen und die Fähigkeit zum „Recycling“ werden als Auswahlkriterium immer wichtiger.

Zur Produktion von geschäumten Schüttkörpern werden proteinhaltige Reststoffe herangezogen. Schüttkörper verschiedener Korngrößen werden unter Bindemittelzusatz als Dämmschicht zwischen festigkeitsgebenden Deckplatten verpresst. Das Ergebnis ist ein Einbauteil in Sandwichbauweise aus vorwiegend nachwachsenden Rohstoffen und Reststoffen. Auf nachwachsenden Rohstoffen bzw. in Österreich anfallenden Reststoffen basierende Dämmstoffe, die als Ersatz für Styropor dienen können, sind ein wertvoller Beitrag zur nachhaltigen Technologieentwicklung.

Das Ziel nachhaltigen Wirtschaftens ist es Stoffkreisläufe zu schließen und den Verbrauch von fossilen Rohstoffen zu vermindern. Die Erzeugung von Schaumprodukten auf biogener Basis unterstützt das Prinzip der Nachhaltigkeit, da fossile Produkte durch erneuerbare Rohstoffquellen ersetzt werden. Zu entsorgende Neben- und Abfallprodukte (Proteinabfälle) werden einer sinnvollen Nutzung zugeführt.

Laut Angaben einer österreichischen Firma fallen in deren Gerberei 50 t Trockensubstanz pro Tag an Proteinabfällen an, deren Entsorgung zum Teil über Kläranlagen, Biogasanlagen bzw. Deponierung bewerkstelligt wird. Diese proteinhaltigen Rohstoffe könnte man mittels Weiterverarbeitung zu biogenen Schaumprodukten einer sinnvollen Nutzung zuführen. Dabei ist besonders hervorzuheben, dass bei diesem Verfahren keine weiteren Abfälle anfallen.

Zahlreiche Gespräche mit Firmen bei denen proteinreiche Rohstoffe als Abfälle anfallen ergaben einerseits einen Bedarf zur Entsorgung von Abfall- und Nebenprodukten bzw. zeugten Gespräche mit Vertretern der Bauindustrie von einem Interesse an kostengünstigen geschäumten Baustoffen mit entsprechendem Eigenschaftsprofil.

Dämm- und Isolierstoffe bzw. Leichtbauplatten auf Schaumstoffbasis finden vorwiegend Anwendung in der Bau- und Baustoffindustrie. Eine neue Generation von Profilen bzw. Bauteilen im Bereich Wärmedämmung auf Naturstoffbasis wird vermehrt nachgefragt. Sie würden gegenüber Kunststoffprofilen eine höhere Nachhaltigkeit aufweisen und gegenüber Vollholzprofilen eine Ressourcenschonung bringen.

Durch die Verwendung heimischer biogener Rohstoffe statt Produkten aus importierten fossilen Rohstoffen ergeben sich volkswirtschaftliche Vorteile. Bei Erwirkung eines Patentschutzes könnten Lizenzen ans Ausland verkauft werden.

Österreichs Wohnbau trägt durch Energiesparmaßnahmen mittels moderner Technologien mehr zu den Kyoto-Klimaschutzziele bei als andere Wirtschaftszweige. Durchsetzen wird sich zwangsläufig eine ganzheitliche, umfassende Bewertung vieler Eigenschaftskennwerte, die rohstoffliche, bauphysikalische und umweltrelevante Parameter neben Preis und Einsatzmöglichkeit berücksichtigt.

Schwierigkeiten könnten sich ergeben bei Nichterreichen der erforderlichen physikalischen Eigenschaften. In Bezug auf den biogenen Rohstoff sind Geruchsprobleme und die geringe Haltbarkeit verbunden mit Lagerschwierigkeiten möglich. Weiters muss auch die Verfügbarkeit des biogenen Rohstoffes in gleichbleibender Qualität und deren Reproduzierbarkeit gewährleistet sein.

## Vorarbeiten

Eine vorläufige Auswahl der Schaumrezepturen erfolgte nach folgenden Kriterien: Kosten der Rohstoffmischung, Ausmaß der Expansion, Porenverteilung, geringe Dichte.

Vielversprechende Schaumrezepturen wurden am Laborextruder getestet. Anhand der Ergebnisse aus den Versuchsreihen konnten grundsätzliche Parameter, die zur Schaumbildung notwendig sind, ermittelt werden. So konnten der optimale Wassergehalt und das Verhältnis zwischen fließfähigen Materialien und Füllstoffen sowie strukturgebenden Komponenten gefunden werden.

Wir können auf zahlreiche Arbeiten an unserem Institut in Richtung Schäumung von Polysacchariden zurückgreifen. Folgende Patente entstanden in den letzten Jahren: AT 396 591, EP 524 920, AT 398 077, AT 398 754. Weiters haben wir viel Erfahrung in der Extrusion und im Spritzguss von proteinhaltigen Rohstoffmischungen.

Das Institut für Naturstofftechnik hat außerdem ein Patent inne, das das Verkleben von geschäumten Formkörpern (Granulatpartikel) mittels natürlichen organischen oder anorganischen Bindemitteln beinhaltet (EP0524920A1).

## Verwendete Maschinen und Materialien

### Rezepturentwicklung

Ausgehend von früheren Versuchen wurde eine Auswahl von Rezepturen getroffen, die bezüglich Schaumentwicklung vielversprechend schienen.

Die verwendeten Rohstoffe wurden in drei Gruppen geteilt:

- Hydrophobierungsmittel
- Schäummittel
- Füllstoffe

Hydrophobierungsmittel können neben der Wasserabweisung auch für Stabilität und Elastizität verantwortlich sein. Schäummittel sind protein- und stärkehaltige Rohstoffe, die das Schäumen erwirken und gleichzeitig die Schaumstruktur erhalten. Unter Füllstoffe wurden verstärkende Naturfasern und Gesteinsmehle, die aufgrund ihrer geringen Korngröße auch als Keimbildner eingesetzt werden können, zusammengefasst.

Als proteinreicher Rohstoff wurden z.B. chromfreie Lederabfälle aus Gerbereien und hitzedeaktivierte Fermentationsrückstände (Biomasse) eingesetzt.

Die Basis der Rezepturen bilden Leder und Biomasse als Proteinquelle bzw. als Fließhilfsmittel. Zu einigen Leder-Mischungen wurde Mais zur Unterstützung des Schaumvorganges zugesetzt; außerdem wurden zum Vergleich Mischungen, die Mais als alleiniges „Schäummittel“ enthalten, extrudiert. Anteile an Naturharz bzw. synthetischen Polymeren dienten als Hydrophobierungsmittel.

## **Charakterisierung der verwendeten Rohstoffe**

### **Vorbereitung der Lederabfälle**

Die Lederabfälle wurden mit einem hohen Wassergehalt geliefert. Um die Verarbeitung im Extruder zu ermöglichen, musste das Material vorerst getrocknet werden. Die Größe der Teile wurde durch Mahlen verringert um das Einzugsverhalten zu verbessern und somit die gleichmäßige Verarbeitung der Lederabfälle zu ermöglichen. Anschließend wurden durch einen Siebvorgang Grobanteile ausgeschieden. Aufgrund des hohen Aufwandes bei der Aufbereitung des Leders, wurden die ursprünglich berechneten Kosten bereits überschritten. Da der Rohstoffverbrauch aber geringer ist als angenommen, gleicht sich dies in der Bilanz wieder aus.

Bei der Verwendung von verschiedenen Ledertypen ist folgendes von Bedeutung: Die Eigenschaften des Leders beeinflussen das Verhalten im Extruder bzw. hier im speziellen den Einzug. Folgende Ledertypen wurden in den Rohstoffmischungen verwendet: gesiebt, gemahlen, „flauschiges“ Leder, verhornt, Lederspäne mit verschiedenem Feuchtegehalt.

Zur Charakterisierung der verwendeten Rohstoffe wurde die Zusammensetzung der Proteinquellen bestimmt: N-Gehalt, Proteingehalt, Fettgehalt, Aschengehalt, pH usw. Da die Verwendung von proteinhaltigen Rohstoffen mit teilweise unangenehmen Geruchsbelastungen verbunden ist, wurde den Rohstoffmischungen Zeolith und Kalk zugegeben.

### **Lederanalyse**

Zur Charakterisierung der verwendeten Rohstoffe wurde die Zusammensetzung der Proteinquelle (Lederabfälle aus chromfreier Gerbung) bestimmt: N-Gehalt nach Kjeldahl, Proteingehalt, Fettgehalt, Aschengehalt.

Die Werte der Lederanalyse ergaben folgende Zusammensetzung (auf Trockengewicht bezogen):

Fett (0,8%), Asche (0,5%), Stickstoffgehalt (15,3%), Protein (86%).

### **Naturharz**

Das Erhitzen des Naturharzes auf 140-150°C (Verarbeitungs-Temperatur im Extruder) ergibt eine zähflüssige Substanz. Da die Zähigkeit wichtig für den Schäumvorgang ist, wurde eine Messung der dynamischen Viskosität verschiedener Harztypen bis 180°C durchgeführt um die Fließbedingungen zu vergleichen:

Das zum Schäumen verwendete Naturharz weist bei 165°C noch eine dynamische Viskosität von 180 Pas auf; die anderen Harztypen sind bei dieser Temperatur schon dünnflüssig. Bei 140°C hat das bevorzugt verwendete Harz eine ziemlich hohe Viskosität (2400 Pas). Dabei muss beachtet werden, dass die Gesamtmischung nicht zu klebrig werden darf, sonst kommt es zu Problemen beim Einzug der Pulvermischung in den Extruder.

