

Grundlagenforschung für die Entwicklung von Produktprototypen aus Naturstoff-gebundenen Vliesen

R. Wimmer, R. Binting, M. Drack

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

35/2007

Impressum:

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

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

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

Grundlagenforschung für die Entwicklung von Produktprototypen aus Naturstoff-gebundenen Vliesen

Dr. Robert Wimmer, Mag. (FH) Rudolf Binting,
Dr. Manfred Drack
Gruppe Angepasste Technologie

Wien, März 2007

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

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

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

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

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

Projektleiter

Dr. Robert Wimmer

Gruppe Angepasste Technologie

Team Gruppe Angepasste Technologie

Mag. (FH) Rudolf Binting

Dr. Manfred Drack

Projektteam und Kooperationspartner

Wir danken dem Projektteam und den Kooperationspartnern für die ausgezeichnete Zusammenarbeit.

Projektteam

WK Naturfaser Technologie GmbH, Dkfm. Wolfgang Karner, Josef Riedl

Trennwandsysteme Scheicher, Alois Scheicher GmbH, Rudolf Michael Scheicher

Zuckerforschung Tulln Ges.m.b.H., DI Dr. Martin Kozich, Dr. Karl-Jürgen Mann

Höfer Ges.m.b.H & Co.KG, Wolfgang G. Höfer, Robert Hamedinger

FEX ÖKO-Faserverarbeitungs-GmbH, Ing. Johann Payerl

Verpackungszentrum Graz, Helmut Meininger, Bettin Reichl

FH Salzburg, Studiengang Design & Produktmanagement, Mag. Günther Grall, Dr. Bernhard Rothbucher

PE Design, Delft DI Paul Eilbracht

Spezialmaschinen Dr. Otto Angleitner Ges.m.b.H & Co.KG., DI Helmut Angleitner

Kooperation mit

FH Salzburg, Holzwerkstoffe, DI Dr. Olaf Treusch

R+S Technik GmbH, Ernst Spengler, Dirk Fischer

SFK Tischler GmbH, Gerhard Spitzbart

TU Wien, Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie, Nichtmetallische Werkstoffe, DI Dr. Vasiliki-Maria Archodoulaki

TU Wien, Institut für Hochbau und Technologie, Zentrum für Baustoffforschung, Werkstofftechnik und Brandschutz, DI Dr. Heinrich Bruckner

Technoboard Engineering GmbH, Werner Lokaj

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassungen	6
1.1	Kurzfassung	6
1.2	Summary.....	8
2	Einleitung	12
3	Verwendete Methoden und Daten	14
4	Rohstoffe und Optimierung	15
4.1	Konditionierte Faserrohstoffe.....	19
4.2	Bindemittel	22
4.2.1	Rezepturen für den Fasermix	24
5	Verfahrensentwicklung (Vliesprozess)	25
5.1	Faserförmige Bindemittel	27
5.2	Pulverförmige Bindemittel und Leime	30
5.2.1	Vlieslegeverfahren	31
5.2.2	Aufbringung des Bindemittels (Leim) durch ein Mischaggregat	35
5.2.3	Resümee	40
6	Prototyp Zwischenwand	41
6.1	Aufbau und Fertigung	43
6.1.1	Herstellung von Wandmustern	47
6.1.2	Oberflächenbehandlung	48
7	Prototyp Verpackungsformteil	52
7.1	Formpressversuche mit bereits vorhandenen Formen	57
7.2	Design von Verpackungsformteilen	60
7.3	Auswahl und Bewertung von möglichen Anwendungsfeldern für das Naturfaser-Compound (NFC)	65
7.4	Musterproduktion	72
7.5	Schlussfolgerung	75
8	Funktionstests und Überprüfungen	77
8.1	Überprüfungen Zwischenwände	77
8.1.1	Weiterentwicklungsbedarf zur Serienreife	80
8.2	Überprüfungen Verpackungsformteile	81
8.2.1	Weiterentwicklungsbedarf zur Serienreife	85
9	Dissemination.....	87
9.1	Zwischenwand	87
9.2	Verpackungsformteile	87

10	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	89
11	Verzeichnisse	91
11.1	Literatur.....	91
11.2	Abbildungen	93
11.3	Tabellen	95

1 Kurzfassungen

1.1 Kurzfassung

Motivation

Faserverbundwerkstoffe, wie sie heute als Platten- oder Formteile erhältlich sind, bestehen zu einem nicht unerheblichen Anteil aus synthetischen Rohstoffen. Üblicherweise wird eine synthetische, thermoplastische Stützfasern als Bindemittel verwendet. Nur durch den Einsatz von Bindemitteln und Klebstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen können die Vorteile des Vlieswerkstoffs (aus Naturfasern) und der daraus gefertigten Produkte in vollem Umfang erhalten werden, insbesondere deren biologische Abbaubarkeit. Die Entwicklung von natürlichen Bindemittel-Faser-Compounds ist daher einer der wichtigsten „Missing Links“ einer konsequent nachhaltigen Produktion.

Zielsetzung

Als viel versprechende Einsatzgebiete für einen derartigen Werkstoff wurden Zwischenwandsysteme und Pressformteile (z.B. für Verpackungen) identifiziert. Für diese Anwendungsbereiche sollten Prototypen entwickelt und getestet werden.

Die wichtigsten Fragestellungen in diesem Projekt lauteten:

- Wie sieht die optimale Rohstoffzusammensetzung für den Faserverbundwerkstoff (Klebstoffe, Fasern) im Hinblick auf die geplanten Einsatzgebiete aus, und welche Aufbereitungsschritte sind für die Fasern erforderlich?
- Welche Prozessparameter erlauben eine Vliesherstellung in gleich bleibender, hoher Qualität?
- Wie lassen sich die Nutzungsanforderungen für Wandpaneele mit dem Faservlies realisieren (technische Eigenschaften, Oberflächen, etc.)?
- Welche Verpackungsformteile lassen sich aus dem Faservlies herstellen, und wie müssen sie gestaltet sein?
- Halten die entwickelten Prototypen beider Produktlinien den Anforderungen der Praxis stand und entsprechen sie den rechtlichen Vorschriften?

Inhalte

Die Entwicklung von natürlichen Bindemittel-Faser-Compounds

Als Faserrohstoffe für die Vliesentwicklung wurden Flachskämmlinge bzw. Flachsfasern, die auch in der Automobilindustrie für Faserverbundwerkstoffe eingesetzt werden, sowie Strohfasern verwendet. Stroh ist als landwirtschaftliches Nebenprodukt billig und in großen Mengen verfügbar. Es bedarf jedoch einer mechanischen Aufbereitung, um die Strohfasern für den Vlieslegeprozess zu konditionieren. Durch das Verwenden von Flachsfasern konnten die wesentlich schwereren Strohspäne in ein Vlies eingebunden werden. Neben den Faserrohstoffen wurden geeignete Bindemittel gesucht, um dem Vlies die gewünschten Festigkeitseigenschaften zu verleihen. Biopolymere, insbesondere PLA und PHB in pulveriger Form und faserförmig, sowie Stärke wurden auf ihre Eignung hin untersucht. Diese Bindemittel ersetzen die thermoplastische Stützfaser fossilen Ursprunges, die heute als Stand der Technik zum Einsatz kommt.

Auswahl der geeigneten Verarbeitungsverfahren

Mit den ausgewählten Bindemitteln und Fasern wurden im Labormaßstab Versuche durchgeführt und verschiedene Techniken zum Einbringen des Bindemittels in die Faserstruktur getestet.

Mittels des Vlieslegeverfahrens und unter Einsatz von PLA-Fasern wurden die besten Ergebnisse hinsichtlich Festigkeit bei geringem spezifischen Gewicht erzielt. Der Vorteil besteht darin, dass Vliese geringer und hoher Rohdichten gleichermaßen hergestellt werden können, die als Ausgangsprodukt sowohl für Verpackungsformteile als auch für Zwischenwandelemente geeignet sind. Es konnten auch erste Muster erstellt werden, die eine ähnliche Dichte und Festigkeit wie jene von Spanplatten aufweisen.

Im Mischverfahren verarbeitete Strohspäne und stärkebasierte Bindemittel ergaben nach ihrer Verpressung sehr leichte und formstabile Platten. Die Grenzen des Verfahrens zeigten sich bei steigenden Plattendicken bzw. größeren Abmessungen.

Die besten Ergebnisse wurden beim Vlieslegeverfahren mit der PLA-Faser als Bindemittel erzielt. Daher wurde die Prototypenentwicklung mit diesem Material fortgesetzt.

Ergebnisse

Zwischenwände

Aus den Naturfaservliesen wurden unter Einsatz diskontinuierlicher Pressen Platten mit unterschiedlicher Dichte hergestellt. Damit wurde ein mehrschichtiger Aufbau der

Zwischenwände realisiert, um die Anforderungen des geringen Transportgewichts und der mechanischen Festigkeit zu erfüllen. Ein Beplanken auf der Baustelle erübrigt sich, da die Wand aus einem Element besteht.

Darüber hinaus konnten verschiedene Oberflächenbehandlungen demonstriert werden, wodurch der Einbau ohne nachträgliche Arbeiten auf der Baustelle durchgeführt werden kann. Den Anforderungen an die Schalldämmung wurde durch einen „quasi-mehrschaligen“ Aufbau entsprochen, der dadurch erreicht wurde, dass die äußeren Schichten des Faser-Compounds härter und dichter ausgeführt sind als der relativ weiche Kern.

Für eine Behandlung mit Putzen sind biegesteife Vliese und geschlossene Oberflächen, die durch entsprechende Verdichtung und Temperatur in der Heizpresse erzielt werden können, Voraussetzung. Neben diesen Verfahren bieten sich auch Kaschierungen des Materials an, die während des Pressvorganges ohne zusätzliche Bindemittel aufgebracht werden können, wodurch sich eine Vielzahl an Gestaltungsmöglichkeiten ergibt. Die Anforderungen hinsichtlich Brandschutz und Schallschutz konnten erfüllt werden.

Verpackungsformteile

Verpackungsformteile sind mit dem Vlies zwar herstellbar, aber als Startprodukt aufgrund der geringen Wertschöpfung nicht optimal. Darüber hinaus gibt es in diesem Segment zahlreiche Konkurrenzprodukte und -materialien. Jedoch können mit der gleichen Technologie weitaus höherwertige Anwendungen realisiert werden, wie die praktischen Versuche und Überprüfungen gezeigt haben. Für höherwertige Formteile spricht neben der erzielbaren Wertschöpfung auch der mögliche Imagegewinn.

Lässt man den zweiten, aufwändigeren Produktionsschritt (Formpressen) beiseite, so ergeben sich dafür konkurrenzfähige Einsatzbereiche für Verpackungen. Das Faservlies eignet sich hervorragend als schützende und gleichzeitig dekorative Verpackung und hat auch aufgrund der einfachen Verarbeitung realistische Chancen sich am Markt durchzusetzen. Hier kommen die stoßdämpfenden Eigenschaften zur Geltung, die für Verpackungen von zerbrechlichen Gütern wichtig sind.

1.2 Summary

Motivation

Both environmental legislations and consumer demands have increased the pressure on manufacturers of materials as well as end-products to consider the environmental impact of their products along all stages of their life cycle, from raw material extraction to waste management. As a part of the “cradle-to-grave“, furthermore of the ”cradle-to-cradle“

approaches, composite materials based on renewable resources have gained considerable interest from the industries. Those environmentally-friendly and low-cost bio-composites such as natural fibres can replace conventional materials such as glass fibres and synthetic plastics.

In general synthetic thermoplastics such as Polypropylene and Polyethylene are applied as a binder to generate mouldable non-woven materials. Due to the use of fossil fuel-based thermoplastics the composites are not biodegradable. In order to overcome this limit the material developed in this project (called “NFC” Natural Fibre Composite) consists exclusively of residues from renewable resources and biodegradable polymers.

Project goals and contents

As application fields for this material, wall panels and mouldable bio-composites (e.g. packaging) were demonstrated. The aim was to develop prototypes for these application opportunities and to verify them.

This project aims to answer the following questions:

- What is the ideal mixture of raw materials?
- What conditions are needed for the applications?
- Which process parameters allow a constant quality in the non-woven production?
- How can the customer demands on wall panels be satisfied with the non-woven material?
- What kinds of moulded packaging can be created and how do they have to be designed?
- Do the prototypes meet the technical and legal regulations?

Contents

Fibre composites with natural adhesive

The fibres used for the compound were mainly natural residues like flax combings and straw. Straw is a cheap and easy-to-get raw material. However, it has to be conditioned to fit the non-woven production process. To embed the heavy straw fibres in the non-woven mat, the use of flax fibres was essential. The decomposition of the wax layer was used to reach an optimal adhesion level with the starch-based binders. Several biopolymers were tried as comparative binders such as Polylactide (PLA), PHB and starch. They were used as flakes

and powder and tested in different processes.

Choosing capable processing procedures

With the selected binders and fibres several techniques to insert the binder in the fibre structure were tested. The best results were achieved by using the sheet-forming process and PLA fibres due to their high resistance.

By adjusting process parameters, both low and high density of the non-woven can be realised. Subsequently the result is applicable for both, the wall panels and the moulded packaging.

Using the sheet-forming process and starch-based binders, prototypes were produced which reached similar resistance and weight as wood fibreboards. Very lightweight and inherently stable prototypes were also produced with a mixing process of straw and starch-based binders. Problems arose only when trying to increase the dimensions of the boards to a large extent.

As noted above, the best results were achieved when using the sheet-forming process and the PLA fibre as a binder. Therefore the further experiments were continued with this process and raw materials.

Results

Wall panels

The non-woven was compressed to reach the desired weight and resistance with a discontinuous moulding press. A multilayer construction for the wall panels was designed to fulfil all of the objectives including the low specific weight, mechanical strength and easy handling.

Several surface treatment methods were demonstrated, and the product does not require any additional work for fitting at the construction site. To achieve a proper sound insulation whilst keeping the low specific weight the outer layers were more compressed than the inner ones. To be used as a wall panel, the product should have a hard and smooth surface. This was realised through high temperature and pressure in the moulding press. In a one-step process a lamination is also viable without any additional binder. With this character, a number of alternative applications are feasible. The panels meet legal and customer demands regarding fire protection and acoustic insulation.

Packaging

The non-woven material can be used to produce mouldable packaging but it is not the first

choice product to launch due to its low added value and cheap competing products. The same production process can be used to produce more significant applications as the experiments and tests have shown.

Nevertheless the use of the non-woven material without any further mechanical processing (compression-mould) can bring a higher profitability. It is applicable as a protective and decorative packaging substance and shows better chances to penetrate the market.

Although the material shows promising performance to be used as a packaging material, it can be introduced to the market through more sophisticated products (e.g. suitcases). Accordingly, the higher added value and a better image can be created.

2 Einleitung

Die Gesetzgebung ebenso wie ein gesteigertes Kundeninteresse bewirken in vielen Ländern einen zunehmenden Druck auf Materialhersteller und Endprodukte, die Umweltauswirkungen entlang des Produktlebenszyklus zu berücksichtigen. Die Idee „von der Wiege bis zur Bahre“ bzw. „von der Wiege bis zur Wiege“ gewinnt an Bedeutung. Diese Umweltthemen haben in den letzten Jahren zu einem wachsenden Interesse an der Entwicklung von Verbundwerkstoffen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe geführt, als umweltfreundliche, kostengünstige Alternativen für Glasfasern und synthetische Kunststoffe. Zusätzliche Dynamik entstand dabei durch den drastischen Preisanstieg bei Erdöl und den daraus hergestellten fossilen Kunststoffen. Bei vielen Entwicklungen wird zwar die Faser durch eine nachwachsende ersetzt, während das Bindemittel aber weiterhin aus synthetischen, fossilen Kunststoffen besteht, was die Vorteile der Faser wieder zunichtemacht. (s. Baillie, C. 2003 – EcoComp meeting)

Die Eigenschaften von pflanzlichen Fasern sind gut erforscht. Was fehlt, ist ein tieferes Verständnis für die Verbesserungsmöglichkeiten der Faser-Matrix-Verbindung mit unbedenklichen Stoffen. Des Weiteren ist die Verfahrenstechnik für die Produktion von Verbundstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen ein noch ungenügend erforschtes Feld.

Daher werden in diesem Projekt Prozesse zur Herstellung von bioabbaubaren Faserverbundstoffen (Pressen, Vlieserzeugung, etc.) weiterentwickelt.

Mit diesem Projekt sollte ein entscheidender Schritt in Richtung nachhaltige Technologieentwicklung gegangen werden, indem die Fertigung von naturstoffgebundenen Naturfaservliesen und -formteilen von der Grundlagenforschung zur Prototypenreife geführt wurde. Im Interesse der Wirtschaftlichkeit wurden dabei vorwiegend biogene Reststoffe verwendet, die in der Landwirtschaft und Textilindustrie anfallen. Stroh und Leinenkurzfasern wurden in den durchgeführten Vorversuchen als hervorragende Kandidaten identifiziert.

Das vorliegende Projekt basiert auf vorangegangenen Forschungsarbeiten zum Thema Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Dabei spielte die Produktentwicklung (wie im Projekt Treeplast aber auch im Strohballenbau, siehe www.s-house.at) eine wesentliche Rolle. Im Projekt Treeplast wurden Formteile im Spritzgussverfahren aus faserverstärkten Biopolymeren entwickelt. Zusätzlich wurden im Bereich der Bionik Grundlagen geschaffen, die für eine umweltgerechte Produktentwicklung wichtig sind. Dabei ging es vor allem um den Einsatz von Verbundmaterialien. Das gegenständliche Projekt knüpft an diese Entwicklungen an und berücksichtigt auch die Ergebnisse weiterer internationaler Forschungsansätze.

Die erzeugten Faserverbundstoffe wurden zu 100% aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt. Darüber hinaus wurde die Verwendung von unbedenklichen mineralischen Oberflächenbehandlungsmitteln geprüft. Insgesamt wurde streng darauf geachtet, dass eine Rückführung der hergestellten Produkte in biologische Kreisläufe möglich ist. Da die Richtlinien für die End-of-Life-Phase zunehmend strenger und die Entsorgungskosten immer höher werden, ist eine Innovation in diesem Bereich auch vom ökonomischen Standpunkt aus wünschenswert.

Der zentrale Innovationsgehalt des Projektes liegt darin, dass für zwei Produktlinien (Zwischenwandpaneele und Verpackungsformteile) konkrete technische Lösungen entwickelt wurden, die konsequent nachwachsende Rohstoffe nutzen. Bei den Produktionstechnologien wurden kontinuierliche Fertigungsverfahren (Vlieslegeverfahren) für die Wandpaneele und diskontinuierliche (Pressverfahren) für die Verpackungsformteile eingesetzt.

Im Folgenden werden die hergestellten Vliese/Muster auch als Naturfaser-Compound (NFC) bezeichnet.

Das Projekt war in 5 Projektphasen gegliedert und baut auf den Ergebnissen von Vorleistungen auf, die das Projektkonsortium durchgeführt hat. Die Kapitel des Berichts folgen der Logik der Entwicklungen und lauten wie folgt:

- Rohstoffoptimierung
- Verfahrensentwicklung
- Prototypenentwicklung
- Überprüfungen
- Dissemination/ Ausblick

3 Verwendete Methoden und Daten

Bezogen auf die einzelnen Aufgaben und Arbeitsschritte wurden unterschiedliche, den jeweiligen Zielsetzungen angepasste, Methoden angewendet. Bei den durchgeführten Technologierecherchen wurde auf dem internationalen Stand der Technik sowie auf eigenen Studien und Vorversuchen seitens aller beteiligten Projektpartner aufgebaut.

Verfahrenstechnische Methoden nahmen einen Schwerpunkt im Projekt ein, vor allem in den experimentellen Phasen, von der Herstellung eines geeigneten Vlieses, insbesondere der Bestimmung einer geeigneten Zusammensetzung der Komponenten, über die Einstellung und Optimierung der Prozessparameter bis hin zur Entwicklung eines möglichen Verarbeitungsprozesses in den beiden Entwicklungslinien „Zwischenwand“ und „Formteil“. Diese Aufgaben erfolgten in experimentellen Testreihen auf Produktionsmaschinen bei den am Projekt beteiligten Firmenpartnern.

Die Anforderungen möglicher Nutzer an die Produkte in den beiden Entwicklungslinien wurden im Rahmen von Workshops ermittelt und als Grundlage für die Entwicklung herangezogen.

Bei der praktischen Umsetzung sowie der Muster- und Prototypenfertigung wurde ebenfalls mit heimischen Anlagenherstellern zusammengearbeitet. Dabei wurden Muster auf firmeneigenen Maschinen, unter Einbeziehung des dort vorhandenen Know-hows, hergestellt.

Die erforderlichen Tests und Prüfungen wurden bei akkreditierten Prüfanstalten durchgeführt. Vorprüfungen wurden auch am Zentrum für Bauforschung, Werkstofftechnik und Brandschutz am Institut für Hochbau und Technologie sowie am Institut für Werkstoffwissenschaften und Werkstofftechnologie an der Technischen Universität Wien durchgeführt.

4 Rohstoffe und Optimierung

Als Faserrohstoffe für die Vliesentwicklung wurden Flachs, Hanf und Strohfasern verwendet. Die Vliesbildung wurde für unterschiedliche Zusammensetzungen untersucht, und optimale Rezepturen wurden ermittelt. Das untersuchte und eingesetzte Bindemittelspektrum reichte von faser- und pulverförmigen Biopolymeren bis zu verschiedenen Bindemitteln auf Stärkebasis.

Neben Hanf- und Flachsfasern, die auch in der Automobilindustrie für Faserverbundwerkstoffe eingesetzt werden, wurden auch Flachskämmlinge und mechanisch aufbereitete Strohfasern für die Vliesentwicklung herangezogen.

Stroh ist als landwirtschaftliches Nebenprodukt billig und in großen Mengen verfügbar. Es bedarf jedoch einer mechanischen Aufbereitung, um die Strohfasern für den Vlieslegeprozess zu konditionieren. Bei diesem Entwicklungsschritt wurde die Firma FEX Öko GmbH miteinbezogen, die jahrelange Erfahrung mit der Aufbereitung und Verarbeitung von Stroh besitzt. Flachskämmlinge sind ein Nebenprodukt der textilen Verarbeitungskette und wurden auf Grund ihrer besonders feinen Faserstruktur für die Verbesserung des Vliesaufbaus eingesetzt.

Die Optimierung der Zusammensetzung des Fasergemischs wurde gemeinsam mit dem Vliesmaschinenhersteller DOA auf einer für Testzwecke zur Verfügung gestellten Demonstrationsanlage durchgeführt.

Neben den Faserrohstoffen wurden geeignete Bindemittel ausfindig gemacht, um dem Vlies die gewünschten Festigkeitseigenschaften zu verleihen. Biopolymere, insbesondere PLA, PHB und Stärke in pulvriger Form und faserförmig, wurden auf ihre Eignung hin untersucht und die Rezepturen optimiert. Diese Bindemittel sollten die thermoplastische Stützfaser (aus fossilen Kunststoffen), die heute als Stand der Technik zum Einsatz kommt, ersetzen können. Die Zuckerforschung Tulln (Agrana), der Projektpartner aus der Stärke verarbeitenden Industrie mit entsprechender Expertise für die Anwendung von Stärke als Klebstoff, unterstützte diesen Entwicklungsschritt.

Rohstoffverfügbarkeit

Stroh

In einer Publikation von Agrarplus wurden die Mengen an verfügbarem Stroh in Niederösterreich für die Jahre 2000 und 2001 erhoben. Diese Daten zeigen, dass in den einzelnen Bezirken Überschüsse existierten. Die für eine stoffliche oder energetische Verwertung verfügbaren Mengen betragen nach überschlägigen Schätzungen 411.767t bzw.

634.754t, wobei einzelne Bezirke von einem Jahr auf das andere um bis zu 50% weniger Stroh ernteten (Vgl. Kirtz et al. 2003: 166).

Insgesamt schwankte der Strohertrag in Österreich im Zeitraum von 1995 bis 2005 zwischen 2,37 und 1,54 Mio.t pro Jahr. Dies entspricht einer Abweichung vom Mittelwert von +17% bis -24%. Die Tendenz der Anbaufläche war im erwähnten Zeitraum leicht rückgängig. Bei einem Mittelwert von 630.000 ha betrug die Schwankungen von +6% bis -5%. Die durchschnittlichen Stroherträge pro Hektar bewegten sich in diesem Zeitraum von 2,53 bis 3,73 t/ha (siehe Abbildung 1).

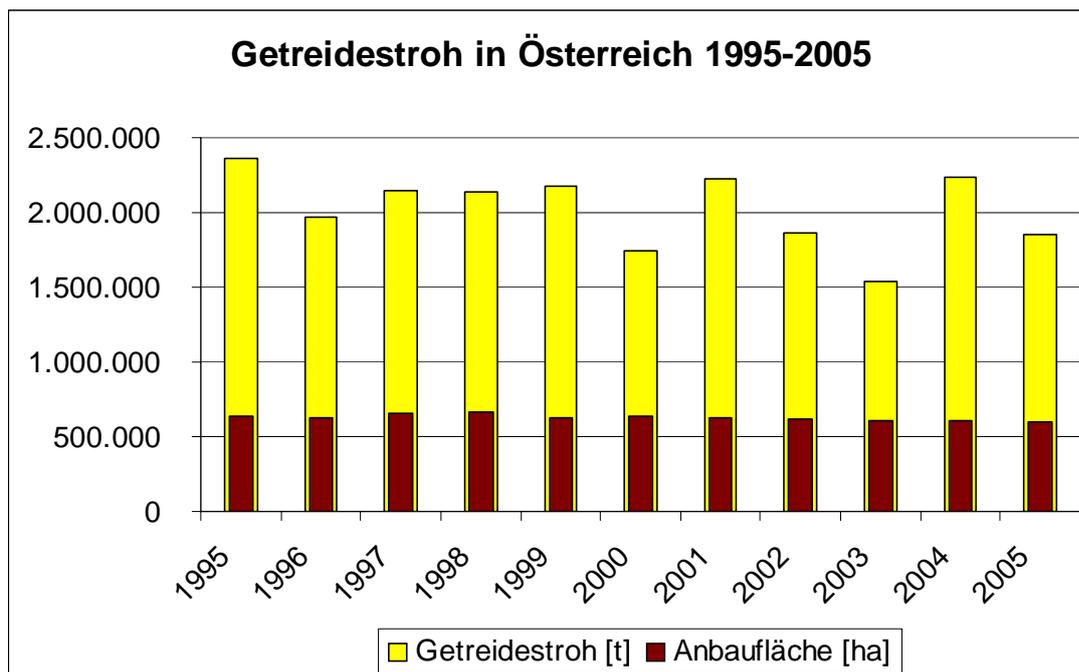


Abbildung 1: Getreidestrohaufkommen in Österreich; Statistik Austria 2006

Für die EU 25 sowie Bulgarien, Rumänien und die Türkei ergibt sich laut einer Studie des Deutschen Institutes für Energetik und Umwelt ein (energetisch) nutzbares Strohpotential von rund 105,2 Mio.t pro Jahr. Bereinigt um Körnermais-, Sonnenblumen-, Rapsstroh und sonstige halmgutartige Kulturarten ergibt sich ein Potential von 62,5t Getreidestroh pro Jahr (Vgl. Thrän et al. 2005: 148).

Berücksichtigt wurden die Stroherträge von Weizen, Gerste, Roggen und Hafer. In der genannten Studie wurde ein nutzbarer Anteil von 20% angenommen. Als Ausgangsbasis dienen die arithmetischen Mittelwerte der landwirtschaftlichen Flächen, auf denen von 1998-2002 halmgutartige Rohstoffe kultiviert wurden (Vgl. Thrän et al. 2005: 159).

In Österreich wurden von 1995-2005 im Mittel rund 2 Mio.t Stroh produziert. Würde man auch hier mit einem freien Potential von 20% rechnen, so stünden etwa 400.000t pro Jahr zur Verfügung. Für die Jahre 2001 und 2002 wurde jedoch, wie oben gezeigt, allein für Niederösterreich ein Überschuss von 400.000 bzw. 600.000t geschätzt. Daraus kann man schließen, dass in Österreich der verwertbare Strohanteil an der Gesamternte deutlich über 20% liegt. In jedem Fall steht für eine industrielle Verarbeitung in größerem Maßstab ausreichend Rohstoff zur Verfügung.

Flachs- und Hanffasern

Die Anbaufläche für Flachsfasern in der EU beläuft sich auf etwa 120.000 ha. (BMVEL 2005, COPA/COGECA 2005 IN: Deutscher Naturfaserverband e. V. Mitgliederinformationen 2005: 5)

Bei einem durchschnittlichen Ertrag von ein bis zwei Tonnen Fasern pro Hektar ergibt dies 50.000 bis 100.000 t an Kurzfasern (der Anteil an Kurzfasern aus den gesamten geernteten Fasern beträgt rund 40%). (Vgl. Mann 1998: 73; Renier 1998 IN: Karus et al. 1999: 2)

Im Jahre 1999 wurden auf 100.000 ha 60.000 bis 70.000t produziert. (Vgl. Karus et al. 2000: 17).

Der wichtigste Abnehmer ist die Zellstoffindustrie, gefolgt von der Automobilindustrie. Je nach Marktlage werden die Kurzfasern auch zu Textilien weiterverarbeitet. Für die Herstellung von Dämmstoffen wird nur ein sehr geringer Anteil der Fasern verwendet. (Vgl. Karus et al. 2000: 11ff).

Die aktuelle Anbaufläche für Hanffasern (Jahr 2005) in der EU beträgt rund 12.000 ha. (BMVEL 2005, COPA/COGECA 2005 IN: Deutscher Naturfaserverband e. V. Mitgliederinformationen 2005: 5)

Pro Hektar können etwa 1,5 bis 2,5t Fasern gewonnen werden. (Vgl. EU Kommission IN: Karus 1999: 2; Müller-Sämann et al. 2003: 14).

Für das Jahr 2005 wäre daher von einem Potential von 18.000 bis 30.000t Fasern auszugehen.

Der wichtigste Abnehmer ist die Zellstoffindustrie, die jedoch nach kostengünstigeren Rohstoffen sucht, wodurch mit rückläufiger Nachfrage zu rechnen ist. (Vgl. Karus et al. 2000: 17ff).

Für Verbundwerkstoffe wurden im Jahr 2003 3.700t Hanffasern verwendet. Der Anteil an Flachsfasern war annähernd dreimal so hoch. (Vgl. Karus et al. 2004: 2).

Ein weiterer Anbau von Flachs- und Hanffasern in Europa hängt sehr stark von der Fortführung der EU-Verarbeitungsbeihilfen ab.

Biokunststoffe

Gegenwärtig besteht weltweit eine Produktionskapazität von rund 300.000t Biokunststoff. Die meisten Anlagen wurden erst nach dem Jahr 2000 errichtet. Für Polylactid steht mit 140.000t pro Jahr die größte Anlagenkapazität zur Produktion von Biokunststoffen weltweit zur Verfügung. (Vgl. www.tinyurl.com/3yj3ry, 22.10.2006, 13:00)

Dennoch liegen die Rohstoffkosten dafür höher als jene von Massenkunststoffen wie z.B. Polypropylen. Mit höherer Effizienz im Herstellungsprozess und steigenden Preisen für fossile Ressourcen ist mittelfristig eine Preisangleichung zu erwarten. Im Jahr 2005 wurden in der Europäischen Union rund 50.000t Biokunststoffe eingesetzt. Demgegenüber gibt es einen Kunststoffverbrauch von rund 40 Mio.t. Der Anteil am Gesamtverbrauch ist gering, ein Anstieg auf rund 10% wird jedoch nach dem heutigen Stand der Technik für möglich gehalten. (Vgl. ebenda)

Vergleich

In Tabelle 1 ist ein Vergleich der Verfügbarkeit der verwendeten Rohstoffe angeführt.

Rohstoffproduktion	Tsd. Tonnen
Flachskurzfasern aus der EU, 2000	60-70
Hanfshortfasern aus der EU, 2000	25-30
Stroh, verfügbares Potential EU 25 sowie Bulgarien, Rumänien und Türkei	62.500
Biokunststoffe Produktionskapazität weltweit 2005 (Polylactid)	300 (140)

Tabelle 1 : Produzierte Rohstoffe, Zusammenfassung

Für Stroh, Flachs- und Hanffasern wurden die Potentiale im europäischen Raum herangezogen, bei den Biokunststoffen die weltweite Produktionskapazität. Die Schwachstelle hinsichtlich Rohstoffverfügbarkeit liegt beim Angebot an Flachs- und Hanffasern, jedoch kann hier bei Bedarf auch auf nichteuropäische Quellen zurückgegriffen werden. Stroh und Biokunststoffe sind in ausreichenden Mengen verfügbar.

4.1 Konditionierte Faserrohstoffe

Stroh

Stroh ist als landwirtschaftliches Nebenprodukt billig und in großen Mengen verfügbar und stellt daher einen besonders interessanten Rohstoff für die Werkstoffherstellung dar. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über das verfügbare Strohpotential in Österreich dargestellt, da im Hinblick auf eine industrielle Anwendung der Forschungsergebnisse nicht nur die technische Machbarkeit, sondern vor allem auch die ausreichende und langfristige Verfügbarkeit der Ausgangsrohstoffe von entscheidender Bedeutung sein wird.

Aufbereitung der Strohfasern

Der Strohalm ist für eine direkte Verarbeitung im Vlieslegeprozess nicht geeignet, die Halme sind dafür viel zu grob. Es bedarf also einer entsprechenden Aufbereitung, um die Strohfasern für den Vlieslegeprozess zu konditionieren. Jeder Verarbeitungsschritt stellt einen zusätzlichen Kostenfaktor dar, daher wurde versucht, mit möglichst einfachen, insbesondere rein mechanischen Aufbereitungsmethoden das Auslangen zu finden. Mittels Hammermühlen wurde die Aufbereitung zu den entsprechenden Längen realisiert. Es ist dabei wichtig, dass beim Aufbereitungsvorgang der Halm sowohl gekürzt als auch aufgesplittet und dass ein Großteil der Knotenpunkte der Halmgeometrie aufgebrochen wird.



Abbildung 2: Stroh unbehandelt und konditioniert (rechts)

Die hier als „kurz“ bezeichneten Fasern hatten Längen von bis zu 30mm und eine Breite von bis zu 2mm. Das aufgearbeitete Material bestand aus gesplitteten Strohhalmen mit einer Rohdichte von rund 80kg/m³ als Schüttgut. Einzelne noch unzerkleinerte Halmknoten, die sich auch nach der Aufbereitung noch unter den Strohspänen befanden, führten zu keinen größeren Problemen, können aber herausgesiebt werden, um höhere Festigkeiten bzw. regelmäßigeren Oberflächen zu erzielen. Bei den durchgeführten Versuchen wurden auch längere Strohfasern mit Längen von bis zu 45mm und einer Breite von bis zu 2mm verwendet. Für den Vlieslegeprozess stellte sich heraus, dass diese längeren Strohfasern

deutlich besser geeignet sind, weil sich eine bessere Einbringung der Fasern in den Mischkanal und die Vlieslegung ergab.

Auch die Feuchtigkeit der Fasern stellt einen wichtigen Parameter für den Vlieslegeprozess dar. Die beste Verarbeitbarkeit wurde mit einem Feuchtegehalt von rund 20 % in der Strohfasern erzielt. Dadurch sind die Fasern weniger brüchig. Die Staubentwicklung, die durch das Einbringen der Fasern mittels Luftstrom grundsätzlich hoch ist, sinkt bei höherer Feuchtigkeit ebenfalls ab.

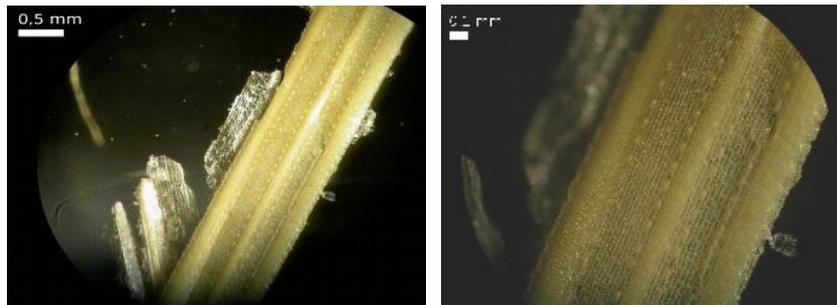


Abbildung 3: Mikroskopaufnahmen Strohalm

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Strohfaseraufbereitung ist die Wachsschicht an der Halmoberfläche. Sie verleiht dem Strohalm den Glanz und eine Wasser abweisende Eigenschaft. In der mikroskopischen Aufnahme ist die Wachsschicht deutlich zu sehen (siehe Abbildung 3). Vor allem bei frischem Stroh ist sie sehr ausgeprägt. Sie erschwert einerseits die Verklebung der Halme, andererseits aber auch das Vlieslegen, weil es durch die glatte Oberfläche zu einem Entmischungsvorgang kommt. Die Strohfasern fallen teilweise aus dem Fasergemisch im Luftstrom heraus und lagern sich im Strömungskanal oder in der Maschine an, wodurch es zu Unregelmäßigkeiten in der Vlieszusammensetzung kommt.