## Weitere Rohstoffe

Als Hydrophobierungsmittel fungieren hauptsächlich Naturharze, Flüssigharze mit hohem Tack, Festharze und „Holzleim“-Komponenten. Als elastische Komponenten standen zur Auswahl: Naturkautschuk und thermoplastische Polymere, die in Punkto Polarität kompatibel zu den verwendeten Naturstoffen sind.

Verschiedene Biomassetypen, die in der Rohstoffmischung als kostengünstiger Füllstoff, Proteinquelle bzw. Fließhilfsmittel dienen, wurden nach folgenden Kriterien eingeteilt: Korngröße, Art der Biomasse, in Granulatform vorliegend.

Zur Charakterisierung von verschiedenen anorganischen Füllstoffen wurden die Korngrößenverteilung und der Härtegrad ermittelt (Mohssche Härte): Glimmer, Talkum, Kreide, Gips (Datenblätter, Literatur, Siebanalysen).

## Korngrößenverteilung

Bei der Verarbeitung von Naturstoffen spielt die Korngrößenverteilung eine wichtige Rolle. Sie wird durch Siebanalysen festgestellt und charakterisiert den Rohstoff.

## Heißmischen

Da die verwendeten Rohstoffe in sehr unterschiedlichen Formen vorliegen, (Pulver, Plättchen, Granulat, ... ) wurden durch einen Mischvorgang unter Einwirkung von Temperatur die Homogenität und die Rieselfähigkeit verschiedener Rezepturen verbessert.

Zu diesem Zweck beschickte man einen Heißmischer mit den eingewogenen Rohstoffen. Das Rotorblatt im Inneren des Mixers führte durch Friktion zur Erhitzung des Materials und somit zum Aufschluss der niedrigschmelzenden Komponenten. Die einzelnen Stufen des Schmelzvorganges konnten durch die Beobachtung der Leistungsaufnahme des Antriebsmotors beobachtet werden.

Zur besseren Dosierung wurden die pulverförmigen Rezepturmischungen heißgemischt (110°C, 8 min). Das Mischen im Heißmischer hatte das Ziel das Schüttgewicht zu erhöhen und damit den Einzug zu verbessern, anschließend wurde ein definierter Wassergehalt eingestellt.

## Maschinenbeschreibung

### Laborextruder der Fa. Collin

Nach der Auswahl vorhandener Rezepturen wurden Versuche auf dem Laborextruder durchgeführt.

Aufgrund der geringen Scherwirkung und der Kürze der Schnecke, sowie der damit verbundenen geringen Verweilzeit und den Einzugsschwierigkeiten lassen sich viele Eigenschaften nicht hinreichend genau bestimmen. Daher wurde ein Großteil der Versuche im halbtechnischen Maßstab durchgeführt.



## **Doppelschneckenextruder**

Bei den Maschinen, welche für die Upscaling-Versuche verwendet wurden, handelt es sich um zwei gegenläufige konische Doppelschneckenextruder. Ein Extruder dient zur Plastifizierung von Feststoffen durch Druck und Temperatur. Dabei fördern die Schnecken das Ausgangsmaterial kontinuierlich durch einen beheizten Zylinder. Die beiden gegensinnig rotierenden Schnecken greifen ineinander um ein bestimmtes Maß an Scherenergie in die Rohstoffmischung zu bringen. Die konische Form der Schnecken und des Zylinders führen zu einer zusätzlichen Verdichtung in Extrusionsrichtung. Am Ende des Plastifizierungsprozesses wird die Schmelze durch eine Düse (Extrusionswerkzeug) in die gewünschte Form gebracht. Nach Austritt aus dem Werkzeug erstarrt die Masse zu einem endlosen Strang.

Die verschiedenen Schnecken unterscheiden sich in der Anordnung der Scher- und Mischelemente und im Energieeintrag. Dies führt zu unterschiedlichen Schmelzeigenschaften und auch physikalischen Eigenschaften des Endproduktes.

## **Verarbeitungsparameter**

Da die Maschineneinstellungen großen Einfluss auf das Endprodukt haben, wurden auch diese im Verlauf der Versuchsreihen optimiert. So konnten die Menge der Dosierung, die Drehzahl und die damit verbundene Verweilzeit, die Massetemperatur (abhängig von den Schmelzpunkten der Mischungskomponenten), der Wassergehalt, der Einfluss unterschiedlicher Schneckenkonfigurationen sowie die Düsen mit unterschiedlichen Austrittsflächen getestet und festgelegt werden.

Folgende Variablen wurden verändert um die Eigenschaften der extrudierten Schäume zu beeinflussen:

Dosierung, Drehzahl, Geschwindigkeit (Verweilzeit), Massetemperatur, Wassergehalt, Lagerzeit vor Messung der physikalischen Parameter der Extrudate, Schnecke, Art der Düse: Lochdüsen, Schlitzdüsen, Düsen unterschiedlicher Querschnitte und Austrittsflächen.

## **Extruder CM 45 Food (halbtechnischer Maßstab)**

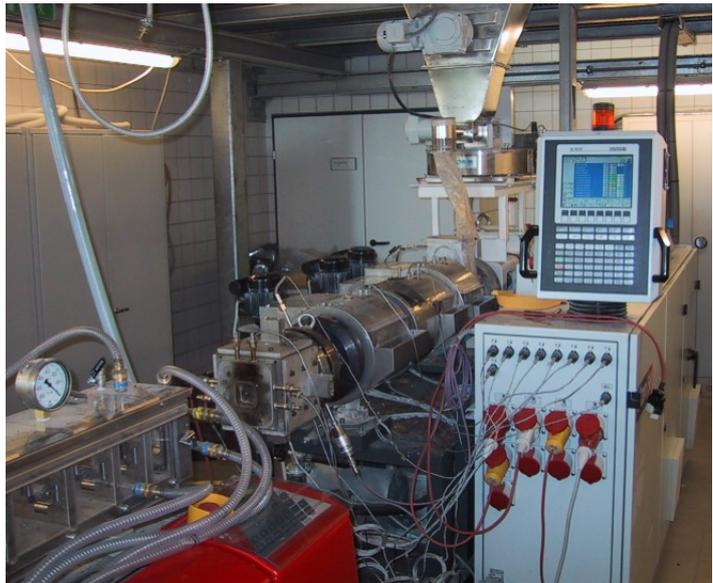
An dem Extruder CM 45 wurden verschiedene Schneckenkonfigurationen, Lochdüsen und Dosiersysteme verwendet.

In manchen Fällen wurde mit Wasserzudosierung extrudiert.



## **Extruder Cincinnati Titan 58**

Am Extruder Cincinnati Titan 58 wurden verschiedene Schneckenkonfigurationen und Werkzeuge getestet. Das Standardequipment beinhaltet Wasserkühlung und einen aktiven Abzug. Werkzeug war ein Formrohr mit 2 mm Wandstärke. Die ursprünglich geplante Investition in ein Schaumwerkzeug wurde hintangestellt und dafür die dringlicher benötigte Nachfolge gekauft. Ein im Haus vorhandenes Formrohrwerkzeug wurde für die Schäumversuche adaptiert.



## **Extruder Cincinnati Titan 80**

Der Extruder Cincinnati Titan 80 bei der Partnerfirma in Kopfing ermöglicht höhere Durchsätze, unterscheidet sich von der Titan 58 am IFA-Tulln durch die niedrigere maximale Drehzahl. Weiters ist zu erwähnen, dass in Kopfing nicht die gleichen Schneckenkonfigurationen wie am IFA zur Verfügung stehen und am Extruder die Eindosierung von Flüssigkeit nicht möglich ist.

## **Variablenfestsetzung**

### **Drehzahl**

Während bei der Profilextrusion im Bereich von 10 bis 20 Umdrehungen in der Minute gearbeitet wird, kann bei der Schüttkörperproduktion bis an die Obergrenze (83 U/min) gegangen werden.

### **Massetemperatur**

Abhängig von den Komponenten der Rohstoffmischung und deren Schmelzpunkte hat sich ein Bereich von 130°C bis 170°C als Optimum erwiesen.

### **Wassergehalt**

Auch hier ist die Kombination der Rohstoffe ausschlaggebend. Es stellte sich jedoch heraus, dass ein Wassergehalt von mindestens 10% notwendig ist und bei 15% die Obergrenze liegt.