Die unerwünschte Wachsschicht kann durch Lagerung im Freien reduziert werden. Wenn das Stroh eine Zeit lang der Witterung ausgesetzt wird, verliert es seine goldgelbe Farbe und sieht „stumpf“ aus. Die Wachsschicht baut sich dabei offensichtlich ab. Allerdings darf diese Lagerung im Freien nicht zu lange dauern, damit sichergestellt ist, dass keine Schimmelbildung einsetzt. Es ist auch darauf zu achten, dass das gelagerte Stroh wieder völlig austrocknen kann. Für Versuche stellte die Firma Fex ein derartig „überlagertes“ Stroh zur Verfügung. Am besten eignete sich Gerstenstroh, da es bei der mechanischen Aufbereitung wesentlich mehr „ausfranst“ als Weizenstroh und damit eine bessere Ausgangsfaser für den Vlieslegeprozess darstellt.

Vliesbildner - Verbesserung der Vlieseigenschaften

Zur Verbesserung der Vlieseigenschaften wurden als Vliesbildner Flachs- und Hanffasern herangezogen, mit denen die Strohspäne gemischt wurden. Daraus ergibt sich im Vlieslegeprozess ein Faserflor, in dem die Strohspäne gleichmäßig verteilt und fixiert werden. Erst dadurch kommt eine Vliesbildung zustande. Links in Abbildung 4 sind die vorgemischten Strohspäne und Flachsfasern zu sehen, daneben ist der fertig gemischte Faserflor inklusive der Bindefaser abgebildet.



Abbildung 4: Strohspäne und Flachsfasern, Faserflor

Verwendet wurden entstaubte und schäbenfreie Leinenkurzfasern (siehe Abbildung 5) von österreichischen, tschechischen und deutschen Anbietern, die ein Nebenprodukt der textilen Verarbeitungskette darstellen. Die durchschnittliche Länge der Fasern betrug in etwa 20mm, wobei auch Längen von bis zu 200mm vereinzelt aufzufinden waren. Es wurden ausschließlich Produkte verwendet, die für die Herstellung von Flachsgarnen oder Zwirnen über keine ausreichende Qualität verfügen.



Abbildung 5: Leinenkämmlinge/Combings

Als Alternative zu den Leinenfasern wurden versuchsweise auch Hanffasern als Vliesbildner eingesetzt, sie erwiesen sich jedoch aufgrund ihres größeren Faserquerschnittes gegenüber den Flachsfasern als weniger gut geeignet. Hanf weist dickere Fasern auf als Flachs (siehe Abbildung 6), das entstehende Vlies ist weniger dicht, wodurch sich ein höherer Ausfall von Strohspänen ergibt.



Abbildung 6: Hanffasern

Resümee

Die wichtigste Rolle bei der Rohstoffoptimierung spielte die Aufbereitung der Strohfasern, da mit diesem Rohstoff noch kaum Erfahrungen hinsichtlich einer Vliesproduktion gemacht wurden. Durch Zerkleinern mittels Hammermühle konnte eine passende Ausgangsgröße erzielt werden. Der Abbau der Wachsschicht auf den Strohspänen war vor allem beim Einsatz von stärkebasierten Klebern bedeutend, um eine bessere Verklebung zu erreichen. Durch Verwenden von Flachsfasern konnten die wesentlich schwereren Strohspäne in ein Vlies eingebunden werden. Hanffasern erwiesen sich aufgrund ihres größeren Querschnittes als weniger gut geeignet.

4.2 Bindemittel

Als Bindemittel wurden sowohl auf Stärke basierende Bindemittel und Dextrine als auch biologisch abbaubare Kunststoffe wie Polymilchsäure (PLA) und Polyhydroxybuttersäure (PHB) eingesetzt. Die Bindemittel wurden pulver-, faser- und schuppenförmig in den Vlieslegeprozess eingebracht, großteils trocken, teilweise aber auch mit Dampf beaufschlagt, um einen Bindemittelaufschluss zu ermöglichen.

Bindungsmodelle

Grundsätzlich wurde hinsichtlich des Faser-Matrix Systems mit zwei Bindungsmodellen gearbeitet:

1. Linienförmige Verbindung (Faserbindung)

Dieses Modell entspricht dem derzeit am häufigsten eingesetzten Verfahren. Die verwendete Polyester-Bico-Faser (eine Schmelzfaser) weist in der Seele einen höheren Schmelzpunkt auf als im Mantel. Die Bindemittelfaser wird im Ofen nur außen geschmolzen und bleibt im Inneren fest. Somit verbindet sich die Schmelzfaser mit den umliegenden Vliesfasern, wird

dann wieder abgekühlt und härtet aus. Die Bindemittelfaser verbindet somit einerseits die Fasern des Vlieses miteinander, andererseits übernimmt sie selbst mechanische Belastungen, da ihre Faserstruktur erhalten bleibt.

2. Punktförmige Verbindung (Pulver)

Eine punktförmige Verbindung entsteht, wenn das Bindemittel in Form eines Pulvers in das Vlies eingebracht wird. Durch Hitze und/oder durch Wasserdampf aktiviert bildet es Knotenpunkte im Fasergewirr, und es entsteht damit eine formstabile, vernetzte Matte.

Darüber hinaus wurde auch mit flüssigen Klebstoffen experimentiert. Details dazu sind im Kapitel 5.2.2 dargestellt.

Mit folgenden Bindemitteln wurden Versuche durchgeführt:

- Native Stärke (verschiedene Typen, trocken und gelöst)
- Quellstärke (verschiedene Typen, trocken und gelöst)
- Modifizierte Stärke
- Dextrin (verschiedene Typen, trocken und gelöst)
- Pülpe
- PLA
- PHB

Die optimale Einbringung des jeweiligen Bindemittels hängt einerseits sehr stark von dessen Beschaffenheit ab, andererseits vom angewandten Verarbeitungsverfahren. Die Details zur Einbringung der Bindemittel werden im Kapitel 5 Verfahrensentwicklung beschrieben. PLA-Fasern schnitten in den Tests am besten ab und stellen für die Vliesherstellung überaus viel versprechende Bindemittel dar.

PLA als Bindemittel

Bei Polylactid (PLA) handelt es sich um einen Kunststoff, der aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt wird. Die steigende Verfügbarkeit aufgrund zunehmender industrieller Produktion macht diesen Rohstoff besonders interessant (Vgl. Plackett et al. 2005: 580).

Die Verarbeitung erfolgt wie bei üblichen Massenkunststoffen. Die Schmelztemperatur von PLA liegt unter der Zersetzungstemperatur von Naturfasern, wodurch biologisch abbaubare Faserverbundwerkstoffe hergestellt werden können (Vgl. ebenda, S. 584).

Polylactid ist ein Polyester und basiert auf Milchsäure, welche von verschiedenen Bakterienarten produziert wird. Als Ausgangsrohstoffe dienen stärke- oder zuckerhaltige

Pflanzen und organische Abfälle (Vgl. ebenda, S. 581).

Unterschieden wird zwischen der L-Milchsäure, der in der Natur am häufigsten vorkommenden Form, und der D-Milchsäure (Vgl. Henton et al. 2005: 528).

PLA ist aufgrund seiner Eigenschaften zwischen Polyethylenterephthalat (PET) und Polypropylen (PP) einzuordnen. Es ist ein Polymer mit einem sehr breiten Anwendungsgebiet. Aus PLA können transparente Folien, Fasern oder spritzgegossene Werkstücke und Rohlinge hergestellt werden (Vgl. ebenda).

PLA mit einem hohen Molekulargewicht hemmt Bakterien- und Pilzwachstum, weshalb es als Nahrungsmittelverpackung gut geeignet ist (Vgl. ebenda, S. 555).



Abbildung 7: Polylactid-Fasern

Biologische Abbaubarkeit

Polylactid wird unter hoher Feuchtigkeit und hoher Temperatur abgebaut. Solche Bedingungen findet man z.B. in Kompostieranlagen oder Biogasanlagen vor. Der Abbau erfolgt dabei in zwei Schritten: Zunächst wird das hochmolekulare PLA durch Hydrolyse zu niedermolekularem PLA abgebaut, danach werden die Fragmente von Bakterien zersetzt (Vgl. Henton et al. 2005: 555).

Unter den typischen Gebrauchsbedingungen bleibt PLA stabil und behält seine physikalischen Eigenschaften und sein Molekulargewicht bei (Vgl. Henton et al. 2005: 555).

4.2.1 Rezepturen für den Fasermix

Entwicklungsziel für das Faservlies war es, bei möglichst hohem Anteil an Strohfasern und bei möglichst geringen Anteilen an Bindemitteln ein Eigenschaftsprofil für das Vlies zu erzielen, das es für die Weiterverarbeitung in den beiden Entwicklungslinien „Wandpaneel“ und „Formteil“ geeignet macht. Neben dem Anteil des Klebers sollten auch die Anteile der teureren und weniger leicht verfügbaren Rohstoffe wie Hanf- und Flachsfasern möglichst gering gehalten werden. Die optimalen Rezepturen für den Fasermix wurden durch experimentelle Testreihen und Analysen ermittelt.

5 Verfahrensentwicklung (Vliesprozess)

Bei der Verfahrensentwicklung ging es darum, optimale Prozessparameter für den Vlieslegeprozess zu ermitteln. Dabei sollte eine homogene Vlieszusammensetzung mit definierten anteiligen Zusammensetzungen der Faserfraktionen und des Bindemittels erzielt werden. Eine besondere Herausforderung war dabei die gleichmäßige Aufbringung des Bindemittels, da dies entscheidende Auswirkungen auf die Eigenschaften des Faservlieses hat.

Für pulverförmige bzw. faserförmige Bindemittel wurden unterschiedliche Technologien zum Einsatz gebracht. Mit den ausgewählten Bindemitteln und Fasern wurden Versuche durchgeführt und verschiedene Techniken zum Einbringen und Aktivieren des Bindemittels in die Faserstruktur getestet. Die optimalen Prozessparameter wurden in Zusammenarbeit mit dem Vliesmaschinenhersteller Dr. Otto Angleitner (DOA) im Projektteam ermittelt. Ziel dieser Entwicklungen war die Herstellung von Vliesen geeigneter Qualität für die Prototypenentwicklung. Dies bedeutet insbesondere entsprechende mechanische Festigkeit, Dichte und Oberflächenbeschaffenheit des Vlieses für den Anwendungsbereich Zwischenwand und entsprechende Flexibilität und Formstabilität für den Anwendungsbereich Verpackungsformteil.

Mittels des aerodynamischen Prinzips wurden Vliese mit Wirrlage der Fasern erzeugt. Der Faserflor wurde anschließend in einem Thermobonding Ofen verdichtet und der eingesetzte Klebstoff unter Temperatureinwirkung und je nach Type unter Zusatz von Wasserdampf aktiviert. Einerseits wurden Schmelzklebstoffe wie PLA und PHB verwendet, und andererseits wurden auch Versuche mit Leimen wie Stärken und Dextrinen durchgeführt. PLA lag in Faserform vor und war daher relativ einfach in den Vlieslegeprozess integrierbar, wohingegen die Stärke- und Dextrinprodukte pulver- bis flockenförmig zur Verfügung standen und es daher wesentlich schwieriger war, die Bindemittel gleichmäßig verteilt einzubringen. Insgesamt erwiesen sich die pulverförmigen Klebstoffe für die Vlieslegetechnologie als wenig geeignet, da ein erheblicher Anteil des Bindemittels mit dem Transportluftstrom wieder ausgetragen wurde. Der Anteil des im Vlies verbleibenden Bindemittels war schwer zu kontrollieren und der Verlust relativ hoch. Zur gleichmäßigen Einbringung der pulverförmigen Bindemittel musste auf andere Verfahren ausgewichen werden, die die Komplexität des Verfahrens bei der Herstellung des NFC erhöhten.

Im Technikum der Firma DOA wurden verschiedene Fasermischungen in Kombination mit unterschiedlichen Bindemitteln zu Vliesen verarbeitet. Wie oben erwähnt wurden dabei Stärke, Pülpe, Dextrine, PHB und PLA als Bindemittel eingesetzt.



Abbildung 8: Vliesproduktion

Der Vlieslegeprozess erfolgt grundsätzlich in 5 Phasen:

Die in Ballenform angelieferten Rohstoffe werden geöffnet und gelockert. Anschließend werden die Rohstoffe gewogen und in festgelegten Mischungsverhältnissen mittels Luftstrom in einen Speisebehälter transportiert. Von diesem wird das Fasergemisch auf den Einzug abgelegt und zum Vliesbildner gebracht. Mittels dieses Verfahrens wird ein sehr lockerer und homogener Faserflor hergestellt, der in einem nachfolgenden Prozess vernadelt und/oder mittels einer beheizten kontinuierlichen Doppelbandpresse verdichtet wird.



Abbildung 9: Vliesherstellung

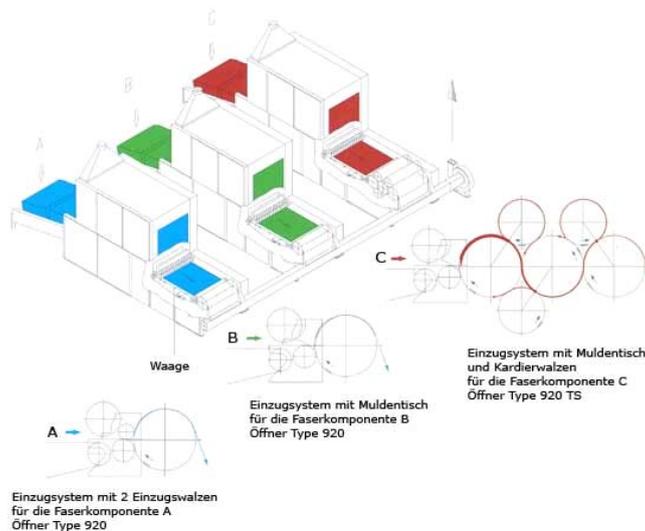


Abbildung 10: Einzugsystem, DOA

Die Verdichtung des Faservlieses erfolgte bei den in diesem Projekt hergestellten Mustern

mittels einer beheizten Doppelbandpresse. Dieses Verfahren wird auch als Thermobonding bezeichnet. Der Anfangs sehr lockere Faserflor wird mittels Siebbändern komprimiert und anschließend durch Durchströmung mit heißer Luft auf die gewünschte Temperatur gebracht (Schmelztemperatur des Bindemittels). Die Kompression des Faserflors ist variabel und beeinflusst die Verarbeitungsgeschwindigkeit. Mit zunehmender Dichte muss langsamer „gefahren“ werden.

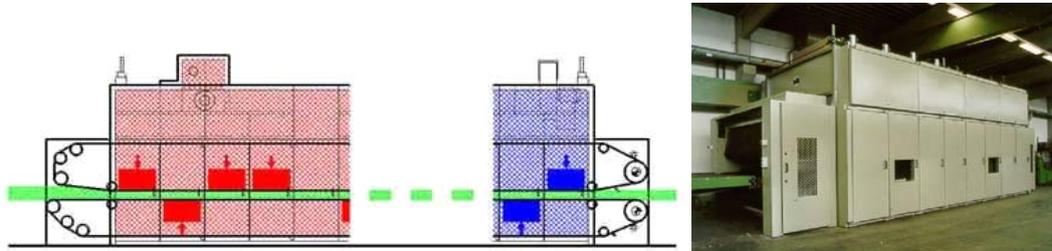


Abbildung 11: Thermobonding Ofen, DOA

5.1 Faserförmige Bindemittel

Für das Vlieslegeverfahren sind faserförmige Bindemittel am besten geeignet, da sie eine homogene Vermischung mit dem Faservlies ermöglichen und vom Luftstrom nicht ausgetragen werden. Das einzige Bindemittel aus nachwachsenden Rohstoffen, das in Faserform zur Verfügung stand, war die PLA-Faser. Die Versuche mit dieser führten zu sehr viel versprechenden Ergebnissen.

Die weiteren Bestandteile des NFC waren Strohspäne, die mittels einer Hammermühle mechanisch aufbereitet waren, sowie Flachsfasern, die entweder aus Abfällen der Leinenherstellung stammten oder von Anbietern technischer Kurzfasern bezogen wurden.

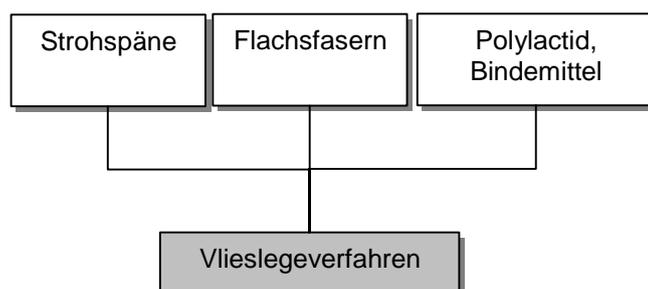


Abbildung 12: Zusammensetzung

Als Ausgangsprodukt für die Herstellung der Prototypen für Zwischenwände und Verpackungsformteile wurden verschiedene Flächengewichte und Rohstoffmischungen hergestellt.

Vliesproduktion

Kritisch in der Verarbeitung sind die Strohspäne, die einerseits möglichst fein verteilt werden sollten und andererseits eine gewisse Länge aufweisen sollten, um in den Speisebehälter transportiert werden zu können. Die Rohstoffe wurden dem Einzugsystem zugeführt, gelockert und anschließend in den Speiser transportiert. Dort erfolgten das Vermischen der Komponenten und die Übergabe an den Einzug. Der Vliesbildner stellt aus den einzelnen Rohstoffen diagonal geschichtet den Faserflor her (Abbildung 13).



Abbildung 13: Vlies vor dem Thermobonding

Durch die höhere Dichte und geringere Feinheit der Strohspäne kam es zu einer ungleichen vertikalen Schichtung der einzelnen Bestandteile. Die schwereren Strohspäne wanderten in den unteren Bereich des Vlieses, während sich sowohl PLA-Fasern als auch die Flachfasern homogen verteilten.

Dies ist auch deutlich ersichtlich nach der Komprimierung des Vlieses im Thermobonding Ofen. Hier wurde mittels Luftstrom das Vlies auf ca. 145°C erwärmt, um ein Schmelzen der Thermoplaste zu erreichen, anschließend wurde es verdichtet. Nach dem Thermobonding wurde der höhere Strohanteil an der Unterseite im Vergleich zur Oberseite deutlich sichtbar (siehe Abbildung 14).

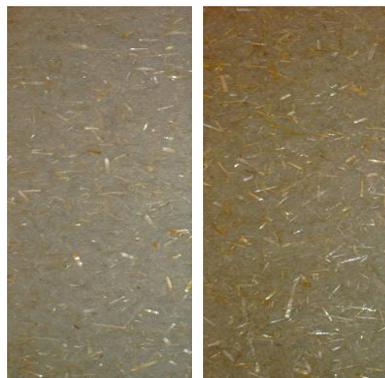


Abbildung 14: Vlies, vor verfestigt im Thermobonding Ofen (links Oberseite, rechts Unterseite)

Dies führte bei der weiteren Verarbeitung zu keinen technischen Komplikationen, aber zu

einer unterschiedlichen Oberflächenoptik. Bei der Verklebung mehrerer Vliese stellte sich heraus, dass die Klebeeigenschaften an der Oberseite aufgrund des höheren PLA Anteils günstiger sind als an der Unterseite.