## Prüfung der Extrudate

### Wichtige Beurteilungskriterien

Eines der wichtigsten Merkmale war die Expansion. Dieser in Prozent angegebene Wert gibt an wie stark der Durchmesser des Extrudates im Verhältnis zum Düsendurchmesser nach dem Austritt aus der Düse gestiegen ist:

$$\text{Expansion [\%]} = \left( \frac{\text{Durchmesser des Extrudates}}{\text{Durchmesser der Düse}} - 1 \right) \times 100$$

Weiters wurde die Expansion nach ihrer Regelmäßigkeit beurteilt (Expansion konstant). Auch andere Merkmale wurden durch die Werte „0“ und „1“ (ja/nein) bewertet:

- homogen (Sind die Rohstoffe vollständig aufgeschlossen und durchmischt?)
- duktil (Kann die Probe durch leichten Fingerdruck gequetscht werden?)
- klebrig (Ist die Oberfläche haftend?)
- elastisch (Lässt sich die Probe verformen bevor sie bricht?)
- relaxiert (Geht die Expansion nach Düsenaustritt bei Abkühlung stark zurück?)
- Poren fein (Liegt der Porendurchmesser im Bereich von 200 µm)

### Mikroskopie

Die mikroskopischen Untersuchungen der erhaltenen Extrudate wurden an einem Auflichtmikroskop durchgeführt.

Es wurden Fotos bei verschiedenen Vergrößerungen zur Dokumentation aufgenommen.

### Universalprüfmaschine

Die Untersuchungen der Festigkeiten der Extrudate erfolgten mit der institutseigenen Universalprüfmaschine. Diese Prüfmaschine arbeitet mit einem Stempel, der in horizontaler Richtung mit definierter Geschwindigkeit bewegt werden kann. Der Stempel ist mit einer Messdose verbunden, die den Verlauf des Druckes, der vom Prüfgegenstand entgegengesetzt wird, misst und an einen angeschlossenen Computer weiterleitet.

Mit dieser Prüfmaschine wurden die Biegespannung und das Elastizitätsmodul der extrudierten Profile nach DIN 53452 und DIN 53457 gemessen.

### Druckprüfung

Die extrudierten Stränge wurden durch Druckmessung an der Universalprüfmaschine getestet. Bei der Prüfung wurden Stränge mit einer Länge von 2 cm zwischen zwei Platten gelegt und mit 0,1 m/min zusammengedrückt. Nach 10% (Druck10) und 20% (Druck20) Quetschung wurden je ein Messwert aufgenommen. Anhand dieser Messwerte konnten die Versuche gut untereinander verglichen und Tendenzen erkannt werden.

Bei stabilen Schaumstrukturen war der Widerstand bei 20% Verformung etwa doppelt so groß als bei 10%. Hingegen wiesen großporige, spröde Extrudate bei 10% Deformation bereits ein Maximum an Druckwiderstand auf.

### Dichtemessung

Die Bestimmung der Dichte erfolgt nach dem Auftriebsprinzip. Hierfür wird zuerst die Masse einer Probe mittels Waage gemessen, danach die Masse der Probe unter Wasser. Anschließend wird die Dichte der Probe über die Dichte des verdrängten Wassers berechnet.

Die Dichten der Profile und der extrudierten Stränge wurden nach DIN 52351 bestimmt.

### Wasseraufnahme nach 2h

Die Bestimmung der Wasseraufnahme nach 2 Stunden erfolgt nach DIN 52351. Die Probe wird sowohl im trockenen Zustand gewichtsmessend als auch nach 2 Stunden Wasserlagerung. Die daraus resultierende Differenz wird in Prozent Wasseraufnahme dargestellt.

### Stampfdichte

Die Stampfdichte wurde nach der folgenden Norm vorgenommen: ISO 787/11. Ca. 200 ml Schüttgut werden so in den 250 ml Messzylinder des Stampfvolumeters eingefüllt, dass keine Hohlräume verbleiben und die Oberfläche waagrecht ist.

Die Masse der eingefüllten Probe wird auf 0,1 g genau bestimmt. Der Messzylinder mit der Probe wird in den Messzylinderhalter des Stampfvolumeters eingesetzt und 1250 mal gestampft. Das Volumen des gestampften Produktes wird auf 2 ml genau abgelesen.

$$\text{Stampfdichte [g/l]} = \frac{\text{Einwaage [g]}}{\text{Volumen [ml]}} \times 1000$$

Als Kriterium zur Auswahl für Plattenpressversuche wurde u.a. die Messung der Stampfdichte der Schüttkörper herangezogen.

### Pressversuche

Mit den ausgewählten Schüttkörpern wurde eine Serie von Plattenpressversuchen durchgeführt.

Die Laborplattenpresse Collin ausgestattet mit einem Rahmen wurde zur Durchführung der Pressversuche verwendet.

Dazu wurde ein Rahmen aus Birkenholz mit den Innenabmaßen 20x20 cm, der Höhe 6,2 cm und der Plattenhöhe 4 cm konstruiert. Die Füllhöhe betrug 4-6 cm; die Schüttkörper wurden in den Rahmen gefüllt und mittels einer geheizten Platte verpresst:



Das Schaumgranulat wurde vorgeheizt und zuerst in der kalten Form gepresst, dann wird eine Temperatur von  $T=150-200^{\circ}\text{C}$  für 15 min gehalten; zuerst wurde ohne Kleber gepresst, die Klebrigkeit wurde nur durch Besprühen mit Wasser erhalten.

Der Leim, der auch in der Holzindustrie verwendet wird, wird mittels Sprühdose auf die Schaumgranulate aufgebracht und in der Mischung durch Schütteln homogen verteilt. Die Dosierung erfolgt durch Gewichtsmessung der Schaumgranulate vor bzw. nach dem Sprühvorgang. Als Deckplatten wurden Dünnschanplatten (4mm) verwendet.

Die Plattenpressversuche mit den druckfestesten Schaumgranulaten wurden zuerst bei einer Temperatur  $T=100^{\circ}\text{C}$  (mit dem Kleber ohne Härter) mit Spanplatten durchgeführt.

Plattenpressversuche wurden anschließend auch mit Kleber und Härter durchgeführt

Bei weiteren Plattenpressversuchen wurden die Versuchsparameter variiert: Variation der Temperatur, mit/ohne Härter, verschiedene Härterkonzentrationen, unterschiedliche Kleber und Platten (Dünnschichtspanplatte, Karton), unterschiedliche Plattengröße.

Die Kleberkonzentration variierte von 20 bis 40 g/l Schüttgut. Die Härterkonzentration (15%ige Lösung) betrug 10 Gew.% (bezogen auf die Kleberkonzentration).

Insgesamt wurden rund 80 Pressversuche durchgeführt.

### **Bestimmung der Querkzugfestigkeit der gepressten Platten**

Diese Bestimmung erfolgte an dem Institut für Holzforschung der Universität für Bodenkultur Wien.

Die Querkzugfestigkeit ist die Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene.

Die gepressten Platten werden nach einer bestimmten Lagerdauer auf 45 x 45 mm zugeschnitten, auf das Joch um  $90^{\circ}$  versetzt mittels Holzleim aufgeklebt und nach Aushärtung in die Universalprüfmaschine (Fa. Zwick) eingespannt.

## **Ergebnisse der Extrusionsversuche**

### **Vorversuche**

Zur Bestimmung des maximalen Anteils an Holz an strukturverstärkendem Füllstoff wurden Vorversuche am Laborextruder durchgeführt.

Am Laborextruder (Collin) wurde eine gut expandierende Rohstoffmischung auf Holz/Biomasse-Basis bei geringer Zylindertemperatur und hoher Drehzahl zum Strang extrudiert (Rez. 502/2SBM). Anschließend erfolgte eine sukzessive Zugabe von feinen Holzspänen als strukturverstärkender Füllstoff: Bei 30% Holz kam es zu keiner Expansion mehr; nach anschließender Zugabe von Naturharz wurde wieder eine Expansion beobachtet.

## Schäumen von Pulvermischungen zu expandierten Strängen

Zur Untersuchung des Expansionsverhaltens der Rohstoffmischungen wurden rund 100 Versuche am Extruder CM 45 Food durchgeführt.

### Schneckentest

Der Schneckenvergleich wurde mit einer auf Leder basierenden Rohstoffmischung durchgeführt: Eine der Schnecken erwies sich als die „sanftere“ Schnecke und wirkt eher als Transportschnecke mit der weniger Scherenergie eingebracht wird. Dies hat den Vorteil, dass die Fasern größtenteils erhalten bleiben, jedoch auch den Nachteil, dass gewisse schmelzende Anteile nicht vollständig aufgeschmolzen werden. Durch eine geringfügige Änderung der „schärferen“ Schnecke konnte ein Optimum an Scherwirkung erreicht werden.