Thermobonding Ofen

Bei hohen Dichten steigt der Luftwiderstand, und die mittleren Lagen des Vlieses werden nicht optimal erwärmt, wodurch keine ausreichende Verbindung zustande kommt (siehe Abbildung 15).



Abbildung 15: Unzureichende Verklebung

Durch eine Änderung der Verweilzeit im Ofen und höhere Temperaturen konnte jedoch eine optimale Verbindung erzielt werden. Dadurch verringerte sich allerdings auch die Verarbeitungsgeschwindigkeit.

Unter dem Mikroskop (Abbildung 16) sind die Strohspäne, Flachsfasern und die geschmolzene, sehr dünne PLA-Faser erkennbar.



Abbildung 16: Stroh, Leinenkämmlinge, PLA; Vlies nach dem Thermobonding

Faservliese, Eigenschaften

Hergestellt wurden Vliese mit Flächengewichten von 500 bis 8000g/m². Als Versuchsmaterial für die Pressformteile wurden Vliese mit 500g/m² und einem höheren PLA Anteil hergestellt. Durch das geringe Flächengewicht können diese in mehreren Lagen verpresst werden,

wodurch sich bei den ersten Formversuchen mehr Variationsmöglichkeiten ergaben. Für die Zwischenwände wurden Vliese mit geringerem Anteil an PLA und höheren Flächengewichten hergestellt, um den Wandaufbau in möglichst wenigen Arbeitsschritten zu fertigen. Durch das Thermobonding wurde eine Dichte von 70 bis maximal 200kg/m³ erreicht. Zur Produktion von höheren Dichten muss das Vlies in einer Heizpresse mit entsprechender Leistung weiter verarbeitet werden.



Abbildung 17: Naturfaservliese

Resultate

Der notwendige Anteil des Bindemittels (die teuerste Komponente des Faser-Compounds) wurde reduziert, eine weitere Optimierung durch Reduktion ist zu untersuchen. Eine gleichmäßige Aufbringung des Bindemittels konnte realisiert werden, wobei die Konzentration der Strohspäne an der Unterseite des Vlieses etwas höher war. Die Herstellung unterschiedlicher Flächengewichte und Zusammensetzungen für Formpressteile sowie für Zwischenwände konnte erzielt werden. Zur Verbesserung der Oberfläche können die Halmknoten des Strohs ausgesiebt werden.

5.2 Pulverförmige Bindemittel und Leime

Die Herstellung eines NFC für Zwischenwände bzw. Verpackungsformteile mit pulverförmigen Bindemitteln wurde sowohl mittels Vlieslegeverfahren als auch mit einem alternativen Verfahren (Mischaggregat) für nasse Beleimung durchgeführt (siehe Abbildung 18). Die dabei erzielten Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt:

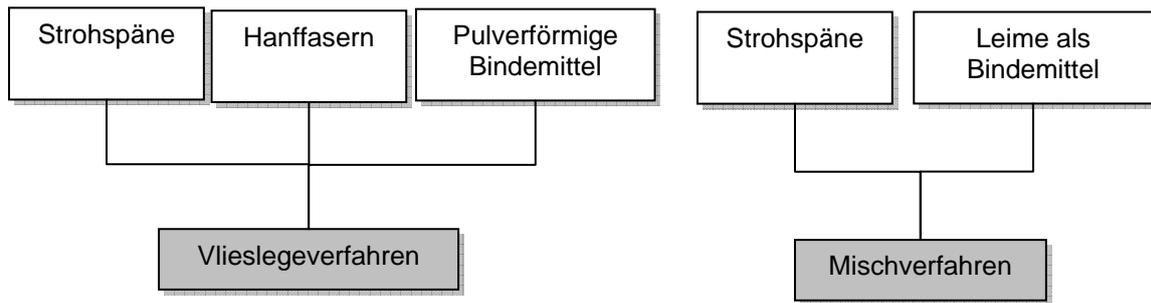


Abbildung 18: Versuche mit stärkebasierten Bindemitteln

5.2.1 Vlieslegeverfahren

Für die Versuche auf der Vliesmaschine wurden aufbereitetes Stroh und Hanf in einem Mischverhältnis von 1:1 (Gewichtsanteile) eingesetzt. Als Bindemittel wurden drei Varianten von Stärke in verschiedenen Dosierungen und PHB als pulverförmiger Biokunststoff verwendet:

- 1) Pülpe
- 2) chemisch modifizierte Stärke
- 3) Quellstärke
- 4) PHB (Polyhydroxybuttersäure)

Der Anteil an Bindemittel wurde zwischen 10% und 30% variiert. Angestrebtes Flächengewicht war 3500 bis 4000g/m². Das so entstandene Vlies wurde für die Prototypenherstellung weiter verdichtet.

Die Versuche mit den Klebstoffvarianten wurden bei verschiedenen Temperaturen von 150°C bis 180°C durchgeführt. Das Vlies wurde dabei teilweise vor dem Ofen mit Wasserdampf beaufschlagt. Die besten Ergebnisse wurden bei allen Klebstoffvarianten auf Stärkebasis mit den höheren Temperaturen und dem bedampften Material erzielt.



Abbildung 19: Proben vor dem Ofen

Bindemittel, Typen

Pülpe

Als Pülpe wird der getrocknete Reststoff bei der Stärkeherstellung bezeichnet. Der ausgewaschene Brei hat in der Trockensubstanz einen Anteil an 60 % Stärke und liegt in Flockenform vor. Da es sich um ein Nebenprodukt der Stärkeherstellung handelt, ist das Material relativ billig. Pülpe lässt sich mit dem Luftstrom gut in das Vlies einbringen, und es entsteht kaum Materialverlust. Die Bindefähigkeit der Pülpe ist jedoch begrenzt, sie erwies sich als nicht ausreichend für die Herstellung eines stabilen Vlieses.



Abbildung 20: Pülpe

Chemisch modifizierte Stärke

Die verwendete chemisch modifizierte Stärke ist sehr rieselfreudig und feinkörnig. Ein großer, kaum messbarer Anteil des feinen Pulvers geht beim Einbringen des Bindemittels in das Fasermaterial über den Luftstrom verloren. Der im Vlies verbliebene Anteil zeigt jedoch gute Bindeeigenschaften. Diese können durch Bedampfen noch beträchtlich erhöht werden. In den Versuchen mit Wasserdampf ergaben sich auch die besten Resultate.



Abbildung 21: Vlies nach dem Vlieslegeprozess mit chem. mod. Stärke; erkennbar am weißen Querschnitt

Quellstärke

Die Quellstärke verhält sich ähnlich wie die chemisch modifizierte Stärke. Sie führt zu großen Materialverlusten, klebt aber auch annähernd so gut wie die chemisch modifizierte Stärke.



Abbildung 22: Dämpfen über kochendem Wasser

PHB Pulver

PHB, Polyhydroxybuttersäure, ist ein fermentativ hergestellter Biokunststoff. Das für die Versuche verwendete Pulver wies eine relativ breite Streuung der Korngröße auf. Die feine Fraktion wurde beinahe vollständig vom Transportluftstrom ausgetragen, die größeren Körner verblieben im Vlies. Es ist daher eine sehr genaue Abstimmung von Luftgeschwindigkeit und Korngröße notwendig, um den Verlust an Bindemittel gering zu halten. Auf jeden Fall ist eine definierte Körnung in einem kleinen Spektrum erforderlich. PHB braucht im Vergleich zu PLA eine deutlich höhere Temperatur zum Schmelzen. Abbildung 23 zeigt die Verteilung der PHB Körner im Faservlies.

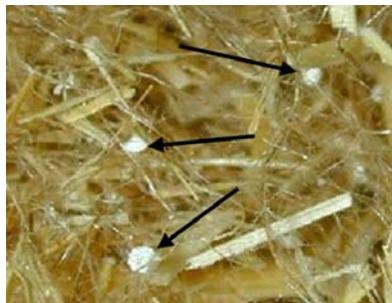


Abbildung 23: Bindemittelverteilung (PHB Körner)

Resultate

Bedampfung ist bei Stärke in jeder Form von Vorteil. Pülpe weist den geringsten Materialverlust auf, aber auch die geringste Klebekraft. PHB erzielt gute Festigkeiten, eine homogene Verteilung im Faservlies ist aber aufgrund der körnigen Struktur schwer zu erzielen. Insgesamt zeigten die pulverförmigen Bindemittel deutlich schlechtere Resultate als das faserförmige. Darüber hinaus wird der Kostenvorteil durch den relativ hohen Verlust an Bindemittel während des Vlieslegeverfahrens wieder kompensiert.



Abbildung 24: Probe nach dem Thermobonding Ofen

Festigkeitsüberprüfungen

Nach dem Thermobonding wurden die Vliese (mit pulverförmigen Bindemitteln) in Heizpressen auf ca. 700kg/m^3 verdichtet, dabei bildeten sich in den Mustern teilweise Luftporen durch expandierenden Wasserdampf während der Entlastung. Dadurch kam es bei einigen Testexemplaren auch zu Schwankungen der Probendicken. Die durchgeführten Festigkeitsüberprüfungen geben dennoch einen grundsätzlichen Überblick über die mechanischen Eigenschaften der so hergestellten Platten. Die Biege- und Zugversuche ergaben ähnliche Festigkeitswerte wie jene von Spanplatten (EGGER EUROSPAN® E1 P4/CTB-S), die als Referenz herangezogen und ebenfalls überprüft wurden. Die Biegefestigkeit lag zwischen $14\text{-}40\text{ N/mm}^2$, der Biege-Elastizitätsmodul bei $1400\text{-}3000\text{ N/mm}^2$. Die Zugfestigkeit betrug $3\text{-}6\text{ N/mm}^2$.



Abbildung 25: Probe bei der Überprüfung auf Zugfestigkeit

Resümee

Die Versuche waren grundsätzlich erfolgreich und zeigten die prinzipielle Machbarkeit der erprobten Herstellungsvarianten. Mit Hilfe der durchgeführten Experimente konnten konkrete Fragestellungen für den Weiterentwicklungsbedarf abgeleitet werden, vor allem hinsichtlich der verwendeten Rohstoffe, der Bindemittelinbringung und der weiteren Verarbeitung nach dem Thermobonding. Die erzielten Festigkeiten der Proben waren ausreichend, durch die Luftporen in ihnen können die erlangten Ergebnisse aber nur als Anhaltspunkte

dienen.

Weiterentwicklungsbedarf/ Optimierungsmöglichkeiten

Einige ausgewählte Aspekte für die weitere Entwicklung dieser Versuchslinie sind:

1. Deutlich größere Anteile an Pülpe einbringen
2. Pülpe mit höherem Stärkeanteil verwenden
3. Quellstärke und chemisch modifizierte Stärke in anderer Form (z.B. Flocken)
4. Lufteinschlüsse beim Verpressen reduzieren
5. Dichte verringern

5.2.2 Aufbringung des Bindemittels (Leim) durch ein Mischaggregat

Als alternatives Herstellungsverfahren zum Vlieslegen wurde eine nasse Beleimung der Strohfasern mit Klebstoffen auf Stärke- und Dextrinbasis im Mischverfahren mit anschließender Heißpressung getestet. Bei diesem Verfahren wurde keine Vlieslegemaschine verwendet, sondern ein Mischaggregat, das die Strohfasern mit dem Bindemittel benetzt. Anschließend wurde das Material auf einer Heizpresse zu Platten verpresst.

Eine weitere Besonderheit bei diesen Versuchen war die Tatsache, dass ausschließlich Strohfasern zum Einsatz kamen, die feine Faserfraktion (Flachs oder Hanf) konnte weggelassen werden, da keine Vliesbildung erforderlich war.

Beim Mischverfahren erfolgt eine Einbringung des Substrates (der Fasern) in einen Mischer, wie in Abbildung 26 dargestellt. Es erfolgt eine Durchmischung des Substrates bei gleichzeitigem Einsprühen des Bindemittels über entsprechende Düsen. Durch Rotation des Mischwerkzeuges entsteht ein Wirbelbett, wodurch das Substrat gleichmäßig benetzt wird. Unterschieden wird bei den einzelnen Mischaggregaten nach der Lage der Achse (vertikal/horizontal) bzw. nach der Geometrie der verwendeten Mischwerkzeuge.

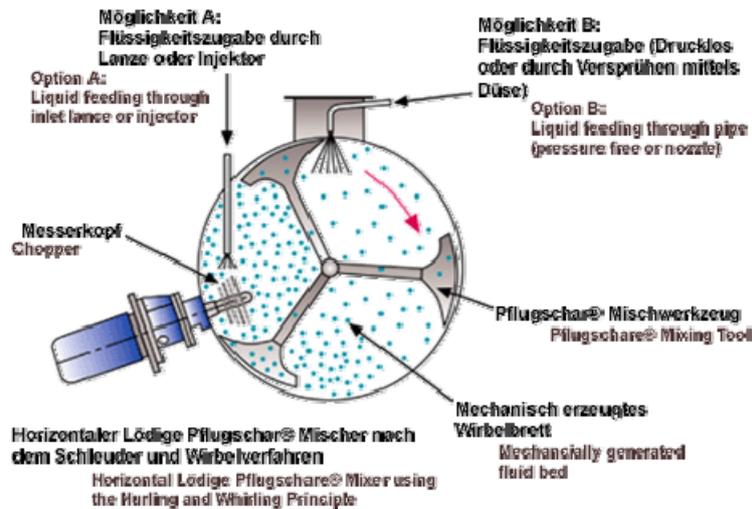


Abbildung 26: Mischer, Fa. Lödige

Für die durchgeführten Versuche wurde ein Einwellen-Wurfschaufelmischer verwendet (siehe Abbildung 27).



Abbildung 27: Einwellen-Wurfschaufelmischer

Vorversuche mit stärkebasierten Bindemitteln

Für die nasse Beleimung wurden Stärke- und Dextrinprodukte der AGRANA Zuckerforschung GmbH eingesetzt und auf ihre Eignung als Klebstoff untersucht. Dabei sollte der beim Vlieslegen aufgetretene Nachteil des Bindemittelaustrags vermieden und ein besserer Aufschluss der Stärkeklebstoffe erzielt werden.

Den mechanischen Versuchen im Mischer gingen händisch durchgeführte Experimente voraus, bei denen die in Wasser gelösten Kleber auf die Strohfasern aufgebracht wurden. Neben den Stärkeprodukten wurden dabei auch Silikate wie Wasserglas eingesetzt. Die Aufbringung des gelösten Klebers erfolgte durch Aufsprühen auf die schichtweise gestreuten Fasern. Anschließend wurden die so benetzten Strohspäne in Formen eingestreut und verdichtet. Bedingt durch die relativ geringen Verdichtungskräfte war die erzielte Festigkeit

niedrig, es kam aber ein Verbund zustande. Klebstoffaufbringung und Verdichtung wurden in den mechanischen Versuchen im Anschluss verfeinert. Im Folgenden sind die Erfahrungen mit den verschiedenen Klebstoffen aus den Vorversuchen zusammengefasst.

Quellstärke

Es entstanden ungelöste Klumpen bei der Mischung mit Wasser, und daher war das Medium schlecht sprühfähig. Die Löslichkeit erhöhte sich durch die Zugabe von erwärmtem Wasser. Die Quellstärke verdickt sehr intensiv bei einer Konzentration von über 8% (Gewichtsprozent) und ist dann nicht mehr sprühfähig. In Abbildung 28 ist Quellstärke in ungelöster Form, in einer Lösung mit 6,8 Gewichtsprozent und einer Lösung mit 10,5 Gewichtsprozent Quellstärke abgebildet.



Abbildung 28: Quellstärke

Bereits bei 10,8% kam es zu einer verstärkten Klumpenbildung bei sehr hoher Viskosität.

Chemisch modifizierte Stärke

Die chemisch modifizierte Stärke ist in Wasser sehr schlecht löslich und sehr zähflüssig. Dadurch kann sie auch nicht in Form eines Sprühnebels aufgetragen werden. In Abbildung 29 ist links die chemisch modifizierte Stärke in ungelöster Form und rechts mit 3,10 Gewichtsprozent abgebildet, wobei schon bei dieser geringen Konzentration die Viskosität sehr hoch war.



Abbildung 29: Chemisch modifizierte Stärke

Dextrin

Das verwendete Dextrin wies die höchste Löslichkeit auf (ca. 10% in Lösung), auch in kaltem Wasser. Die Proben mit Dextrin als Bindemittel erzielten die höchsten Festigkeiten.

Wasserglas

Unverdünnt ist Wasserglas nicht zur Benetzung von Strohfasern geeignet, da kein Sprühnebel entstehen kann. Es werden stattdessen Tropfen gebildet, die zu einer unregelmäßigen Verbindung führen – Verklumpung des Strohs ist die Folge.

Mischversuche im Wurfschaufelmischer

Um abschätzen zu können, ob dieses Verfahren zu Produkten mit ausreichender Festigkeit führt, wurden Versuche auf einer professionellen Mischanlage durchgeführt. Dabei wurden Fasern mit dem Bindemittel benetzt und durchmischt. Anschließend wurden die benetzten Späne in einer hydraulischen Heizpresse verdichtet. Als Bindemittel wurde Dextrin eingesetzt, weil damit bei den durchgeführten Vorversuchen die höchsten Festigkeiten erzielt worden waren. Dextrin ist in hohen Konzentrationen in Wasser lösbar, wodurch die mit dem Leim eingebrachte Wassermenge relativ gering bleibt und damit auch die notwendige Energie zur Trocknung der fertigen Produkte. Die anschließende Verpressung erfolgte auf einer hydraulischen Presse, bei der die Temperatur beider Pressflächen zwischen 150°C und 220°C variiert wurde.

Ziel der Versuche war es, Musterplatten mit einer Dichte von rund 250kg/m³ herzustellen, die Proben hatten die Maße 297x265mm bei einer Dicke von 50mm. Die ersten Versuche zeigten, dass die Dextrinlösung sehr viskos war und somit eine Zerstäubung in der nötigen Feinheit nicht gelang. In der Folge kam es zu einer ungleichen Bindemittelverteilung. Die Pressversuche wurden mit einer Temperatur an den Pressflächen von 150°C begonnen, die Verweilzeit in der Presse betrug 10 Minuten. Währenddessen wurde ständig die Temperatur in der Mittelebene der Platte gemessen, sie erreichte in der Probenmitte nach 10 Minuten 83°C. Die entstandene Platte war nur an den Oberflächen verklebt, die Strohfasern in ihrer Mitte waren noch lose und wiesen kaum Verfestigungen auf. Als Reaktion auf den langsamen Temperaturanstieg und die unzureichende Verklebung in der Probenmitte wurde einerseits die Pressflächentemperatur auf 220°C erhöht, andererseits die Plattendicke auf 25mm verringert. Die Dichte von rund 250kg/m³ wurde beibehalten. Diese Maßnahmen führten nur zu geringen Verbesserungen, vor allem der Kern wies nach wie vor keine ausreichende Festigkeit auf. Die entstandenen Probepplatten konnten mit der bloßen Hand in zwei Teile gebrochen werden (siehe Abbildung 31). Ursache für die unzureichende

Verbindung in der Plattenmitte war das mit der Klebstofflösung zugeführte Wasser, welches während des Pressvorgangs nicht ausreichend entweichen konnte.



Abbildung 30: keine ausreichende Verbindung der Fasern in der Mittelebene

Durch verschiedene Maßnahmen, die eingebrachte Wassermenge so weit wie möglich zu reduzieren, gelang es schließlich, Platten von viel versprechender Qualität herzustellen. Die Verteilung des Dextrins war zwar noch immer unregelmäßig, dennoch konnten bei 25mm Plattenstärke und einer Dichte von 250 bis 450kg/m³ stabile Proben hergestellt werden.



Abbildung 31: Strohplatte, Ansicht 1



Abbildung 32: Strohplatte, Ansicht 2

Für die Entwicklungslinie „Wandpaneel“ und andere flächige Produkte erscheint diese alternative Herstellungstechnik grundsätzlich interessant, insbesondere deshalb, weil wesentlich billigere Ausgangsrohstoffe zum Einsatz kommen können und der Anteil von Strohfasern sehr hoch sein kann. Die technische Entwicklung ist allerdings im Vergleich zur Vlieslegetechnik noch deutlich weniger weit fortgeschritten, und es sind noch viele Fragen ungeklärt. Dennoch konnte gezeigt werden, dass es prinzipiell machbar ist, Platten aus Stroh und Dextrin herzustellen. Die Verteilung des Bindemittels an den Strohfasern funktionierte

grundsätzlich gut, eine völlig homogene Verteilung erfordert allerdings noch weitere Entwicklungen. Die größere Herausforderung wird allerdings im Erweitern auf übliche Plattendimensionen liegen.

5.2.3 Resümee

Mit den ausgewählten Bindemitteln und Fasern wurden im Labormaßstab Versuche durchgeführt und verschiedene Techniken zum Einbringen des Bindemittels in die Faserstruktur experimentell getestet.

Mit dem Vlieslegeverfahren und unter Einsatz von PLA-Fasern wurden die besten Ergebnisse erzielt. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht dabei vor allem darin, dass geringe und hohe Rohdichten gleichermaßen hergestellt werden können, und dass das Vlies als Ausgangsprodukt sowohl für Verpackungsformteile als auch für Zwischenwandelemente geeignet ist.

Mit den auf Stärke basierenden Bindemitteln konnten im Vlieslegeverfahren, bei anschließender Verdichtung, erste Muster erstellt werden, die eine ähnliche Dichte und Festigkeit wie Spanplatten aufweisen. Im Mischverfahren (das als zusätzliche Variante untersucht wurde) verarbeitete Strohspäne ergaben nach ihrer Verpressung leichte und formstabile Platten. Die Grenzen dieses Verfahrens zeigten sich bei steigenden Plattendicken bzw. bei größeren Abmessungen.

Die hergestellten Proben mit dem Vlieslegeverfahren, unter Einsatz von PLA-Fasern als Bindemittel, erwiesen sich als die technisch beste Variante. Daher wurde die Prototypenentwicklung in den beiden Produktlinien mit diesem Material fortgesetzt. Die weiteren entwickelten Werkstoffe sind hinsichtlich ihres technischen Potentials zwar ebenfalls interessant, es besteht jedoch noch weiterer Forschungsbedarf.

6 Prototyp Zwischenwand

Anforderungsprofil Zwischenwand

Laut ÖNORM B 3358-1 werden Zwischenwände als „Innenwände“ bezeichnet, die Räume innerhalb der gleichen Einheit voneinander abtrennen, wie z.B. Büros oder Zimmer in einer Wohnung. Nichttragende Innenwände werden lt. Norm als Wände definiert, die überwiegend durch ihre Eigenlast und geringe Konsollasten beansprucht werden.

Einsatzbereich

Laut Untersuchungen des Projektpartners WK Naturfaser sind Zwischenwände aus dem Naturfaser-Compound (NFC) im Vergleich zu konventionellen Wandkonstruktionen günstiger, insbesondere weil sie schneller und einfacher zu montieren sind. Für diese Wände gibt es im Wesentlichen zwei Einsatzmöglichkeiten, nämlich als modulare Trennwand in Büros oder als stationäre Zwischenwand, die keine Fugen aufweist und bei der vor Ort nur mehr die Oberflächenbehandlung aufgetragen werden muss. Eine Anwendung in der Möbelindustrie wäre zwar mittelfristig auch denkbar, eine Substitution von Spanplatten ist aber sicherlich nicht rentabel, nur Fertigteilelemente sind wirtschaftlich interessant.

Im Folgenden sind die wichtigsten technischen Eigenschaften beschrieben, die im Rahmen der durchgeführten Workshops mit potentiellen Verarbeitern und Anwendern ermittelt wurden:

Schalldämmung

Für eine eingebaute Bürowand muss eine Schalldämmung von mindestens 37 dB vorliegen (für erhöhte „Vertraulichkeit“ bis zu 44 dB). Um diese Werte bei üblichen Wandstärken zu erreichen, ist ein mehrschichtiger Wandaufbau erforderlich. Bei den Tests der Schalldämmwerte entsprechen Laborwerte von 42 dB ca. 37 dB im eingebauten Zustand. Die Art der Oberflächenbehandlung kann die Schalldämmeigenschaften ebenfalls wesentlich beeinflussen, so kann zum Beispiel eine dünne Schicht Lehmputz sowohl als Oberflächenfinish dienen als auch die Schalldämmung verbessern.

Transportgewicht

Auf Grund des erforderlichen manuellen Transportes auf der Baustelle darf ein Wandelement max. 60 kg wiegen (bei einer Dicke von 10 cm und den üblichen Plattenmaßen sind das

maximal 25 kg/ m²).

Brennbarkeit/ Brandwiderstand

Das Brandverhalten der Wände spielt eine ebenso große Rolle wie die Schalldämmung. Je nach dem, wo die Wand eingesetzt werden soll, gibt es unterschiedliche Mindestanforderungen an die Brandwiderstandsklasse. Diese sind in der ÖNORM B 3358 und in den jeweiligen Verordnungen auf Länderebene festgelegt. Für den Bereich Wohnraum werden keine einheitlichen Anforderungen angeführt, für Betriebe in Niederösterreich und Wien nur bei Zwischenwänden, die an Gänge oder Stiegen grenzen. Das Erreichen der Brennbarkeitsklasse „normal brennbar“ wurde für die Prototypenentwicklung als Ziel definiert.

Mechanische Festigkeit und Oberflächenqualität

Hier diene die technische Standardlösung, die Gipskartonwand, als Maßstab. Das Aufhängen von Bildern auf die Zwischenwand sollte sich einfacher gestalten als bei Gipskarton, die erzielbaren Festigkeiten sind vom jeweiligen Oberflächenfinish abhängig. Darüber hinaus beeinflusst die Oberflächenbeschaffenheit der Zwischenwand auch ihre akustischen Eigenschaften.

Um eine glatte Oberfläche zu erzielen, können Stärke, Harz oder Lehmputz aufgebracht bzw. eine textile Oberfläche, z.B. Baumwolle, aufgeklebt werden. Durchführungen (z.B. für Steckdosen) sind bei mobilen Trennwänden nicht üblich, da dadurch die Flexibilität beeinträchtigt würde.

Zusammenfassung der Anforderungen

In Tabelle 2 wurden die Anforderungen an die Zwischenwand zusammengefasst und quantifiziert.

Schalldämmung	Kategorie Bürowand, erhöhte Vertraulichkeit, Schalldämpfung von mindestens 37 dB, optimal sind 44dB
Transportgewicht	Max. 80 kg/m ² bei 10 cm Dicke (800kg/m ³)
Brandwiderstand	Bestimmungen nur bei Bürogebäuden, deren Zwischenwände an Stiegen oder Gänge grenzen
Mechanische Festigkeit und Oberflächenqualität	Hängt vom Oberflächenfinish ab, Lacke, Farben, Stärke, Harz, textile Oberflächen, Beschichtung wie bei Spanplatten (2-3 €/m ²), geringe Nachbearbeitung
Flexibilität	Schneller Um- und Aufbau als Zusatznutzen

Tabelle 2: Zusammenfassung der Anforderungen

6.1 Aufbau und Fertigung

Für die Prototypen einer „nicht-lasttragenden Zwischenwand“ wurde von einem mehrschichtigen Aufbau ausgegangen. Dabei wurden mehrere Vlieslagen übereinander gelegt und anschließend verpresst. Durch den im Vlies enthaltenen Bindemittelanteil, der durch Hitze wieder aktiviert wird, konnten die einzelnen Vlieslagen ohne zusätzliche Verleimung miteinander verbunden werden. Durch Verpressen mehrerer Vliese unter Wärmezufuhr (beheizte Pressflächen) miteinander wird die Thermoplastfaser wieder geschmolzen, und die Randbereiche der einzelnen Vliese verbinden sich nach dem Auskühlen miteinander.

Für einen optimalen Wandaufbau wurde eine Sandwichkonstruktion gewählt, die aus harten Deckschichten und relativ weichen, aber dennoch druckstabilen Mittellagen aufgebaut ist. Dadurch wurde ein „quasi“ mehrschaliger Wandaufbau erzielt mit folgenden Vorteilen:

Die Oberfläche der Module ist hart und widerstandsfähig ausgeführt, während der mittlere Teil eine geringere Dichte aufweist. Daraus resultiert einerseits eine verbesserte Schalldämmung, andererseits kann für den gesamten Aufbau eine geringe Dichte realisiert werden (wichtig für Transport und Einbau der Elemente).

Eine wichtige Aufgabe bei der Prototypenentwicklung war auch die Bestimmung der erforderlichen Presszeiten. Dafür entscheidend ist die Anzahl an miteinander zu verpressenden Vliesen, aber auch deren Dichte. Je geringer die Dichte, desto schlechter ist die Wärmeübertragung, und umso länger dauert der Pressvorgang. Bei den Versuchen wurden die Temperaturen an der Oberfläche und in der Mittellage der Proben mit Temperaturfühlern überwacht. Je nach Vliesanzahl ergaben sich Presszeiten im Schnitt von 5-10 Minuten. Eine deutliche Verkürzung der Presszeiten durch höhere Presstemperaturen und höheren Pressdruck ist sicherlich möglich, jedoch stand bei den Versuchen die Qualität der Muster im Vordergrund. Ein Auszug der verpressten Vliese mit unterschiedlichen Rohdichten ist in Abbildung 33 ersichtlich.



Abbildung 33: Pressversuche Nr. 1-13

Beispiele

Zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Presszeiten und der Temperaturentwicklung wurden zwei Beispiele angeführt.

Bei diesen Versuchen (Abbildung 34) wurden jeweils 2 Vliese miteinander verpresst, H2 druckgeführt, H10 mit Kalibrierleisten von 32mm und H11 mit Kalibrierleisten von 37mm. Auf die Probe H10 wurde 55g/m² und auf H11 68g/m² Wasser aufgebracht. Zu Beginn gewinnen H10 und H11 schneller an Temperatur, jedoch werden sie von H2 eingeholt. Die Dicke der verpressten Vliese betrug bei H2 25mm, bei H10 36mm und bei H11 39mm.

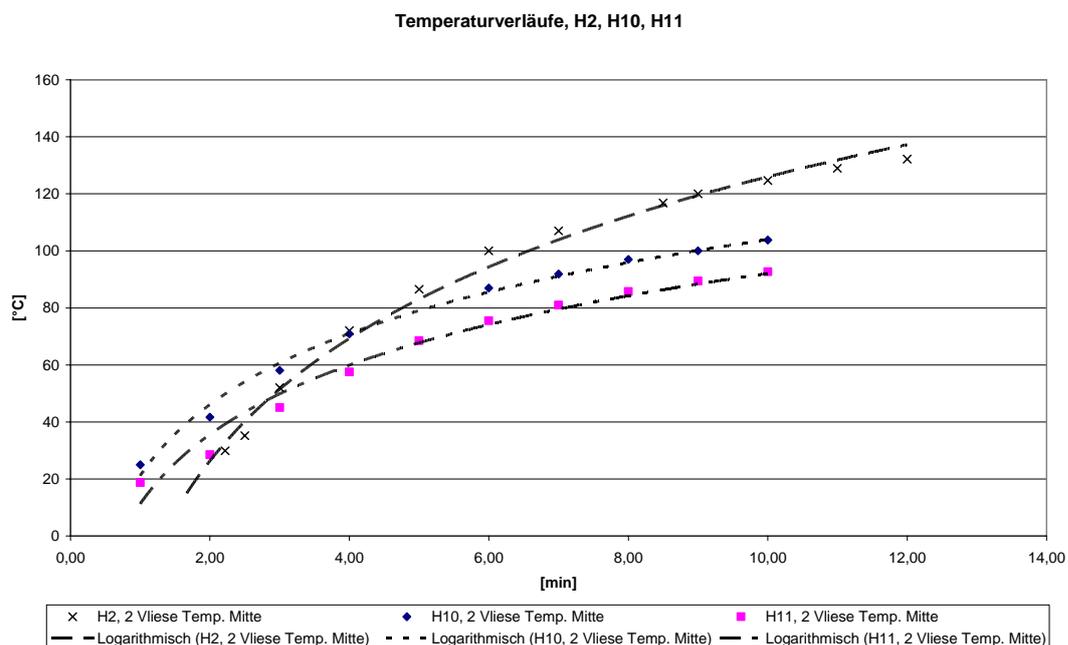


Abbildung 34: Temperaturverläufe H2, H10, H11

Die nächste Abbildung zeigt die Ergebnisse der Versuche H3 und H4. Dabei wurden jeweils 6 Vliese miteinander verklebt. Bei H3 wurde eine Presszeit von rund 43min druckgeführt (7,5 kg/cm²) gewählt, H4 wurde rund 108 min mit Kalibrierleisten (72mm) verpresst. Die Temperatur wurde in der Mittellage gemessen. Bei H3 wurde nach 34min eine Temperatur von 100°C erreicht, während bei H4 diese Temperatur erst nach 48min erhalten wurde. Die Dicke der Vliese nach dem Verpressen betrug bei H3 rund 56mm (spez. Dichte 408kg/m³) und bei H4 80mm (spez. Dichte 312,5kg/m³). H3 (siehe Abbildung 35, Abbildung 36) wies eine sehr gute und homogene Verbindung der einzelnen Vliese auf, wohingegen bei H4 die Vliese mit der Hand voneinander lösbar waren.

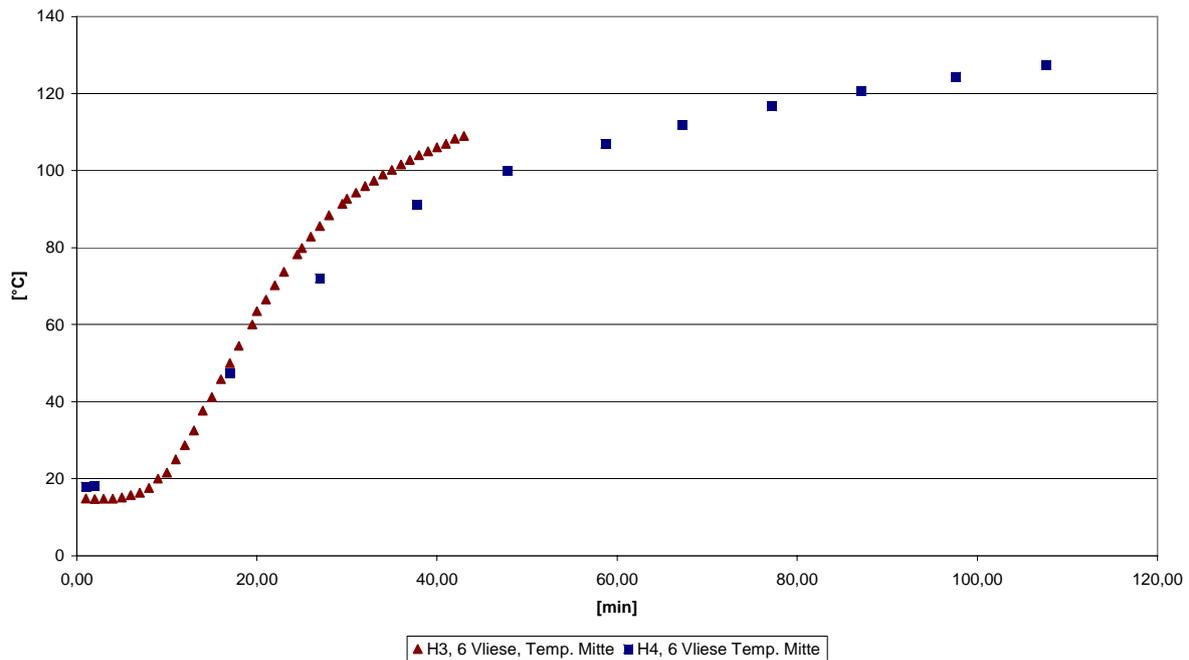


Abbildung 35: Temperaturentwicklung in den Vliesen, H3 und H4



Abbildung 36: Probe H3 vor und nach dem Verpressen

Es wurde festgestellt, dass die Vliesqualität und Homogenität verbessert werden müssen, da die Vliese unterschiedlich verdichtete Zonen aufwiesen bzw. an manchen Stellen zu wenig Rohstoff vorhanden war. Weiters ist zu untersuchen, ob die Strohablagerung an der Unterseite durch längere Strohspläne vermieden werden kann.

Überdies gab es Nester, in denen weniger Klebstoff vorhanden war, was nach dem Verpressen zu punktuellen Wölbungen an der Oberfläche führte. Diese sollten durch homogenen Klebstoffeintrag bzw. durch höhere Temperaturen vermieden werden.

Verbesserungsmöglichkeiten beim Pressvorgang

Als vorteilhaft erwies sich das Aufsprühen von Wasser, wodurch die Temperatur im Inneren der Matte wesentlich schneller steigen und in der Folge die Presszeit verringert werden

konnte.

Weiters war zu beobachten, dass die Temperatur im Inneren der Matte umso schneller steigt, je höher die Verdichtung ist, dies ist auf die bessere Wärmeleitfähigkeit bei höherer Dichte zurückzuführen.

Die Presszeiten können durch Erhöhen der Presstemperaturen noch deutlich reduziert werden.

Während die bisherigen Ausführungen die Herstellung von Vliesen gleicher Dichte beschreiben, wird im Folgenden auf den Sandwichaufbau mit Schichten unterschiedlicher Dichte eingegangen.