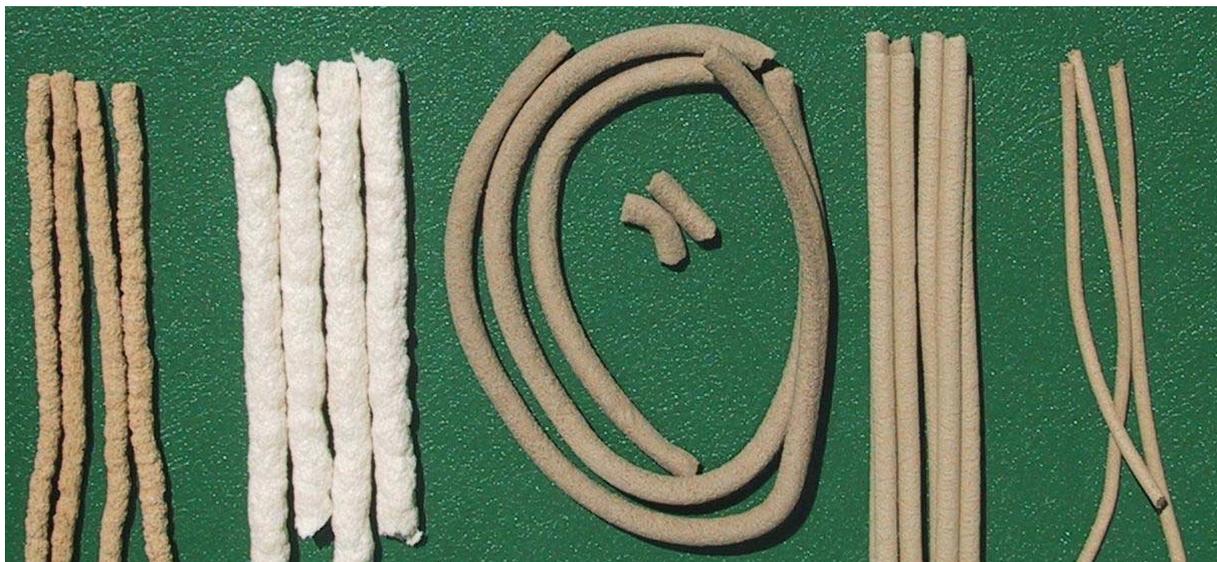
### Extrusionsversuche

Bei Düsendurchmessern von 2-4 mm wurden expandierte Stränge extrudiert (z.B. 502/1SB mit Biomasse als Proteinquelle). Bei der Verarbeitung war leichter Ammoniakgeruch festzustellen, die Dichte nach Relaxation betrug  $0,0875 \text{ g/cm}^3$ .

Die Verwendung eines alternativen Biomassetyps in der Rohstoffmischung wurde mit der Schnecke „A“ und einer Lochdüse getestet (Rez. 502/11SBM).

Die extrudierten Stränge wiesen eine gute Expansion, eine hellere Farbe und eine glatte Oberfläche auf. Sie waren feinporig und außerdem steifer als die „Originalmischung“.

Zur Verstärkung gut expandierender Rohstoffmischungen auf Leder/Mais-Basis (z.B. 525/0S) wurden 5kg mit 250 g hydraulischem Bindemittel beaufschlagt (525/3S und 525/4S). Die verschiedenen Rezepturen zeigten eine gute Expansion und relativ gute Druckfestigkeit, waren aber zu brüchig.



Um den Mischaufwand gering zu halten wurden „Zweikomponentenmischungen“ auf Biomasse- und Kunststoffbasis entwickelt und zu Strängen extrudiert. Diese Mischungen zeigten eine hohe Expansion; die Stränge waren druckfest und meist elastisch und die Oberfläche war glatt. Je nach der verwendeten Kunststoff-Type wurden aber auch brüchige Stränge extrudiert, die in Wasser aufquollen. Die elastischen wenig spröden Stränge zeigten schlechtere Expansion.

Zum Vergleich wurden außerdem auf Mais basierende Rezepturen extrudiert.

### **Charakterisierung der extrudierten Stränge**

Die extrudierten Stränge wurden nach unterschiedlichen Kriterien beurteilt.: z.B. Oberflächenbeschaffenheit, Expansion, Dichte, Porendurchmesser, Homogenität, Klebrigkeit, Geruch (siehe nachstehende Tabelle). So ausgewählte Rezepturen wurden anschließend zur Schüttkörperproduktion herangezogen.

Tabelle 1: Charakterisierung der extrudierten Stränge gereiht nach zunehmender Expansion

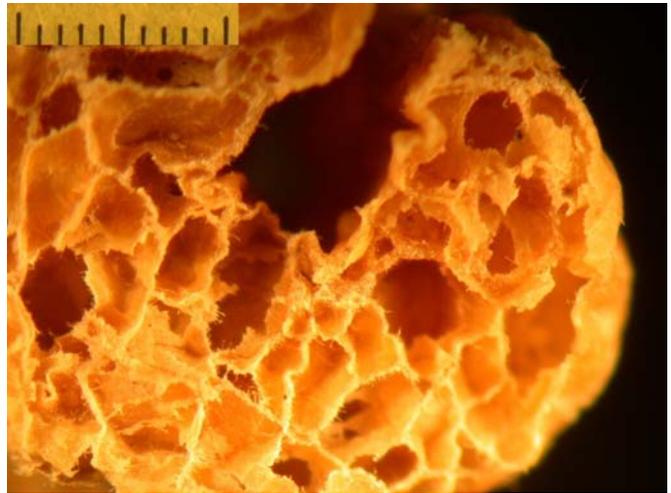
Extrusionsnummer	Grundrezeptur	Variante	Expansion [%]	Expansion konstant	Oberfläche	homogen	duktil	klebrig	elastisch	relaxiert	Poren fein	Dichte [g/cm³]	Gewichtsquellelung nach 2h Wasserlagerung [%]	Druck10 [N]	Druck20 [N]
2038	515 3SBM		82	ja	glatt	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,352	55,4	50	n.b.
2052	519 OSH		84	nein	ruppig	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,501	48,2	50	100
2051	519 OSH		84	nein	ruppig	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,606	50	50	100
2071	524 1S		90	nein	glatt	ja	nein	nein	nein	nein	nein	n.b.	n.b.	53	125
2072	524 1S		90	nein	glatt	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,445	38,6	53	125
2015	503 0SBM		90	ja	glatt	ja	nein	nein	nein	nein	ja	0,481	41,7	n.b.	n.b.
2018	503 0SBM		90	ja	glatt	ja	nein	nein	nein	nein	ja	0,481	41,7	n.b.	n.b.
2091	527 14S		93	ja	glatt	ja	nein	nein	ja	nein	ja	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2021	252 0SCa		95	nein	rau	nein	nein	nein	nein	ja	nein	0,397	47,6	n.b.	n.b.
2076	526 0S		100	nein	ruppig	nein	nein	nein	nein	nein	nein	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2075	526 0S		100	nein	ruppig	nein	nein	nein	nein	nein	nein	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2035	515 0SBM		100	ja	glatt	ja	ja	nein	nein	nein	ja	0,254	63,5	25	30
2047	522 1SBMA		100	ja	ruppig	ja	ja	nein	nein	nein	nein	0,266	40,3	12	18
2043	518 0S		100	nein	glatt	ja	nein	nein	ja	nein	nein	0,569	25,7	n.b.	150
2057	465 Fasal		100	nein	Schlieren	nein	nein	nein	nein	nein	nein	0,852	26,7	n.b.	n.b.
2070	524 1S		110	ja	glatt	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,377	38,6	45	130
2044	518 0S		110	nein	ruppig	ja	nein	nein	ja	nein	nein	0,511	23,5	70	125
2022	504 0S		118	nein	glatt	ja	nein	nein	nein	ja	ja	0,507	12,8	n.b.	n.b.
2090	528 0S		120	ja	glatt	ja	nein	nein	nein	nein	ja	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2013	504 0S		127	nein	rau	ja	nein	nein	ja	nein	ja	0,445	40,1	n.b.	n.b.
2010	280 7S		127	ja	ruppig	ja	nein	nein	ja	nein	nein	0,734	13,6	n.b.	n.b.
2067	525 7S		130	ja	ruppig	ja	ja	nein	nein	nein	ja	0,23	68,9	10	23
2068	525 6S		130	ja	ruppig	ja	nein	nein	nein	nein	ja	0,277	128,6	15	37
2023	315 13		130	nein	ruppig	ja	nein	nein	ja	ja	ja	0,448	58,7	n.b.	n.b.
2066	525 5S		140	nein	ruppig	ja	nein	nein	nein	nein	ja	0,264	60	26	63
2064	525 3S		140	ja	ruppig	ja	nein	nein	nein	nein	ja	0,305	72,5	26	50
2011	252 0SCa		150	ja	rau	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,219	103,6	n.b.	n.b.
2031	511 0S		150	nein	rau	ja	nein	nein	nein	ja	ja	0,279	53,8	n.b.	n.b.
2020	252 0S		150	nein	rau	nein	nein	nein	nein	ja	nein	0,281	94	n.b.	n.b.
2060	525 0S		150	ja	glatt	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,392	50,7	75	145
2065	525 4S		160	ja	ruppig	ja	nein	nein	nein	nein	ja	0,227	74,5	35	70
2062	525 2S		160	ja	ruppig	ja	ja	nein	nein	nein	nein	0,255	98,6	25	70
2017	315 13		170	nein	ruppig	ja	nein	nein	nein	nein	ja	0,611	118,7	n.b.	n.b.
2009	247 35S		172	nein	glatt	ja	nein	nein	nein	nein	ja	0,406	79,2	n.b.	n.b.
2008	252 0S		172	ja	glatt	ja	nein	nein	nein	nein	ja	0,546	114,9	n.b.	n.b.
2029	502 13SBM		173	ja	glatt	nein	ja	nein	ja	nein	ja	0,258	232,3	n.b.	n.b.
2073	524 2S		180	nein	ruppig	nein	nein	nein	nein	nein	nein	n.b.	n.b.	20	65
2046	522 0SBMA		180	ja	ruppig	ja	ja	nein	ja	nein	ja	0,138	56,9	5	8
2074	524 2S		180	nein	ruppig	nein	nein	nein	nein	nein	nein	0,283	111,4	20	65
2026	502 11SBM		187	nein	rau	nein	nein	nein	nein	nein	nein	0,453	51,2	n.b.	n.b.
2032	511 0S		190	nein	rau	ja	nein	nein	ja	ja	nein	0,225	52,6	n.b.	n.b.
2037	515 2SBM		200	ja	glatt	ja	ja	nein	nein	nein	nein	0,101	104	20	18
2034	513 0S		200	ja	glatt	ja	ja	nein	nein	ja	ja	0,138	82,5	n.b.	n.b.
2030	247 35S		200	nein	rau	ja	nein	nein	ja	ja	ja	0,211	55,4	n.b.	n.b.
2059	525 0S		200	nein	ruppig	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,24	69	35	50
2058	525 0S		200	nein	ruppig	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,24	69	35	50
2056	315 13		200	nein	glatt	nein	nein	nein	nein	nein	nein	0,929	20,9	n.b.	n.b.
2041	517 0S		220	nein	rau	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,148	93	22	40
2040	516 0S		220	nein	glatt	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,193	54,4	18	46
2039	516 0S		220	nein	rau	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,206	84	30	75
2007	465 2		232	ja	glatt	ja	ja	nein	ja	nein	ja	0,153	27,7	n.b.	n.b.
2092	529 3S		233	ja	glatt	ja	nein	nein	nein	nein	ja	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2004	315 10		240	ja	glatt	ja	nein	nein	nein	nein	ja	0,418	43,3	n.b.	n.b.
2063	465 Fasal		250	nein	rau	ja	ja	nein	nein	nein	nein	0,097	56,3	8	20
2027	502 11SBM		264	ja	glatt	ja	ja	nein	ja	nein	ja	0,084	84,5	n.b.	n.b.
2042	517 0S		270	nein	glatt	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,099	141,8	10	20
2025	280 7S		275	ja	glatt	ja	nein	nein	ja	nein	ja	0,807	12,5	n.b.	n.b.
2012	252 0S		280	nein	rau	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,235	140,4	n.b.	n.b.
2045	502 11SBMA		300	ja	glatt	ja	ja	nein	ja	nein	ja	0,088	39,7	5	8
2028	502 12SBM		345	ja	glatt	ja	ja	nein	ja	nein	nein	0,067	128	n.b.	n.b.
2024	247 35S		575	nein	rau	ja	nein	nein	nein	nein	nein	0,294	62,4	n.b.	n.b.