6.1.1 Herstellung von Wandmustern

Bei der Herstellung von Wandmustern wurden Module von 100mm Gesamtdicke gefertigt, das entspricht den üblichen Dimensionen von Zwischenwänden. Bei einem Auftragen von Lehmputz kann je nach Schichtdicke die Wandstärke entsprechend herabgesetzt werden.

Nut und Feder können bei einem mehrschichtigen Aufbau relativ einfach durch Versetzen der Deckschichten realisiert werden.

Die Verbindung mehrerer Vlieslagen unterschiedlicher Dichte erfolgte durch Heiß- und Kaltpressverfahren. Das Aufbringen des Leims zwischen den einzelnen Schichten ist durch Sprühtechnik vorzunehmen, um eine gleichmäßige Verteilung zu erzielen. Die folgenden Abbildungen zeigen den Wandaufbau aus harten Deckschichten und weicherer Mittellagen:

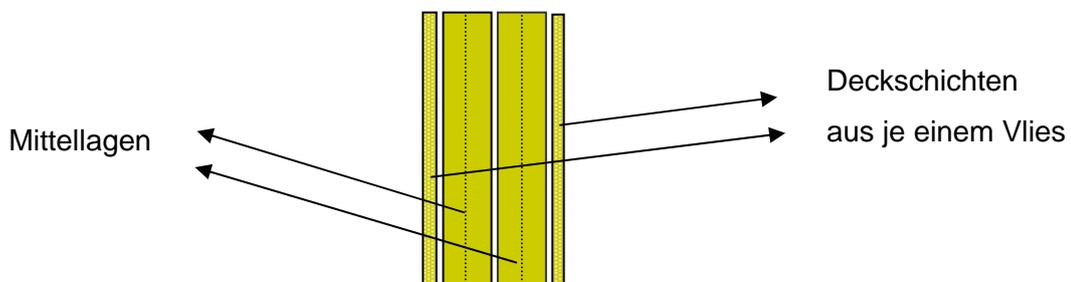


Abbildung 37: Wandaufbau



Abbildung 38: Musterwände

Durch den mehrschichtigen Aufbau der Wände wurde einerseits eine harte und stabile Außenseite erzielt, andererseits eine leichte Mittelschicht. Dadurch ist die Stabilität gewährleistet, trotzdem bleibt das Gesamtgewicht unter 250kg/m^3 bzw. 25kg/m^2 bei einer Wandstärke von 100mm. Die unterschiedliche Dichte der Schichten wirkt sich auch vorteilhaft auf die Schallschutzeigenschaften aus.

Die weitere Verarbeitung erfolgte durch die Firma Alois Scheicher GmbH, die die Wandmuster zu einsatzfähigen Trennwänden adaptierte. Der Kantenschutz wurde durch angeleimte Holzleisten realisiert (siehe Abbildung 39).



Abbildung 39: Kantenschutz

Zur Überprüfung der Dauergebrauchseigenschaften wurden in einer bestehenden Zwischenwand (im S-House) einzelne Wandelemente durch die Prototypen ersetzt (siehe Abbildung 40).



Abbildung 40: Eingebaute Wand

Durch das modulare Trennwandsystem (Patent Alois Scheicher GmbH) sind die Module der Zwischenwände mit wenigen Handgriffen ein- und umbaubar und ermöglichen so eine flexible Raumaufteilung. Durch das geringe spezifische Gewicht und die monolithische Bauweise können die neu entwickelten Module besonders einfach gehandhabt werden.

6.1.2 Oberflächenbehandlung

Bei den in Frage kommenden Oberflächenbehandlungsmethoden gibt es kaum Einschränkungen, sie sind in erster Linie eine Frage der gestalterischen Anforderungen. Es wurden verschiedene Möglichkeiten realisiert, Verputze mit verschiedenen Auftragsstärken und Optik ebenso wie Kaschierungen, die bereits bei der Verpressung aufgetragen werden können.

Prinzipiell stehen folgende Möglichkeiten der Oberflächenbehandlung zur Auswahl:

1. Unbehandelt, mit zunehmender Verdichtung der Außenseiten nimmt die Qualität der Oberfläche zu, die Proben haben hinsichtlich des Brandverhaltens die Anforderungen auch unbehandelt erfüllt – siehe Kapitel 8.1
2. Putze, wie z.B. Lehmputz, (Armierung kann zeitgleich beim Verpressen aufgetragen werden)
3. Beschichtungen, Kaschierungen wie Textilien, Furniere, Tapeten (in einem Arbeitsgang)

Putze/Farben

Es wurden mehrere Versuchsreihen durchgeführt, mit verschiedenen Putzen und Putzstärken auf Vliesen unterschiedlicher Dichte. Dabei stellte sich heraus, dass eine geschlossene, steife Oberfläche für die Weiterbehandlung von großer Bedeutung ist. Je besser das Material verdichtet ist, desto geringer ist die Wasseraufnahme, und desto weniger neigt das Material zum Quellen. Bei gering verdichteten Vliesen kann der Auftrag des Putzes nur durch Sprühen erfolgen, da sich beim Rollen bzw. Spachteln die Fasern aufrichten und ein gleichmäßiges Auftragen somit nur sehr schwer möglich ist. Optimal ist eine Vorbehandlung (dünner Auftrag). Prinzipiell besteht auch die Möglichkeit, bereits beim Pressvorgang eine Armierung auf das Vlies aufzubringen, die die weitere Behandlung der Oberfläche erleichtert und die hydrophilen Eigenschaften vermindert. In Abbildung 41 sind die auf Lehm basierenden Behandlungsmöglichkeiten dargestellt.

Auf dem dritten Foto in Abbildung 41 sind Risse in der Oberfläche sichtbar. Diese stammen von punktuellen Belastungen zu Testzwecken. Je besser die Verdichtung des Vlieses ist, desto größer ist auch die Festigkeit der Oberfläche. Die folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse, die mit unterschiedlichen Oberflächenbehandlungsmitteln erzielt wurden.



Abbildung 41: Lehmputz, Sand-Lehmputz, Zellulose-Lehmputz



Abbildung 42: Verbindung Putz – Vlies

Wasserglas wurde auf den Vliesen ebenfalls getestet. Nach dem Verpressen weist dieses Vlies eine harte und goldgelbe Oberfläche auf (siehe Abbildung 52, Seite 60) und erhält gleichzeitig erhöhte Brandbeständigkeit.

Kaschierungen

Neben den Putzen können auch Textilien, Tapeten, Furniere und andere Materialien schon während des Pressvorgangs in einem Arbeitsschritt aufgebracht werden. Dies ist aufgrund des thermoplastischen Bindemittels, der PLA-Faser, möglich. Diese schmilzt beim Pressvorgang in der Heizpresse und verklebt dabei die auf das Vlies aufgelegten Materialien.



Abbildung 43: Furnier vor und nach dem Verpressen

Weitere Oberflächengestaltungsverfahren und –materialien, wie sie in den folgenden Kapiteln für die Verpackungsformteile beschrieben werden (siehe Kapitel 8.2), sind für die Oberfläche von Zwischenwänden ebenfalls anwendbar. Dadurch ergibt sich eine Vielzahl an gestalterischen Möglichkeiten.

Resümee

Die Anforderungen an Oberflächen für Zwischenwände hängen zum Großteil vom Anwender und vom Einsatzgebiet ab, die technisch möglichen Varianten sind sehr vielfältig. Für die Behandlung mit Putzen sind biegesteife Vliese und geschlossene Oberflächen erforderlich, die durch entsprechende Verdichtung und Temperatur in der Heizpresse erzielt werden

können. Neben diesen Verfahren bieten sich auch Kaschierungen des Materials an, die im Kapitel 8.2 näher ausgeführt sind.

7 Prototyp Verpackungsformteil

Anforderungen

Die Überlegungen für den Einsatz als Formteil bauten auf einem ausführlichen internationalen Überblick über ähnliche Entwicklungen und den bereits erzielten Ergebnissen auf. Dies ist deshalb besonders wichtig, weil sich der Verpackungsbereich sehr dynamisch entwickelt und nur bei genauer Kenntnis dieser Entwicklungen eine Erfolg versprechende Nische gefunden werden kann.

Die weitaus überwiegende Anzahl aller Formteile für Verpackungen wird derzeit aus biologisch nicht abbaubaren Rohstoffen hergestellt, Polystyrol und Polyethylen sind zwei der am häufigsten eingesetzten Werkstoffe für diese Zwecke.

Dennoch sind auch Verpackungsformteile aus nachwachsenden Rohstoffen am Markt vertreten, die in verschiedensten Bereichen angewandt werden. Die Palette reicht von Lebensmittelverpackungen (Eierkartons aus Faserguss und Obstverpackungen aus Holzschliff sind etablierte Beispiele) bis zu technischen Verpackungen (z.B. aus Holz). Bei Lebensmitteln werden zunehmend Forschungsprojekte mit biogenen Materialien durchgeführt (vgl. EU-Projekt QLK5-2002-70847: GREENFOAM -100% biodegradable thermo insulating foam packaging for fastfood, ice and drinks).

Die hier angestrebte Herstellung von Formteilen bezieht sich auf den technischen Einsatzbereich (z.B. Verpackungen für Maschinenelemente und Halbzeug), in dem häufig hart geschäumtes Polystyrol (EPS) zum stoßsicheren Transport verwendet wird. Dabei muss die Härte des Materials je nach geforderter Stoßfestigkeit variieren. Entwicklungen aus nachwachsenden Rohstoffen sind hier noch spärlich gesät und werden teilweise von der Firma Retrupor angeboten (siehe Abbildung 44). Die Formteile werden bei Retrupor in einem Nassverfahren hergestellt und bedürfen einer Trocknung, die meist energieintensiv ist, was sich nachteilig für die Konkurrenz zum Polystyrol auswirkt.



Abbildung 44: Retrupor

Ein weiterer Produktionsweg führt über die Herstellung von Granulaten aus

nachwachsenden Rohstoffen, die dann in herkömmlichen Kunststoffverarbeitungsmaschinen zu Formteilen verarbeitet werden (z.B. Treeplast, Stärkeprodukte). Die Verwendung von Holzwolle gemischt mit Papier wurde in einem EU-Projekt untersucht (FAIR-CT98-9570 Environmentally sound shock-absorbing packaging materials, based on wood wool or paper). Das Verpackungszentrum (VPZ) Graz verfolgt bereits seit langer Zeit die Entwicklungen am Verpackungsmarkt und forscht auch an einem alternativen Schaumstoff aus Algen.



Abbildung 45: Alginsulat, VPZ Graz

Eine Alternative dazu ist ein Produkt, welches an der TU Chemnitz untersucht wird. Es handelt sich dabei um Weizenkleie, die mit Baumwollfasern und Wasser gemischt wird (siehe Abbildung 46). Anschließend wird das Material in Formen gepresst, wobei rund 40% des Wassers entfernt werden. Das Material wird anschließend mehrstufig mit Mikrowellen getrocknet. Nach Gebrauch kann eine Kompostierung erfolgen, wobei das Material in 2-3 Wochen abgebaut wird. Das Projekt wurde noch nicht zur Serienreife geführt (www.tinyurl.com/33zjlm, 22.03.2006, 11:15).



Abbildung 46: Weizenkleie, TU Chemnitz

Polystyrol kann in nahezu allen beliebigen Formen hergestellt werden. Weiters bedarf es keiner vorhergehender Arbeitsschritte wie einer Vliesbildung. Das Polystyrol mit ca. 690kg/m^3 wird bei ca. 110°C vorgeschäumt, zwischengelagert und anschließend in Schäumwerkzeugen mittels Wasserdampfstoß erneut expandiert. Nach Wassersprüh- und Vakuumkühlung erfolgt die Entnahme aus der Form, die Dichte der Verpackungsformteile beträgt nun $18\text{-}30\text{kg/m}^3$. Es sind also, abgesehen von der Rohstoffproduktion, keine Trocknungsprozesse notwendig, und die Temperaturen, die zur Expandierung gebraucht werden, betragen unter 110°C . Die technischen Eigenschaften und der geringe Preis haben zu dem breiten Einsatz von geschäumtem Polystyrol im Verpackungsbereich beigetragen. Zunehmende Probleme mit der Entsorgung haben schon vor etlichen Jahren eine Suche

nach Materialalternativen ausgelöst, die in der jüngeren Zeit durch steigende Rohstoffkosten fossiler Kunststoffe zusätzliche Dynamik erfahren hat. Für das entwickelte Naturfaservlies wurden mögliche Einsatzbereiche für die Herstellung von Formteilen untersucht.

Herstellung

Das Vlies zur Herstellung der Verpackungsformteile wurde gemeinsam mit den Vliesen für die Zwischenwände erzeugt. Als Bindemittel wurde ebenfalls PLA-Faser eingesetzt. Durch das geringe Flächengewicht der Vliese (500g/m²) konnten mit der Vlieslegemaschine hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten erreicht werden.

Für das NFC eignen sich sowohl kontinuierliche als auch diskontinuierliche Pressverfahren. Zur Formgebung kann einerseits das Form-, andererseits auch das Fließpressverfahren angewendet werden. Das Formpressverfahren wird erfolgreich zur Herstellung von Innenverkleidungen für Automobile verwendet. Das Fließpressverfahren ist für naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe noch nicht ausgereift. Glasmattenverstärkte Thermoplaste hingegen werden zu rund 95% mittels Fließpressen hergestellt, da durch die Fließvorgänge komplexere Formen möglich sind und nahezu keine Abfälle entstehen. Eine weitere Herstellungsmethode stellt das Umformen mit der Diaphragma-Technologie dar. Als Konkurrenzprodukte für Formteile aus NFC können Produkte angesehen werden, die entweder durch das Fließpressen oder durch das Spritzgussverfahren hergestellt werden. Die Extrusion wird vor allem für die Erzeugung von Profilen genutzt und steht daher mit dem Formpressverfahren kaum in Konkurrenz. Pultrusion und Wickeltechnologie werden nur zur Herstellung von Produkten mit sehr hohen Anforderungen an die Festigkeit verwendet. Pressverfahren und Harzinjektionsverfahren (NMC/RIM/RTM) beruhen auf duroplastischen Matrices und eignen sich daher nicht zur Verarbeitung des NFC.

Möglichkeiten und Grenzen für die Herstellung von naturfaserverstärkten

Formpressteilen

In Anlehnung an die Herstellung von glasfaserverstärkten Verbundwerkstoffen gelten für die Fertigung von naturfaserverstärkten Thermoplasten folgende Einschränkungen: Unterschiedliche Wandstärken bei gleicher Dichte sind nicht möglich. Übliche Wanddicken liegen bei 1,2 bis 2,5mm, und es können nur Tiefen bis max. 150mm geformt werden. Die Radien müssen größer gleich fünf mm sein, und es können keine Hinterschneidungen geformt werden. Die Nachbehandlung des Formteiles kann durch Bohren, Fräsen, Sägen, Stanzen, Schneiden und Wasserstrahlschneiden erfolgen. Als Verbindungstechniken kommen Schrauben, Nieten, Tackern, Schweißen und Kleben in Frage. Eine

Verarbeitungsschwindung (Schrumpfung) durch Erwärmung des Materials um bis zu 0,3% ist möglich. Diese sinkt, je geringer der Anteil an Kunststoff im Faser-Compound ist (Vgl. AVK 1994: 1ff). Generell wird bei naturfaserverstärkten Verbundwerkstoffen eine Dichte von 0,65 bis 0,9g/cm³ angestrebt, bei Aufheizzeiten von 90 Sekunden und Heizplattentemperaturen von rund 190°C. Die beiden letztgenannten Parameter variieren jedoch abhängig vom eingesetzten Kunststoff und von der Vliesdicke.

Stärken und Schwächen der Verarbeitung von Naturfaservliesen mittels Formpressen

Das Formpressen mit naturfaserverstärkten Kunststoffen stellt ein bewährtes Verfahren zur Herstellung großflächiger, leichter und hochwertiger Innenraumbauteile für Automobile dar (Vgl. Karus et. al 2006: 8).

Die Vor- und Nachteile sind in Tabelle 3 angeführt. Für große, flächige Bauteile eignet sich das Formpressverfahren besonders, vor allem wenn zusätzlich eine Kaschierung aufgebracht werden muss. Diese kann ohne ein weiteres Bindemittel mit dem Verbundwerkstoff erhitzt und verpresst werden. Die Verklebung erfolgt durch den Thermoplasten im Verbundwerkstoff. Werden spritzgegossene Produkte kaschiert, so muss dies in einem eigenen Arbeitsgang erfolgen. Bei einer Integration vieler Bauteile in das Werkstück eignet sich das Spritzgießen besser, da komplexere Formen gefertigt werden können (vgl. ebenda).

Vorteile	Nachteile
Leichtbau	Eingeschränkte Formgebung und Design
Günstiges Crashverhalten	ca. 20% Stanzabfälle
Formbeständigkeit	Hohe Produktionskosten bei hoher Bauteilintegration
Kaschierbarkeit	
Preis z.B. bei One-Shot	

Tabelle 3: Vor- und Nachteile des Formpressens; (Vgl. Karus et al. 2006)

Von 2003 bis 2006 stagnierte das Wachstum der Formpressteile aus naturfaserverstärkten Verbundwerkstoffen in der Automobilindustrie. Die zukünftige Entwicklung von Formpressteilen hängt laut Karus et al. (2006: 8) von folgenden Faktoren ab:

- Preisdruck der Automobilindustrie
- Erdöl-, Kunststoff- und Glasfaserpreise

- Weiterentwicklung des Formpressens und von Konkurrenzkonzepten/ -werkstoffen

Naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe und Holzwerkstoffe weisen eine hohe Preisstabilität auf und sind durch den geringen Anteil an Kunststoffen weniger abhängig von den Erdölpreisen.

Formpressen von Verbundwerkstoffen mit thermoplastischer Matrix

Die Verarbeitung des Vliesstoffes zum Pressformteil mittels Formpresstechnologie durchläuft üblicherweise die folgenden Phasen: Das Presswerkzeug wird auf ca. 60 bis 80°C temperiert, der Vliesstoff auf 180 bis 210°C. Dabei kommt es zur Erweichung der Matrix, die Presse wird beschickt und das Material zerstörungsfrei verformt. Die Presszeiten sind sehr kurz, da der Kunststoff an den wesentlich kühleren Presswerkzeugen rasch auskühlt und erstarrt (siehe Abbildung 47. In der Automobilindustrie werden Zykluszeiten von weniger als einer Minute erreicht. (Bergner 2002 : 74)

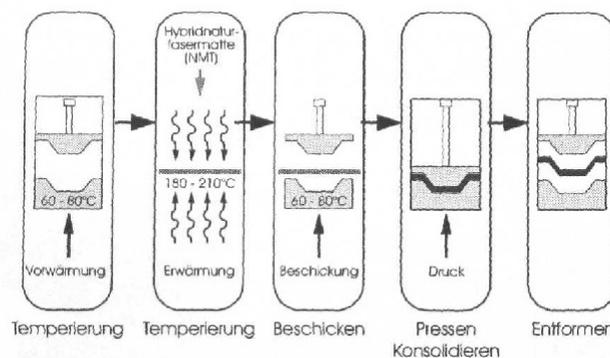


Abbildung 47: Nichtisotherme Presstechnologie, Bergner 2002

7.1 Formpressversuche mit bereits vorhandenen Formen

Verarbeitungsparameter und technische Möglichkeiten für das Formpressen mit dem Naturfaservlies wurden in mehreren Stufen experimentell ermittelt. Ziel der ersten Formpressversuche war es, zu untersuchen, inwiefern das hergestellte Vlies für Formpressungen geeignet ist bzw. welche Radien möglich sind. Weiters sollte ermittelt werden, wie viele Lagen des Vlieses eine ausreichende Festigkeit ergeben. Durch den Bindemittelanteil, der durch Hitze wieder aktiviert wird, sollten die einzelnen Vlieslagen miteinander verbunden werden.