## Untersuchung der expandierten Stränge mittels Mikroskopie

Abbildung 1

247/35S

247/35S



465/2

252/0S



315/13



Die Skala an der linken oberen Ecke jedes Bildes dient zu Bestimmung der Porendurchmesser. Die kleinen Teilstriche haben einen Abstand von 200  $\mu\text{m}$ , die großen von 1 mm.

Es konnten Durchmesser von 100  $\mu\text{m}$  bis über 500  $\mu\text{m}$  festgestellt werden.

Ein wichtiges Ziel ist die Erreichung möglichst feiner Poren, da dies für Stabilität und Homogenität notwendig ist.

Anhand der Porengröße und -verteilung konnte die Schaumbildung beurteilt werden. Die optische Erfassung einzelner Partikel ließ Rückschlüsse auf die Homogenität und den Aufschluss der schmelzenden Mischungsanteile zu.

Die verschiedenen Granulate bzw. Stränge: zeigten teilweise eine sehr inhomogene Verteilung (Porigkeit, Harzstücke etc.); es wurden Fotos bei verschiedenen Vergrößerungen zur Dokumentation aufgenommen.

## Schüttkörperproduktion

### Extruder CM 45 Food

An der CM45 wurde mittels Granulierkopf Schüttgut hergestellt.

Bei den Rezepturen 525/7S und /8S war der Einzug schlecht und es kam zu Druckschwankungen; der Grund war wahrscheinlich, dass die Mischung (Leder/Biomasse/Mais) vorher nicht heißgemischt wurde. Die 525er-Mischungen mit/ohne Naturkautschuk 527/7S, /9S sowie die 531er-Mischung (Leder/Biomasse) wurden zu Schüttkörpern extrudiert, was mit Wasserzudosierung gut funktionierte.

Mit dieser Mischung ist bei der Schüttgutproduktion eine bessere Expansion als bei der ebenfalls durchgeführten Profilextrusion erzielbar.

Verwendet man in der Mischung 525/7S statt Kreide Biomasse als Füllstoff, werden die Schüttkörper runder und einheitlicher; die Wasserfestigkeit ist relativ gut, eine Wasseraufnahme erfolgt erst nach einiger Zeit.

**Tabelle 2: Schüttkörpereigenschaften**

Extrusionsnummer	Grundrezeptur	Variante	Expansion [%]	Expansion konstant	homogen	duktil	klebrig	elastisch	relaxiert	Poren fein	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Schüttgewicht [g/l]	Gewichtsquelleung nach 2h [%]
2108	531	2S	100	nein	ja	nein	nein	nein	nein	ja	0,53	337	48,8
2109	531	3S	75	nein	ja	nein	nein	nein	nein	ja	0,70	396	68,0
2110	525	9S	150	nein	ja	ja	nein	ja	nein	ja	0,27	176	73,9
2111	525	7S	150	ja	ja	ja	nein	ja	nein	ja	0,30	175	97,7

Zur weiteren Beurteilung von Schüttkörpern werden Druckfestigkeit,  $a_w$ -Werte und Zugfestigkeit herangezogen.

### Festigkeitsunterschiede bei verschiedenen Feuchten

Die Schaumgranulate wurden bei verschiedenen relativen Luftfechtigkeiten (33% und 84% rF im Klimaraum) gelagert und anschließend die Druckfestigkeit gemessen. Bei einer höheren Gleichgewichtsfeuchte sinken die Festigkeitswerte um die Hälfte (siehe untenstehende Tabellen).

**Tabelle 3: Schüttkörper (SK)**

Versuch	Rezeptur	Luftfeuchte		33%		84%		SK-feuchte[%]	
		Verformung	10%	20%	10%	20%	bei 33%	bei 84%	
2092	529 3S		14	34	5	10	4,6	10,2	
2108	531 2S		60	80	18	38	6,0	11,9	
2110	525 9S		20	36	8	12	6,4	12,4	
2111	525 7S		25	45	9	18	6,3	12,3	
2123	534 4S		30	68	7	30	6,9	13,7	
2126	534 1S		36	72	15	45	5,0	9,9	
2127	536 0S		8	16	6	13	4,2	10,6	
2128a	535 0S		85	90	18	53	4,9	12,8	
2133	538 11S		25	40	8	25	5,3	12,5	
2143	511 1S		5	12	3	6	3,3	10,9	
2144	525 9S		7	18	2	5	4,3	13,0	
2145	525 8S		8	17	2	6	3,1	11,3	
2146a	540 0S		12	29	6	13	6,4	13,3	
2146b	540 1S		12	30	8	23	5,7	11,7	
2147b	539 0S		4,5	9	1,5	3	6,0	16,9	

Das Schäumen von Rezepturen der 511er-Reihe auf Mais/Leder- bzw. Holz/Leder-Basis ergibt Schüttkörper, die zum Teil formlos, schwer bzw. zylinderförmig sind, außerdem ist Geruch nach Ammoniak festzustellen.

Die Mischung 531/2S (Hauptkomponenten Holz, Leder, Biomasse) ergibt gleichmäßige Schüttkörper.

Aus der leder- und biomassehaltigen Rezeptur 525/7S wird Schüttgut mit einer relativ glatten Oberfläche und guter Druckstabilität erhalten.

Die maishaltigen Rezepturen sind jedoch meist zu wasserempfindlich.

Eine gute Variante auf Basis Biomasse und Holz hat die Bezeichnung 529/3S, sie liefert besonders druckfeste Schüttkörper.

Die Rezeptur 535/0S; die alle möglichen Hauptkomponenten Holz, Leder, Biomasse und Mais enthält, eignet sich aufgrund der Festigkeit der Schüttkörper auch für die Profilextrusion.

Sehr gute Ergebnisse liefert außerdem die leder- und maishaltige Rezeptur 511/1S.

Rezepturen ohne Anteil eines teuren synthetischen Polymers stellen die 534er und 536er Reihe:

Sie zeichnen sich durch einen hohen Leder- und Holzanteil aus und expandieren meist gut, die Schüttkörper sind relativ kompakt; teilweise kam es zu Einzugsproblemen, da Wasserdampf vorne austritt, Ammoniakgeruch ist fast überall festzustellen.

Besonders die Rezepturen 534/1S und 536/0S zeigen eine gute Expansion (Dichte  $0,3 \text{ g/cm}^3$ ), die Schüttkörper sind jedoch etwas spröde, zu erwähnen sind der gute Einzug und die Tatsache, dass kein nennenswerter Geruch auftrat.

Die sogenannten Billigvarianten auf Maisbasis muss man vorher pelletieren, sonst ist der Einzug schlecht.

Als gut stellten sich heraus: 538/11S (Dichte  $0,2 \text{ g/cm}^3$ ), 525/8S, /9S.

Die Rezeptur 539/0S mit Leder und Mais zeigte eine hohe Expansion, das erhaltene Schüttgut war relativ elastisch und druckfest und von mittlerer Sprödigkeit, die

Wasserfestigkeit war relativ gut, der hohe Baseanteil bedingt den eher schlechten Geruch.

Die Mischung 531/2S mit den Hauptkomponenten Leder und Biomasse ergab Schüttkörper mit guter Festigkeit, sie brechen jedoch spröde; bei der Lagerung (84%rF) ist eine Nachhärtung festzustellen.

Aus der Rezeptur 525/7S (Leder, Biomasse, Mais) wird Schüttgut mit guter Festigkeit bei relativ geringer Dichte erhalten, es ist außerdem eine gewisse Zähigkeit festzustellen.

Schüttkörper aus der Mischung 536/1S (Hauptbestandteile Holz und Biomasse) zeichnen sich durch eine relativ hohe Festigkeit aus, es ist jedoch Schimmelbildung zu beobachten.

Die Mischung 529/3S (mit einer Holzleimkomponente) zeigt das Phänomen der Nachhärtung, nach der Lagerung ist die doppelte Festigkeit festzustellen.

535/0S ist eine Mischung ohne verstärkenden Kunststoff (sie enthält alle vier Hauptkomponenten) und zeigt trotzdem eine hohe Festigkeit; die Rezeptur wird auch für die Profilextrusion ausgewählt.

Die Mischung 538/11S enthält Holz, Mais und Kartonabfälle. Bei gegebener Dichte wird eine relativ gute Festigkeit gemessen; das Schüttgut ist jedoch spröde, das Pressen gelingt später nur mit Feuchtigkeit.

Die Rezeptur 539/0S (Leder/Mais-Basis) härtet ebenfalls nach, die relativ hohe Gleichgewichtsfeuchte (20%) ist jedoch schlecht für den Dämmwert.

## **Upscaling mittels Extruder Cincinnati Titan 58**

Da Holz ab einer gewissen Menge die Expansion negativ beeinflusst, wurden in der Folge statt Holz auch gemahlene Kartonabfälle eingesetzt.

Die Schaumrezeptur 540/0S wurde an der Titan 58 zu Schüttkörpern gefahren, wobei die Karton/Mais-Mischung nicht vollkommen aufgeschlossen wurde, d.h. es waren noch Karton-Stückchen im Granulat zu sehen. Abhilfe schaffte der Wechsel der Lochdüse; ein Schüttgewicht von 195 g/l wurde erhalten.

Zur Erhöhung der Fahrbarkeit der Pulvermischung 531/5S (Hauptkomponenten Leder und Biomasse) ist die Zugabe von etwas Ca-Stearat als Verarbeitungshilfsmittel vorgesehen; das Schüttgewicht betrug 139 g/l.

Basis der Rezepturreihe 525/7S war die Rezeptur 341, bei der statt Mais Stärkederivate neben den Hauptbestandteilen Leder und Biomasse verwendet wurden um das Expansionsverhalten zu verbessern.

Das Schäumen von Schüttkörpern an der Titan 58 erfolgte unter Verwendung der „sanftesten“ Schnecke:

Es wurde ein Schüttgewicht von 88-108 g/l bei einem Durchsatz von 100 kg/h erreicht; beim Einzug kam es manchmal zu Belagsbildung; man musste unter 100°C bleiben, sonst dampft das Wasser zu sehr aus.

## **Externe Versuche mit Extruder Cincinnati Titan 80**

Im Technikum der Firma Fasalex befindet sich ein Cincinnati Extruder ähnlicher Bauart wie der von uns am IFA verwendete. Der Unterschied des „Titan 80“ liegt in der höheren Stundenleistung, dem größeren maximalen Durchsatz und der geringeren maximalen Drehzahl.

An zwei Versuchstagen wurden das Mischsystem, die Produktförderung und die Dosierung mit verschiedenen Rezepturen getestet. Bei diesen Versuchen zeigte sich, dass die Aufgabe der verschiedenen Materialien mit sehr unterschiedlichem Schüttgewicht in den Schneckenförderern große Probleme bereitete und der Großteil der Ingredienzien händisch in den Mischer eingebracht werden mussten. Daher wurde beschlossen in Zukunft nur mit Fertigmischungen in Kopfung zu arbeiten.

In den beiden Versuchstagen im Jahr 2004 wurden deshalb zwei Standardmischungen (535/0S und 525/7S) nach Kopfung geschickt um Schüttkörper zu extrudieren. In der Zwischenzeit entwickelte Fasalex gemeinsam mit einem Maschinenbauer ein neues Dosiersystem. Aufgrund dieses Umbaus wurde den Mitarbeitern des IFA-Tulln der Zutritt zur Produktionsanlage untersagt.

Bei den Versuchen stellte sich heraus, dass die Dimensionen des Extruders im Vergleich zur verwendeten Lochblende zur Schüttkörperproduktion zu groß ausgelegt waren. Im neuen Dosiersystem kam es immer wieder zu Entmischungen und zu Durchsatzschwankungen und in der Folge zum „Pumpen“ des Extruders. Die zu einer entsprechend hohen Expansion nötige Drehzahl konnte daher nicht erreicht werden. Die Schüttkörper waren deshalb in Größe, Form und Expansion extrem unterschiedlich.

Es wurden daher während der Extrusionsversuche keine brauchbaren Schüttkörper erhalten.

## **Pressversuche**

### **Auswahl Schaumrezepturen für Pressversuche**

Schüttkörper, die dem Pressdruck standhalten können, müssen eine ausreichende Druckfestigkeit aufweisen; ein zweites Auswahlkriterium ist eine möglichst geringe Dichte. Schüttkörper, die eine Dichte von  $0,2 \text{ g/cm}^3$  aufweisen, schieben wegen zu geringer Druckfestigkeit aus. Die Dichten der ausgewählten Schüttkörper bewegten sich zwischen  $0,3$  und  $0,5 \text{ g/cm}^3$ :

Die Rezeptur 538/8S mit der Dichte  $0,4 \text{ g/cm}^3$  enthält Holz, Mais und Biomasse.

Folgende Rezepturen enthielten den Reststoff Karton: 538/9S und 540/0S bestehen aus unterschiedlichen Anteilen Kartonschnipsel und Mais; 525/9S (Dichte  $0,3 \text{ g/cm}^3$ ) enthält Leder, Harz, einen Thermoplast und Mais; 525/8S ist wie 525/9S aufgebaut, enthält aber Biomasse statt Mais.

Weitere Auswahlrezepturen sind folgende (Hauptkomponenten in Klammer): 531/2S und 531/3S (Leder, Biomasse), 525/7S mit der Dichte  $0,3 \text{ g/cm}^3$  (Leder, Biomasse, Mais), 538/11S mit der Dichte  $0,4 \text{ g/cm}^3$  (Holz, Mais), 539/0S (Leder, Mais).

## Beschreibung der Sandwichbauteile



Es wurden unterschiedliche Schüttkörper verpresst, deren Schüttdichte durch die verschiedenen Ausformungen beeinflusst wurde. Diese reichten von kugel- bis zylinderförmig.

Hörnchenförmige Teile ließen sich schlechter in der Pressform verteilen, da sie weniger gut rieselten.

Die Komprimierung der Schüttkörper beim Pressvorgang betrug 25%, d.h. die Füllhöhe reduzierte sich von 40mm auf 30mm. Dies war nicht möglich, wenn die Granulate sich aufgrund ihrer Festigkeit bzw. Dichte nicht so stark verpressen ließen.

Die gewählten Zeit- und Temperatureinstellungen für einen optimalen Pressvorgang betragen:

100°C Plattentemperatur für 10 Minuten.

Kriterium dabei war, dass der Kern des Sandwichbauteils 70°C erreichte.

Um den Durchwärmeprozess zu beschleunigen, wurden die zu verpressenden Granulate vorerwärmt, was jedoch keinen Unterschied machte.

Eine vorher erfolgte Besprühung mit Wasser ohne Kleber war für den Zusammenhalt der Granulate nicht ausreichend.

Bei Granulaten geringer Ausgangsfestigkeit wirkt sich eine Verdopplung der Kleberkonzentration signifikant auf die Querkraftfestigkeit aus, d.h. Granulate, die vermutlich aufgrund ihrer Offenporigkeit mehr Kleber aufnehmen, können so verstärkt werden.

### Bestimmung der Querkraftfestigkeit

Von den insgesamt 80 Plattenpressversuchen, die unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt

wurden, wurden 9 Sandwichbauteile mit Dünnsplattplatten als Deckschicht ausgewählt, die auf Querkraftfestigkeit getestet wurden. Im folgenden sind die besten Ergebnisse aufgeführt.

Die Querkraftfestigkeit der erhaltenen Platten wurde bestimmt, wobei sich die auf Leder basierende Mischung 525/7S (Leder, Biomasse, Mais) als am höchsten belastbar erwies.

Die Verwendung von Schüttkörpern aus der Rezeptur 525/9S ergab eine Platte, deren Dichte geringer als die aus 525/7S ist, die Querkraftfestigkeit ist jedoch

ebenfalls geringer. Um die Platten leichter vergleichen zu können, wird die Querkzugfestigkeit auf die Dichte bezogen.

Eine besonders belastbare und dabei leichte Platte wurde unter der Verwendung der Schüttkörper aus der Rezeptur 540/0S (Basis Karton, Mais) erhalten.