Versuchsergebnisse

Um die Verformbarkeit des Naturfaservlieses zu untersuchen bzw. zu demonstrieren, wurden bei der Firma SFK – Tischler an einer Testform Vorversuche durchgeführt.

SFK-Tischler aus Gmunden stellen schon seit etlichen Jahren naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe mit duroplastischen Matrices für die Produktion von Spielcomputern her. Die schlagzähnen Produkte dienen als Monitorblende. Da das Naturfaser-Compound auf einer thermoplastischen Matrix beruht, mussten die Formversuche entsprechend adaptiert werden.

Die ersten Pressversuche wurden auf einer hydraulischen Presse mit 1000kN Gesamtpressdruck durchgeführt. Die beheizten Pressformen aus Aluminium sind jeweils auf der oberen und unteren Pressfläche fixiert (siehe Abbildung 48).



Abbildung 48: Formpressen SFK Tischler

Da dieses Verfahren für die Verarbeitung von auf Duroplasten basierenden Verbundwerkstoffen optimiert ist (Pressform wird beheizt und härtet darin aus), wurde ein Trennvlies verwendet, um ein Kleben des Thermoplastes an der Pressform zu verhindern. Das Trennvlies wurde nach der Verformung abgezogen, wodurch die Oberfläche der Proben leicht aufgeraut wurde. Die Verformung funktionierte jedoch problemlos. Je nach Anzahl der verwendeten Vlieslagen (Flächengewicht 500g/m²) wurden unterschiedlich hohe Festigkeiten

erzielt. Die Vliese wurden in der Presse auf 180°C erwärmt und dort für 5min. verpresst. Die Vliese passten sich der Form sehr gut an und verfügen über eine hohe Steifigkeit. Auch die einzelnen Vlieslagen verbanden sich sehr gut miteinander.

Die Pressformen hatten einen Durchmesser von 150mm und eine Presstiefe von rund 25mm. Der Winkel der steilsten Kante betrug 65°, der kleinste Radius in etwa 3mm (siehe Abbildung 49).

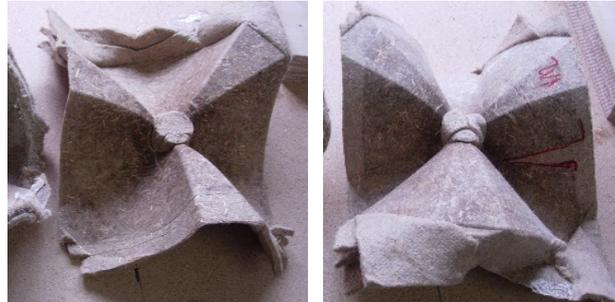


Abbildung 49: Ergebnisse des Formpressens mit der Testform

Die Versuche fielen sehr viel versprechend aus, da sich das Vlies der Form anpasste und keinerlei Schädigungen des Faserverbundes ersichtlich waren. Nach dem Auskühlen wiesen die Proben eine hohe Festigkeit auf. Die Oberfläche war jedoch zu rau. Die besten Ergebnisse wurden mit vier Lagen des Vlieses erzielt.

Auto-Innenverkleidung, Koffer

In der Folge wurden geeignete Partner für weitere Versuche und weitere mögliche Anwendungsfelder gesucht. Für die Musterproduktion wurde mit R+S Technik GmbH kooperiert, einer Firma, die über eine langjährige Erfahrung im Formenbau verfügt.

Mit vorhandenen Pressformen wurden die Verformungseigenschaften des Vlieses für Teile der Auto-Innenverkleidung getestet (Abbildung 50). Das Vlies wurde in einer Kontaktpresse auf Verarbeitungstemperatur gebracht und anschließend der Pressform zugeführt.



Abbildung 50: Auto – Innenverkleidung, Innenseite unbehandelt, Außenseite mit „Soft Touch“
Oberfläche kaschiert

Auch bei diesen Versuchen zeigten sich sehr positive Ergebnisse hinsichtlich der

Formgebungsmöglichkeiten des Naturfaser-Compounds. Die Kaschierung mit einem gepolsterten Textil konnte in einem Arbeitsschritt aufgebracht werden.

In der gleichen Technik wie die Auto-Innenverkleidung wurden auch Kofferschalen für Aktenkoffer gefertigt (Abbildung 51). Hier wurde jedoch keine Kaschierung aufgebracht, sondern eine PLA Folie auf der Außenseite, um die hydrophilen Eigenschaften des Naturfaser-Compounds zu unterbinden. Die Formgebung gestaltete sich auch hier problemlos. Ein höherer Pressdruck war jedoch notwendig. Kofferschalen aus naturfaserverstärkten Kunststoffen zeichnen sich durch geringes Gewicht und eine hohe Zugfestigkeit und Schlagzähigkeit aus. Am Markt befinden sich bereits Instrumentenkoffer aus naturfaserverstärkten Verbundwerkstoffen basierend auf einer Matrix fossilen Ursprungs.



Abbildung 51: Kofferschale aus Naturfaser-Compounds

7.2 Design von Verpackungsformteilen

In Kooperation mit der FH Kuchl, Studiengang Design & Produktmanagement, wurden Verpackungsformteile für das entwickelte Faservlies entworfen.

Die Eigenschaften des Materials, die Herstellung und die Verformbarkeit wurden vorgestellt und demonstriert. Die Aufgabenstellung an die Studenten lautete, Gestaltungsvarianten für eine Verpackungsanwendung zu entwickeln. Die speziellen technischen, optischen und haptischen Eigenschaften des Werkstoffs sollten gezielt zur Geltung gebracht werden.

Als ein mögliches Beispiel wurde eine Verpackung für dehydrierte hochwertige Lebensmittel (Dörrobst, getrocknetes Gemüse) vorgeschlagen. Es wurde den Studenten jedoch freigestellt, für welches Anwendungsgebiet das NFC verwendet werden sollte. Die Verpackung sollte so attraktiv gestaltet werden, dass auch eine längere Lebensdauer, als dies bei Verpackungen üblich ist, in Frage kommt. Bei der Zwischenpräsentation im Rahmen eines Workshops an der Fachhochschule Kuchl wurden die Entwürfe diskutiert und Korrekturen und Anregungen für die Weiterentwicklung eingebracht. Darüber hinaus wurden auf der hauseigenen Heizpresse Versuche durchgeführt und die Verformungseigenschaften demonstriert.



Abbildung 52: Workshops

Entwürfe

Die Entwürfe wurden geordnet und anschließend in vier Gruppen zusammengefasst. Diese teilten sich in

- Carry & Protect
- Falt- und Schachtel
- Formteile
- Hybrid

und werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Carry & Protect

Hier handelt es sich um vorwiegend verpresste oder teilverpresste Vliese, die in erster Linie die verpackten Güter vor Umwelteinflüssen beim Transport schützen sollen.



Abbildung 53: Modelle der Kategorie Carry & Protect

Entwurf	Beschreibung
Thermotasse	Verpackung, die anschließend als thermische Isolierung für Kaffee- oder Teetassen genutzt werden kann (ähnlich den Styroporbechern).
Tragtasche	Einkaufstasche aus teilweise verpresstem und unverpresstem Vlies.
S-HOUSE Warm up	Behälter, der für die Aufnahme von Dörrobst und in weiter Folge für die Aufbewahrung von Kräutern oder Tees genutzt werden kann.
I-Pod/Organizer/Handy Tasche	Taschen, einerseits als Verpackung und in weiterer Folge für diverse elektronische Begleiter.
SEE, Brillenetui	Verpackung, die in einem weiteren Schritt als Brillenetui genutzt werden kann.

Tabelle 4: Carry & Protect

Falt- und Schachtel

Bei den Entwürfen Falt- und Schachtel wurde vorwiegend mit dem bereits verpressten Naturfaservlies gearbeitet, das anschließend durch Falten weiterentwickelt wurde.



Abbildung 54: Modelle der Kategorie Falt- Schachtel

Entwurf	Beschreibung
Dörrobstspender, S-HOUSE	Durch Verschieben einer Bänderole nach unten öffnet sich der Behälter. Durch Zurückschieben wird er wieder geschlossen.
Dörrobstspender, S-BOX	Verpackung, die als Spender funktioniert.
Cubidu	Verpackung aus ineinander verschachtelten quadratischen Halbschalen. Nachdem sie als Verpackung genutzt wurden, dienen sie als Spielzeug oder als Aufbewahrung für z.B. Büroklammern etc.
Behälter fürs Auto/Fahrrad	Behältnis ähnlich den Getränkehaltern, die auf der Autotür zwischen Scheibe und Türverkleidung eingehängt werden.
„Picknick“ Verpackung	Durch einen speziellen Zuschnitt kann die Verpackung problemlos geöffnet und wieder verwendet werden.
Bildhalter	Bildhalter, der als Teil der Verpackung dient.

Tabelle 5: Falt- und Schachtel

Formteile

In dieser Kategorie wurden klassische dreidimensionale Formteile vorgeschlagen, die mit Hilfe einer Pressform in einem Arbeitsschritt hergestellt werden können. Es wurden vor allem Geschenks- und Dekorationsverpackungen entwickelt. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die entsprechenden Modelle.



Abbildung 55: Formteile

Entwurf	Beschreibung
Action - Package	Frisbees zur Aufbewahrung. Zwei Frisbees dienen mit einer Banderole als Verpackung
SCION, Löffel	Löffel, die so geformt sind, dass zwei davon zusammengelegt einen Hohlraum bilden, in dem die zu verpackenden Produkte Platz finden.
Blumentopf	Zwei Gefäße, die ineinander gesteckt werden, dienen als Behältnis für das zu verpackende Gut. Danach kann das Produkt als Blumentopf weiter verwendet und nach der Nutzung kompostiert werden.
Mappe	Mappe mit verschiedenen Ausnehmungen zur Aufnahme von Unterlagen und CDs.
QUARTO, Dörrobstschüssel mit drehbarem Deckel	Schüssel, die einfach bzw. doppelt unterteilt ist. Drehbarer Deckel dient als Verschluss.

Tabelle 6: Formteile

Um die vorgestellten Entwürfe weiter zu evaluieren, wurde im Verpackungszentrum Graz ein Workshop zum Thema Verpackungen aus biologisch abbaubaren Rohstoffen abgehalten. Das Verpackungszentrum Graz vertreibt und entwickelt Verpackungen und hat einen Schwerpunkt im Bereich nachwachsender Rohstoffe. Ziel war es, die Entwürfe der Studenten der Fachhochschule Kuchl mit den Erfahrungen aus der Praxis zu konfrontieren und so entsprechende Anregungen für die weiteren Entwicklungen zu gewinnen.



Abbildung 56: Workshop Verpackungszentrum Graz, FH Kuchl, GrAT

Im Kontrast zu bestehenden Verpackungen wie z.B. hochfesten Netzsäcken aus Naturfasern, Wasser abweisendem Geschirr aus Holzschliff, Verpackungsmaterial aus Algen etc. wurden die Entwürfe kritisch diskutiert und Verbesserungsmöglichkeiten abgeleitet.

7.3 Auswahl und Bewertung von möglichen Anwendungsfeldern für das Naturfaser-Compound (NFC)

Stärken- Schwächen Analyse

Die Eigenschaften des NFC wurden in den vorhergehenden Kapiteln dargestellt. Darauf aufbauend folgt die Stärken- und Schwächen-Analyse des verpressten Materials im Vergleich zu einem am Markt erhältlichen naturfaserverstärkten Verbundwerkstoff mit Polypropylen als Matrix („Nafcoform“, Hersteller Quadrant Plastic Composites, siehe Anhang). Nach Analyse der spezifischen Vorteile gegenüber dem Vergleichsprodukt wurden Kriterien abgeleitet, die zur Bewertung der gesammelten Produktideen dienen. Darüber hinaus wurden auch produktionsspezifische Details, die während der Versuche eruiert wurden, mitberücksichtigt.

In der Folge wurden die Stärken und Schwächen des verpressten Vlieses dargestellt. Dabei wurden technische, wirtschaftliche und ökologische Aspekte berücksichtigt. Die Produkteigenschaften sowie auch die Rohstoffkosten des NFC und von Nafcoform wurden auf Basis teilweise vorhandener und recherchierter Daten analysiert.

Kennwerte / Werkstoff	Nafcoform A1-1600	NFC
Naturfaseranteil	50% Hanf- und Flachsfasern	70% (Flachsfasern & Strohspäne)
Kunststoffmatrix	50% Polypropylen (Thermoplast)	30% PLA (Thermoplast)
Dichte (g/cm ³)	0,85	0,78
Biegefestigkeit (N/mm ²)	28-35	-
Biege-E-Modul (N/mm ²)	2116-2758	-
Zugfestigkeit (N/mm ²)	18-27	19,4-21,1
Zug-E-Modul (N/mm ²)	1482-2170	3021-3218
Schlagzähigkeit (mJ/mm ²)	18-22,9	-

Tabelle 7: Vergleich technischer Kennwerte, NFC und Nafcoform

Stärken	Schwächen
Das NFC ist biologisch abbaubar.	Die Rohstoffkosten des NFC sind um ca. 7% höher (PLA ist teurer als PP).
Strohspäne sind leicht verfügbar und kostengünstiger als Flachs- oder Hanffasern.	Momentan geringe Produktionskapazitäten für PLA im Vergleich zu PP.
Der Primärenergiebedarf ist aufgrund der Verwendung von PLA zur Herstellung insgesamt geringer.	Die Temperaturbeständigkeit des NFC ist geringer als jene von Nafcoform (PLA Dauergebrauchstemperatur beträgt ca. 45°C).
	Die Zugfestigkeit ist gegenüber jener von Nafcoform geringer.
	Rauere Oberfläche durch den geringen Polymeranteil.

Tabelle 8: Stärken und Schwächen des Naturfaser-Compounds

Aufgrund der in den vorhergehenden Kapiteln ermittelten Daten wurden im Folgenden die Stärken und Schwächen des verpressten NFC mit denen von Nafcoform verglichen und in einem Polardiagramm (siehe Abbildung 57) dargestellt. Dafür wurden sowohl quantitative als auch qualitative Kriterien herangezogen.

Die Produktionskapazitäten von PLA sind im Vergleich zu Polypropylen derzeit noch sehr gering. Daher wurde die höhere Verfügbarkeit von Strohspänen in Abbildung 57 nicht dargestellt. Die Dichte ist bei beiden Produkten nahezu gleich. Der Rohstoffpreis von NFC ist etwa um 7% höher.

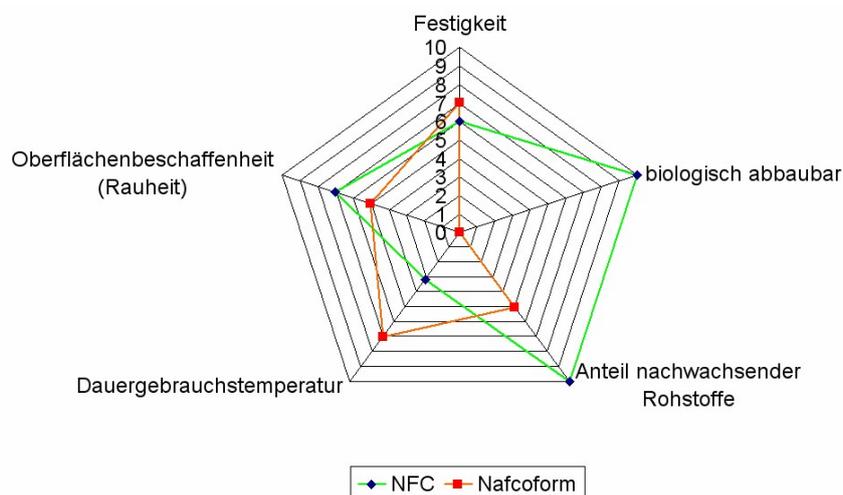


Abbildung 57: Polardiagramm, NFC, Nafcoform

Die Vorteile des NFC liegen im hohen Anteil an nachwachsenden Rohstoffen und in der biologischen Abbaubarkeit. Dadurch kann die Abhängigkeit von fossilen Ressourcen minimiert werden, und eine Kompostierung oder Verwertung in Biogasanlagen kommt als alternative Entsorgungsmöglichkeit in Frage.

Das Kriterium Festigkeit betrifft nur die Zugfestigkeit der Verbundwerkstoffe. Vergleicht man die Werte mit jenen von Nafcoform, so ist diese geringer. Eine vollständige Überprüfung aller Festigkeits-Parameter müsste durchgeführt werden, um diesbezüglich einen eindeutigen Vor- bzw. Nachteil zu eruieren.

Die Dauergebrauchstemperatur von PLA liegt bei 45°C im Vergleich zu Polypropylen mit 110°C. Dadurch ist der Anwendungsbereich des NFC im Vergleich zu Nafcoform deutlich eingeschränkt. In den Versuchen wurde festgestellt, dass die Oberflächenrauheit des NFC deutlich höher ist als jene von Vergleichsprodukten mit 50% Kunststoffanteil.

Produktideen

Bei der Suche nach Produktideen für das NFC wurde auf interne und externe Quellen, sowie auf intuitive Verfahren zurückgegriffen. Auf diese Art wurden aus verschiedenen Quellen Ideen generiert. Dazu zählten Befragungen von Experten, Beobachtung der aktuellen Marktentwicklungen sowie spontane kreative Eingebungen von Teilnehmern bei einem Brainstorming.

Befragung von Experten

Als Experte wurde Hr. Ernst Spengler, Präsident und geschäftsführender Gesellschafter der Fa. R+S Technik GmbH, befragt. Die Firma R+S Technik GmbH stellt Anlagen sowie Pressformen für Innenverkleidungen von Automobilen her. Weiters werden Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten zur Verarbeitung von natur- und glasfaserverstärkten Verbundwerkstoffen angeboten.