**Tabelle 4**

	Dichte (Platte) [g/cm <sup>3</sup> ]	Querkzugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faktor
<b>540/0S</b>	0,17	0,07	0,42
<b>525/9S</b>	0,21	0,06	0,29
<b>525/7S</b>	0,31	0,11	0,36
<b>MDF</b>	0,80	0,65	0,81
<b>Mineralwolle</b>	0,08	0,08	1,00
<b>EPS</b>	0,03	0,08	2,67

Tabelle 4 zeigt den Vergleich von mechanischen Kenngrößen wie Dichte der Platte und Querkzugfestigkeit von Platten aus Schaumgranulaten und gängigen Dämmstoffen wie Mineralwolle und Styropor (EPS). Die Querkzugfestigkeit wird auf die jeweilige Dichte bezogen und so ein Faktor erhalten.

## Profilextrusion

### Schäumen mittels Schlitzdüse am Extruder CM 45 Food

Als Vorversuch zur Profilextrusion wurden geschäumte bandförmige Stränge mittels einer Schlitzdüse extrudiert (525/0S).

Bei niedriger Drehzahl (40) war die Expansion besser, aber die Oberfläche unregelmäßig; bei höherer Drehzahl (60-80) war eine glatte Oberfläche dafür weniger Expansion festzustellen; es kam zu Einzugsproblemen bei Verwendung von nicht heißgemischten Pulvermischungen;



nach einem Schneckentausch (Schnecke mit höherer Scherwirkung) war eine hohe Expansion zu beobachten, die Oberfläche blieb jedoch unregelmäßig.

## Direktextrusion zu geschäumten Profilen am Extruder Cincinnati Titan 58

An der Titan 58 wurden aus den Pulvermischungen auf Leder/Biomasse-Basis 531/1S, 531/2S, 531/3S, 531/4S, und einer Rezeptur, die alle vier Hauptbestandteile enthält (535/0S), mittels Direktextrusion Profile hergestellt. Verwendet wurde ein Werkzeug mit kurzem Kern, das Profil wurde direkt ins Kaliber gefahren.



Bei der Profilextrusion konnten Dichten von 0,76 – 0,86 g/cm<sup>3</sup> erreicht werden.

Verschiedene vielversprechende Rohstoffmischungen auf Holz/Leder-Basis schäumten nicht gut; es wurden Profile mit runzeliger Oberfläche erhalten (519/0SH).

Verwendete gängige anorganische Füllstoffe wurden in der Leder/Mais-Rezeptur 525/0S durch den fließfähigen Füllstoff Biomasse ersetzt (525/7S und 525/8S). Maishältige Rohstoffmischungen führten zu elastischen Profilen mit ruppiger Oberfläche und großen Poren (525/7S). Die Verwendung von Biomasse statt Mais führte zu härteren Profilen mit kleineren Poren. Bei der Verarbeitung war deutlicher Ammoniakgeruch festzustellen (525/8S).

Ersetzt man den in manchen Mischungen enthaltenen Naturkautschuk durch ein synthetisches Polymer und verwendet mehr Biomasse, erhält man Profile mit glatterer Oberfläche und kleineren Poren (531/0S). Bei Verwendung einer mais- und kautschukhaltigen Rezeptur wurde ein gewelltes Profil erhalten.

Es kam zu Einzugsproblemen bei Verwendung der Rohstoffmischungen mit „flauschigem“ Leder. Der relativ starke Geruch nach Ammoniak führte zu dem Vorschlag den Basegehalt zu senken. Profile mit kleinen Poren wurden bei der Verwendung von feinerem Leder in der Rohstoffmischung erhalten. Die Profile waren hart und glatter als bei Verwendung von flauschigem Leder (531/1S bis 4S).

Insgesamt wurden 20 Versuche zur Profilextrusion durchgeführt. Die nachstehende Tabelle zeigt Messwerte von Profilen, aus denen geeignete Prüfkörper erhalten werden konnten.

**Tabelle 5: Messwerte Profilextrusion**

Versuchsnummer	Rezeptur	Variante	Expansion [%]	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Wasseraufnahme nach 2h [%]	Dickenquellung nach 2h [%]	Biegebruchspannung g [N/mm <sup>2</sup> ]	E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]
2056	315	13	224	0,86	14,7	5,5	8,0	519
2100	531	0S	285	0,80	16,2	4,8	6,4	565
2102	531	4S	193	0,82	18,8	6,5	10,4	1006
2103	531	1S	80	0,86	19,8	4,5	7,9	951
2104	531	2S	143	0,76	n.b.	6,0	9,0	689
2105	531	3S	203	0,82	15,1	6,5	7,0	303

### Probleme bei der Direktextrusion zu Profilen

Bei der Profilherstellung kam es wiederholt zum unregelmäßigem Austreiben der Extrudate aus der Düse („Pumpen“ des Extruders), die Profile schrumpften zeitweise und Geruch nach Ammoniak war festzustellen (besonders bei den lederhäftigen Rezepturen 531/4S und 535/0S). Grund für das Pumpen war eventuell die zu geringe Mischzeit: das Wasser wurde der Pulvermischung erst kurz vorher zudosiert. Bedingt durch unterschiedliche Austrittsgeschwindigkeiten (abhängig von der Profilgeometrie) kam es teilweise zum Auftreten von Längsrissen am Profil.

## **Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen**

### **Allgemeine Erkenntnisse im Hinblick auf das Schäumen mit Naturstoffen**

Generell ist zu sagen, dass es möglich ist die Schaumeigenschaften von elastisch bis spröde einzustellen, aber bei Rezepturen ohne faserigen Anteil wie zum Beispiel Holz oder Leder fehlt die strukturgebende Komponente, was zu verminderter Steifigkeit führt. Ein Gesamtanteil von 20-30% an fließfähigen Komponenten ist nötig um eine gute Verarbeitbarkeit am Extruder und eine ausreichende Wasserbeständigkeit des Endproduktes zu garantieren.

Wird das getrocknete Leder verwendet, ist ein stärkerer Ammoniakgeruch beim Extrudiervorgang zu bemerken.

Daher wird das feuchte Leder auf ca. 20% getrocknet und anschließend gemahlen. Leder mit einer Feuchte von 20% schert nicht zu sehr auf (gut für den Einzug an der Maschine), ergibt aber eine ausreichende Faserwirkung.

Schergeschwindigkeit und Düsenaustrittsfläche haben großen Einfluss auf die Expansion.

Die Senkung des Düsendurchmessers und damit der Düsenaustrittsfläche führt zu einer besseren Scherung der Pulvermischung und garantiert eine gleichbleibende Belastung im Extruder. Der aus der geringeren Austrittsfläche resultierende höhere Druck in der Maschine hat sich als günstig für die Verarbeitung erwiesen. Der schlagartig abfallende Druckabfall beim Austritt an der Düse sorgt für eine hohe Expansion.

Ohne Basezusatz wurde eine geringere Expansion beobachtet; mit geringem Naturkautschukanteil war die Relaxation der Stränge nach der Düse geringer.

Eine hohe Expansion wiesen solche Stränge auf, die sonst weich und leicht eindrückbar waren. Weniger Expansion war dafür bei härteren Strängen zu messen. Bei einer zu hohen Beaufschlagung mit Holz mit dem Ziel die Steifigkeit zu erhöhen sank die Expansion.

Die sogenannten „Billigvarianten“ aus maximal zwei Rohstoffen sowie stark maishältige Mischungen bewährten sich nicht.

Die vorläufigen Kosten der Rohstoffmischung (ohne Geruchsminderer) betragen 0,89-0,92 €/kg netto (keine Granulierkosten).

### **Verwendung als Dämmstoff**

Das Gebiet Wärmedämmung wird fast ausschließlich durch die Schaumstoffchemie beherrscht. Naturstoffe sind jedoch aufgrund ihrer feuchtespeichernden Eigenschaften geeignet eine optimale Wohnatmosphäre zu schaffen, indem sie aktiv an der Ausbildung des Mikroklimas im Haus teilnehmen.

Der Wärmedämmstoffmarkt lässt sich wie folgt einteilen: 95% Mineralwolle (60%) und Schaumkunststoffe (35%).

Klassische Dämmstoffe sind aufgrund fraglicher Umweltverträglichkeit und möglicher Gesundheitsgefährdungen in Kritik geraten.

Dennoch ist eine Zurückhaltung des Marktes zu verzeichnen aufgrund des höheren Preises der Dämmstoffe auf Naturbasis. Der Einsatz der ökologischen Dämmstoffe kann als Ergänzung zu den am Markt etablierten betrachtet werden.

Dämm- und Isolierstoffe bzw. Leichtbauplatten auf Schaumstoffbasis finden vorwiegend Anwendung in der Bau- und Baustoffindustrie. Eine neue „Generation“ von Profilen im Bereich Wärmedämmung wird vermehrt nachgefragt. Sie würden gegenüber Kunststoffprofilen eine höhere Nachhaltigkeit aufweisen und gegenüber Vollholzprofilen eine Ressourcenschonung bringen. Als Beispiel seien Fensterkanteln genannt, die ein Marktvolumen von Euro 109 Mio. aufweisen. Denkbar wäre, davon einen Marktanteil von 5% zu erreichen.

Bei nicht sachgerechtem Einbau kann die Gefahr eines Pilzbefalls nicht ausgeschlossen werden. Bei Einbau in Bereichen mit hoher Feuchtebeanspruchung ist daher bei derartigen feuchtespeicherfähigen Dämmstoffen deren Eignung prüftechnisch nachzuweisen.

Andererseits zeigen wie erwähnt natürliche Dämmstoffe durch ihre Absorptions- und Desorptionsfähigkeit gute klimaregulierende Eigenschaften.

Ähnliches gilt für Konstruktionswerkstoffe und Verpackungsmaterialien, wobei im Bereich der Verpackungsformkörper weniger die Langlebigkeit der Produkte eine Rolle spielt sondern vielmehr das Stoßabsorptionsvermögen.

## **Ausblick**

### **Zukunftsperspektiven**

Leichtbauelemente in Modulbauweise, die auf natürlichen Rohstoffen basieren, sind beispielhaft für die Entwicklung weg von fossilen Rohstoffen hin zu nachwachsenden Materialien.

Unser Produkt ist gekennzeichnet durch kleine, zahlreiche Luftporen je Volumeneinheit und weist daher wahrscheinlich gute Wärmedämmeigenschaften bzw. niedrige Wärmeleitfähigkeit auf. Diese wichtigen Dämmwerte werden in weiterführenden Projekten untersucht.

Anwendungen sind Hohlraumdämmungen („Fülldämmstoff“ für Hohlräume), Dämm-, Konstruktions- und Verpackungstoffe.

Konstruktionsstoffe sind zum Beispiel ebene Platten mit strukturellem Aufbau; dabei werden Schüttgüter mit Bindemitteln verklebt. Als Bindemittel fungieren verschiedene Kunstharzbindemittel wie sie auch bei der Herstellung von klassischen Holzwerkstoffen zur Anwendung kommen.

## **Weiterführender Forschungsbedarf**

### **Allgemein**

Es ist in weiterer Folge geplant den störenden Geruch der geschäumten Produkte auf Proteinbasis zu vermindern. Dafür eignen sich bestimmte anorganische Füllstoffe besonders.

### **Profilextrusion**

An der Profilextrusion wird nach entsprechender Werkzeugoptimierung (Änderung der Wandstärke, Konstruktion von Blenden für den Kalibriertisch) weitergearbeitet. Als Basis für die weitergehenden Versuche wurde die Rezepturreihe 531 gewählt

### **Sandwichbauteil**

Größer dimensionierte Sandwichbauteile sollen an einer Plattenpresse für industrielle Fertigung hergestellt werden um anschließend die Schall- und Wärmedämmkennwerte zu bestimmen. Hierzu ist geplant größere Mengen Granulat der Rezepturreihen 525 und 540 zu produzieren.

### **Mögliche Risiken**

Schwierigkeiten könnten sich ergeben bei Nichterreichen der erforderlichen physikalischen Eigenschaften. In Bezug auf den biogenen Rohstoff sind Geruchsprobleme und die geringe Haltbarkeit verbunden mit Lagerschwierigkeiten möglich. Weiters muss auch die Verfügbarkeit des biogenen Rohstoffes in gleichbleibender Qualität und deren Reproduzierbarkeit gewährleistet sein.

Die Eigenschaften des Profiles und des Dämmelementes für einen konkreten Anwendungsfall müssen den konkreten Anforderungen in der Praxis genügen.

## Projektkosten

Hier sind die tatsächlich angefallenen Kosten im Überblick dargestellt. Aufgrund der hohen Priorität sind sowohl die Investitionskosten des Industriepartners als auch die Personalkosten, die wesentlich höher liegen als im Projektantrag angenommen, im Detail dargestellt.

### Industriepartner

#### Fasalex

Investitionskosten bar	<b>€21.155</b>
Personalkosten	<b>€10.296</b>
Sachkosten	<b>€2.304</b>
Versuche Kopfung	<b>€1.400</b>
Versuche am IFA	<b>€458</b>
<b>Summe</b>	<b>€35.613</b>

#### Investitionskosten Fasalex

ZEITRAUM 1.1.2003-30.4.2004

Datum	Rg.-Nr.	Lieferant	Bezeichnung	Nettowert	Bruttowert
30.04.2003	20301568	Greiner GmbH	6 Stk. ALU-C-Profile, Kalibriertank	684,00	820,80
09.05.2003	03/1846	SMK GmbH	Heizband	31,30	37,56
13.05.2003	616/03	Rauch GmbH	Düsen für Laborextruder	1.448,00	1.685,47
11.09.2003	20303185	Greiner GmbH	Restzahlung f. Kalibriertisch	15.683,55	18.820,26
14.01.2004	4/3233	Erema GmbH	Messer für Granulierung	143,96	172,75
03.02.2004	2/0171	Erema GmbH	Antriebswelle Granulierkopf	500,00	600,00
10.02.2004	20400527	Greiner GmbH	Blendensatz für Kalibrierung	702,00	842,40
				19.192,81	22.979,24
1.1.03-30.4.04		Greiner GmbH	3 x Mieten f. Kalibriertisch (Bem.: in Rg.Nr. 20303185 - Restzlg. f. Kalibriertisch angeführt)	1.962,00	2.354,40
				<b>21.154,81</b>	<b>25.333,64</b>

## Forschungseinrichtung

### IFA-Tulln

	<b>Summe</b>
Personalkosten	<b>€94.954</b>
Reisekosten	<b>€892</b>
Sachkosten	<b>€25.754</b>
Gesamt	<b>€121.601</b>
+ Overhead 2%	<b>€2.432</b>
+ Overhead Pers. 2%	<b>€1.899</b>
<b>Summe</b>	<b>€124.033</b>

### Personalkosten

		€/h	Tage (8h)	Kosten
Mundigler	Projektleiter	43	30,3	€ 10.423,20
Pirker	Wiss. Mitarbeiter	25	80,9	€ 16.180,00
Bittermann	Wiss. Mitarbeiter	23	78,3	€ 14.407,20
Hintenberger	Extrudeur	27	94,2	€ 20.347,20
Maticic	Techniker	16	156,5	€ 20.032,00
Grzeskowiak	Chemiker	25	26,2	€ 5.240,00
Schlager	Messtechniker	22	47,3	€ 8.324,80
				€ 94.954,40
	Overhead		2%	€ 1.899,09
				<b>€96.853,49</b>

## Literaturliste

### Allgemeines zum Schäumen

Foaming expands possibilities for wood-fiber composites (Jan H. Schut); Plastics Technology Online Article; [www.plasticstechnology.com](http://www.plasticstechnology.com)

Polyurethanabfälle für hochwertige Produkte; Plastverarbeiter 54/2, 2003.

Cereal Fillers (Tony Newton); Chemistry in Britain, 04/2002.

Verpackungsmittel: Mater-Fill auf der Basis von Stärke; [www.materbi.com](http://www.materbi.com)

Alginsulat: EPS-Ersatz auf Algenbasis; [www.transpackaging.at](http://www.transpackaging.at)

Alginschaumstoff (Verpackungszentrum Graz); [www.vpz.at](http://www.vpz.at)

Synthetische Füllstoffe, Schaumstoffe; [www.raumausstattung.de](http://www.raumausstattung.de)

Fytozell, ein natürlicher Schaumstoff; [www.resins.org](http://www.resins.org)

Optimierung der Eigenschaften von One-Step-Sandwich-SMC mit geschäumter SMC-Kernschicht; [www.krt-maschinenbau.uni-kassel.de](http://www.krt-maschinenbau.uni-kassel.de)

Organic aerogels with very high impact strength (C. Tan, B.M. Fung); Advanced Materials, 13/9, 644-646, 2001.

### Dämmstoffe

Thermotec: Wärme- und Trittschalldämmung, Technische Werte; [www.fubotech.at](http://www.fubotech.at)

Ökologische Bau- und Dämmstoffe; [www.wendland-net.de/oeko-bau/daemmstoffe.html](http://www.wendland-net.de/oeko-bau/daemmstoffe.html)

Dämmstoffe: Kennwerte; [www.energiesparhaus.at/gebaeudehuelle/kennwerte.htm](http://www.energiesparhaus.at/gebaeudehuelle/kennwerte.htm)

Vergleich unterschiedlicher Dämmstoffe; [www.thermofloc.com](http://www.thermofloc.com)

Natürliche Dämmmaterialien; [www.euoperl.com](http://www.euoperl.com)

## **Treibmittel**

Kohlendioxid als Treibmittel für mikrozelluläre Schäume; Plastverarbeiter 54/4, 2003.

Treib- und Nukleierungsmittel: Verarbeitungshinweise, Schaumextrusion, Boehringer Ingelheim

Treibmittelkonzentrate „Hecofoam“; [www.kunststofftechnik-lapacz.de](http://www.kunststofftechnik-lapacz.de)

Einführung in die Kunststoffverarbeitung (Walter Michaeli), 4.Auflage, Hanser Verlag

## **Patente**

Method of producing foam concrete using a protein foamer (1999); WO9962842

Biologically degradable compound material is based on hardened starch foam during production and is simultaneously mixed with further material (1994); DE4228779

Reducing labor intensity of leather with adhesive to make foam-backed articles for use in automobile interiors (2001); DE10041385

Adjuvant composition containing foaming agent usable in the building and public works industry for the manufacture of lightweight materials based on hydraulic binder (1993); FR2680781

Foam concentrate (1993); US5225095