Fachhochschule Kuchl, Studiengang Design und Produktmanagement

Die Studenten des Jahrganges 2004/05 dienten im Zuge dieses Projektes als Ideengeber für Produkte aus dem NFC und erstellten erste Modelle. Diese wurden in die Ideensammlung ebenfalls aufgenommen und bewertet.

Brainstorming

Zur Ermittlung neuer Produktideen wurde im Rahmen von Workshops das Brainstorming angewandt. Die Aufgabenstellung war, Produktideen für das ganz- oder teilverpresste NFC zu generieren. Es wurde darauf hingewiesen, dass das Material biologisch abbaubar ist, und zu Beginn wurden zwei Produktmuster (Kofferschale, Automobilinnenverkleidung) aus dem Material kurz vorgestellt. Ziel war es, möglichst viele Ideen, ohne Berücksichtigung einschränkender Parameter, zu dokumentieren.

Vorauswahl der Ideen

Zur Vorauswahl wurde ein Punktebewertungsmodell herangezogen.

Punktebewertungsmodelle ermöglichen durch gleich gewichtete Kriterien eine objektive Bewertung der Varianten und die Nachvollziehbarkeit des Bewertungsprozesses. Auswirkungen, die durch abweichende Wertvorstellungen hervorgerufen werden, können durch Ändern der Bewertungskriterien ermittelt werden.

Bewertungskriterien

Im ersten Arbeitsschritt wurden die Ziele und in weiterer Folge auch jene Kriterien, die zu einem sofortigen Ausscheiden der Produktidee führen, definiert. Diese werden als „Muss“ Kriterien definiert.

- Geringe Anforderungen an die Gebrauchstemperatur (nicht über 45°C)
- Formgebung mittels Formpressverfahren muss möglich sein
- Geringe Komplexität des Produktes
- Langlebigkeit des Produktes

Die „Muss“ Kriterien ergaben sich durch die werkstofflichen Eigenschaften und das Verarbeitungsverfahren. Die wichtigste Anforderung an das Produkt ist eine Gebrauchstemperatur von weniger als 45°C, da ein Überschreiten zum Erweichen des Polylactids führt. Durch das Formpressverfahren sind die Gestaltungsmöglichkeiten eingeschränkt, da keine Hinterschneidungen möglich sind, bzw. auch die Presstiefe limitiert ist. Eine geringe Komplexität des Produktes ermöglicht eine günstigere Fertigung in wenigen Arbeitsschritten. Aufgrund der relativ teuren Rohstoffe ist das Produkt als Einwegverpackung nicht geeignet. Daher scheidet solche Ideen aus, dieses Ziel wurde als „Langlebigkeit“ bezeichnet und angeführt. Als Bewertungskriterium wurde der Grad der Zielerreichung verschiedener Aspekte angeführt:

Ökonomische Aspekte

- Marktvolumen
- Hohe Wertschöpfung

Produkteigenschaften

- Nachweisverfahren
- Biologische Abbaubarkeit
- Wasserresistenz

Verarbeitung

- Eignung zum Formpressen
- Wenige Fertigungsschritte
- Kaschierung

Ästhetik & Design

- Vermittlung hoher Wertigkeit
- Struktur & Optik

Die Zielfindung zur Bewertung der gesammelten und kreierte Ideen wurde einerseits durch das Analysieren der produktspezifischen Eigenschaften ermittelt, andererseits wurden Kriterien herangezogen, welche die Verarbeitung sowie auch die ökonomischen und ästhetischen Aspekte betreffen.

Als ökonomische Zielsetzung wurden ein hohes Marktvolumen und eine hohe Wertschöpfung definiert. Dadurch können sowohl die Marktgröße für das Produkt als auch geeignete Produktideen für das hochpreisige NFC eruiert werden.

Unter dem Kriterium „Nachweisverfahren“ wurde als Zielgröße festgelegt, dass für das Produkt keine aufwändigen Nachweisverfahren hinsichtlich Festigkeit, Lebensmittelrecht etc. durchgeführt werden müssen. Produkte, die biologisch abbaubar sein sollen, sind für die Anwendung des NFC besonders interessant, vor allem da diese Eigenschaft eine der Stärken des Hybridvliesstoffes darstellt.

Ist eine dauerhafte Wasserresistenz für das Produkt nicht notwendig, so stellt dies einen Vorteil dar, da das NFC nicht zusätzlich beschichtet werden muss und damit Kosten eingespart werden können.

Weiters wurden die Produktideen hinsichtlich ihrer Eignung zum Formpressen beurteilt. Wenige Fertigungsschritte und Kaschierung bei der Herstellung der Produkte stellen weitere Zielgrößen dar.

Die prinzipielle Tauglichkeit für das Formpressen wurde bereits bei den „Muss“ Kriterien beurteilt. Hier wurde für die ausgewählten Produktideen der Grad der Eignung (hinsichtlich Komplexität der Form) bewertet, und dadurch wurden jene Ideen bevorzugt, die eine einfache Fertigung ermöglichen. Wenige Fertigungsschritte bei der Verarbeitung des Produktes bewirken eine wirtschaftliche Herstellung. Das Aufbringen einer Kaschierung in einem Arbeitsschritt ist eine Stärke des Formpressverfahrens. Produktideen, für die eine Kaschierung vorteilhaft bzw. notwendig ist, werden durch dieses Kriterium bewertet.

Die letzte Faktorengruppe ist Design & Ästhetik, welche die Kriterien „Vermittlung hoher Wertigkeit“ und „Struktur und Optik“ beinhaltet.

Die Exklusivität eines Produktes kann auf eine hohe Wertigkeit des Materials zurückgeführt werden. Damit geht auch eine höhere Wertschöpfung einher.

Durch das Kriterium „Struktur und Optik“ wird bewertet, inwiefern die Struktur und Optik des NFC für ein Produkt von Vorteil sind. Dadurch kann eine Farbgebung oder Beschichtung entfallen. Da diese Kriterien objektiv nur sehr schwierig zu bewerten sind, wurde diese Faktorengruppe mit nur 10% gewichtet (siehe Tabelle 9).

Gewichtung der Ziele

Zur Steigerung der Transparenz und Objektivität wurden die Ziele mittels einer Präferenz-Matrix priorisiert. Bei der Anwendung dieser Methode muss sich der Anwender wesentlich sorgfältiger mit den einzelnen Aspekten auseinandersetzen. Die gewählten Ziele werden miteinander verglichen, und jene, die am häufigsten ausgewählt werden, erhalten die höchste Gewichtung. Weist eine Gruppe viele Faktoren auf, so kann es dadurch zu einer ungleichen Verteilung kommen. Deshalb werden zuvor die einzelnen Faktorengruppen untereinander gewichtet.

Die Faktorengruppen bestehen in diesem Fall aus ökonomischen Aspekten, Produkteigenschaften, Verarbeitung und Ästhetik & Design. Das Ausgangsszenario mit den gewählten Gewichtungen der Faktorengruppen und den einzelnen Faktoren ist in Tabelle 9 angeführt. Die Summe der vergebenen Punkte beträgt 100. Je nach erreichter Punktezahl der Faktorengruppen werden diese auf die Unterpunkte (je nach Gewichtung) aufgeteilt.

Ökonomische Aspekte	Gewichtung
Ökonomische Aspekte	
Marktvolumen	20,0
Hohe Wertschöpfung	20,0
Produkteigenschaften	
Nachweisverfahren	5,0
Biologische Abbaubarkeit	10,0
Wasserresistenz	5,0
Verarbeitung	
Eignung zum Formpressen	15,0
Wenige Fertigungsschritte	10,5
Kaschierung	4,5
Ästhetik & Design	
Vermittelt hohe Wertigkeit	5,0

Ökonomische Aspekte	Gewichtung
Struktur & Optik	5,0
SUMME	100,0

Tabelle 9: Bewertungskriterien

Ergebnisse

Durch die Vorselektion mittels der „Muss“ Kriterien wurden von insgesamt 82 Vorschlägen zehn ausgewählt. Diese wurden mit Werten von Null bis Zehn, je nachdem wie die Ziele durch die Produktidee abgedeckt werden können, bewertet. Danach wurde die Punktezahl mit dem jeweiligen Gewicht der Kategorie multipliziert und der Gesamtsumme der maximal zu erreichenden Punkte gegenübergestellt. Die Punktevergabe beruht auf Schätzungen und muss vor einer Markteinführung durch eine präzise Analyse des angestrebten Marktes verifiziert werden.

Bewertung der Produktideen

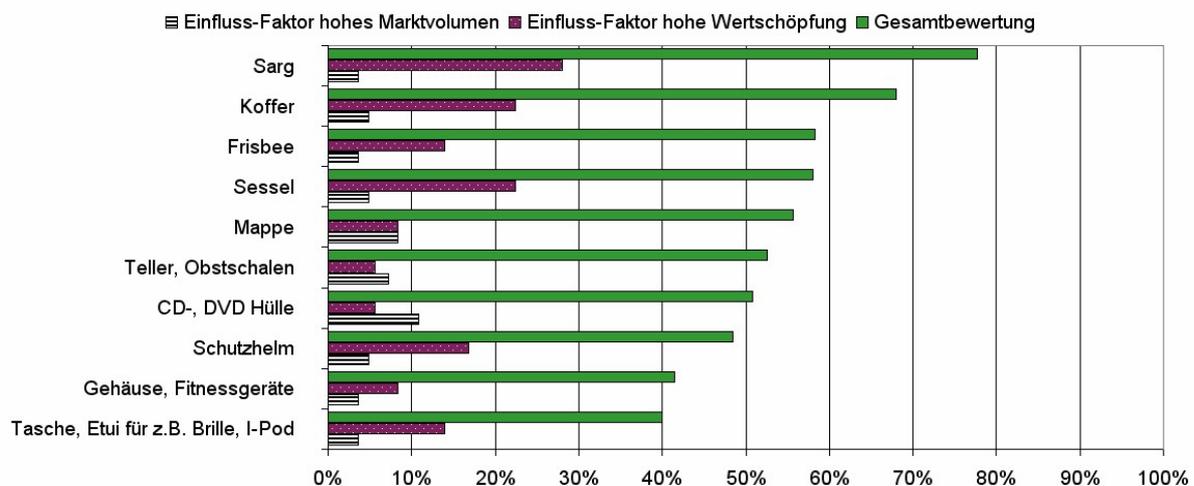


Abbildung 58: Bewertung der Produktideen

In Abbildung 58 sind die zehn ausgewählten Produktideen aufgelistet, gemeinsam mit einer vergleichenden Bewertung. Gleichzeitig wurde auch der Einfluss der ökonomischen Aspekte abgebildet. Die Produktideen Sarg, Koffer und Sessel erzielten die höchsten Bewertungen, sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung der ökonomischen Aspekte. Der Einfluss des Faktors „hohe Wertschöpfung“ ist hier auch am größten.

Es wurde auch eine Sensibilitätsanalyse durchgeführt, um zu untersuchen, wie sich eine Änderung von Gewichtungen, Zielen oder Bewertungen auf die Rangfolge der Produktideen

auswirkt.

Es wurden dazu zwei Varianten erstellt, bei denen die Gewichtung der Faktorengruppen Verarbeitung und Produkteigenschaften erhöht wurde. Die Reihung der 5 Erstplatzierten änderte sich dadurch nur geringfügig.

Durch den Vergleich der unterschiedlich gewichteten Bewertungen ergaben sich drei klare Favoriten, die bei allen Variationen denselben Rang behielten. Dies sind Sarg, Koffer und Frisbee.

Da beim Sarg sowohl eine hohe Wertschöpfung und die Eignung zum Formpressen gegeben sind als auch die biologische Abbaubarkeit von Vorteil ist, eignet sich diese Produktidee anhand der angeführten Kriterien am besten zu einer Umsetzung.

Der Koffer liegt mit 68% der erreichten Punkte im Mittel ca. 10% hinter dem Sarg. Die hohe Eignung zum Formpressen als auch eine hohe Wertschöpfung wurden als Vorteile angeführt. Das Frisbee erreichte im Mittel wiederum ca. 8% weniger Punkte als der Koffer. Es liegt damit im oberen Mittelfeld und ist ein Produkt, das sich mittels des Formpressverfahrens in einem Arbeitsschritt herstellen lässt.

7.4 Musterproduktion

Im Zuge des Projektes wurde für das Frisbee eine Pressform hergestellt. Die Entscheidung fiel auf diese Produktidee, da sich das Produkt einerseits als Werbeträger in Hinblick auf die Dissemination der Projektergebnisse eignet und andererseits die Kosten zur Herstellung einer Pressform so gering wie möglich gehalten werden sollten.

Zunächst wurde eine 3D Darstellung für das Musterprodukt erstellt (siehe Abbildung 59). Die Maße wurden mit 280mm Durchmesser und 20mm Höhe festgelegt. Weiters wurde in der Mitte der Scheibe ein Logo integriert, um auch diese Möglichkeit der Formgebung zu testen. Die Radien wurden größer gleich 3mm ausgeführt.



Abbildung 59: Frisbee, Konstruktionszeichnung

Auf der Grundlage dieser Daten wurde ein zweiteiliges Werkzeug aus Stahl mit Führungsbolzen gefertigt (siehe Abbildung 60). Da Stahl verwendet wurde, konnten in den anschließenden Pressversuchen hohe Pressdrücke aufgebracht werden. Weiters waren eine

gleichmäßigere Produktion und ein breiteres Testspektrum durch die höhere Widerstandsfähigkeit der Pressform möglich. Die Presstiefe an der Form und damit die Wandstärken der hergestellten Muster sind durch Ändern des Abstands an den Führungsbolzen variabel.

Es wurde ein auswechselbares Logo integriert, das beim Öffnen gleichzeitig als Auswerfer dient und damit das Werkstück aus der Form löst.



Abbildung 60: Frisbee, zweiteilige Pressform

Mit dieser Pressform wurden die folgenden Versuche durchgeführt.

Für die herzustellenden Muster wurde eine glatte und Wasser abweisende Oberflächengestaltung gefordert, um Dauerhaftigkeit und Widerstandsfähigkeit zu demonstrieren. Dies wurde durch eine Beschichtung mit PLA Folien gelöst, die die biologische Abbaubarkeit nach wie vor gewährleistet.

Mittels der Pressform wurden Muster hergestellt, und anhand dieser Versuche wurde eine Abschätzung der Verarbeitungseigenschaften, vor allem in Hinblick auf die Zykluszeiten und die Verformbarkeit des Vlieses, durchgeführt. Als weitere wichtige Voraussetzung wurden Möglichkeiten zur Gestaltung des Naturfaservlieses hinsichtlich Farbgebung und Beschichtung mit diversen nachwachsenden Rohstoffen experimentell untersucht.

Um das Material optimal verarbeiten zu können, muss die Matrix, in diesem Fall das PLA, eine Temperatur von rund 180°C erreichen. Dann schmilzt das Material und kann optimal verformt werden.

Ziel der Versuche war es, Frisbees mit einem Gewicht von 165 – 175 Gramm herzustellen, da dies das Normgewicht für Wettkampffrisbees ist. Daher wurde eine Dichte von 0,9 bis 0,96g/cm³ angestrebt. Zur Oberflächengestaltung wurden Textilfarben, nachwachsende Rohstoffe und PLA Folien verwendet.

Durchführung

Die Musterproduktion teilte sich in drei Arbeitsschritte. Das Vlies wurde zunächst in die

Heizpresse eingelegt (bei der Beschichtung mit PLA Folien wurden diese unter oder auf das Vlies gelegt) und mit einer teflonbeschichteten Glasfaserfolie bedeckt, um eine Haftung des im Naturfaservlies enthaltenen Kunststoffes an der Heizpresse zu unterbinden. Anschließend wurde die Heizpresse geschlossen und das Vlies 50-90 Sekunden unter Temperatureinwirkung komprimiert. Nach dem Öffnen der Presse wurde das Vlies aus der Presse entfernt (siehe Abbildung 61) und in die Pressform eingelegt (siehe Abbildung 62). Die Presse wurde geschlossen, während ein neues Vlies bereits in die Heizpresse eingelegt wurde.



Abbildung 61: Entnahme aus der Heizpresse



Abbildung 62: Einlegen in die Formpresse

Die Vliese konnten problemlos verarbeitet werden. Auch ohne PLA Folie konnte eine glatte Oberfläche erzielt werden. In der Heizpresse erfolgte die Verbindung mit dem Dekormaterial, welches bei einigen Mustern aufgelegt wurde, um die Kaschierbarkeit zu testen. In der Formpresse wurde das Formpressteil gleichzeitig verformt und ausgestanzt.



Abbildung 63: Fertiges Muster

Zur Optimierung der Verweilzeit in der Heizpresse wurde die Temperaturentwicklung im Inneren des Vlieses mittels eines Temperaturfühlers gemessen. Es wurden mehrere Wiederholungen durchgeführt. Dabei wurde bereits nach 40 Sekunden eine Temperatur von 175°C erreicht, was für eine weitere Verarbeitung ausreichend ist.

Resümee

Der Vlieslegungsprozess ist für Anwendungen, bei denen hohe Festigkeiten notwendig sind und die große flächige Abmessungen aufweisen, besonders vorteilhaft. Die Taktzeiten liegen je nach Vliesdicke bei 40 bis 50 Sekunden. Eine Oberflächenbehandlung, um die Wasserresistenz des Materials zu verbessern, ist problemlos möglich.

Es konnten ähnlich kurze Taktzeiten erreicht werden wie bei der Herstellung von Innenverkleidungen aus naturfaserverstärkten Thermoplasten für Automobilteile. Damit ist eine wirtschaftliche Fertigung möglich. Das Material ist sehr gut zu verarbeiten. Bei den hergestellten Mustern ergaben sich hohe Festigkeiten, wodurch neue Einsatzbereiche abgeleitet werden können.

Bei ausreichender Festigkeit und gleich bleibenden Eigenschaften wäre eine Substitution der sich am Markt befindenden NF-PP Vliese zur Herstellung von Automobil – Innenverkleidungen möglich. Das Vlies weist im unverdichteten Zustand eine sehr große Oberfläche auf und ist hydrophil. Dadurch kommt es beim Auftragen von Farbe mittels Pinsel oder Rolle zu einem relativ hohen Farbverbrauch. Sparsamer konnte die Farbe durch Sprühen aufgebracht werden. Die Beschichtung des Vlieses durch Folien, Seegras, Blätter und dergleichen wurde überprüft und ist je nach Beschaffenheit des Materials möglich.

7.5 Schlussfolgerung

Das ursprüngliche Ziel, Verpackungen für Industriegüter aus dem NFC herzustellen, ist aufgrund der eingeschränkten Komplexität der Formgebung nur bei einfachen Verpackungsformteilen sinnvoll. Aufgrund der relativ geringen Wertschöpfung für Produkte im Verpackungsbereich scheint es viel versprechender zu sein, höherwertige Formteile für

Gebrauchsgegenstände herzustellen. Die technisch hohe Qualität und Festigkeit der hergestellten Muster erlauben einen Einsatz weit über den Verpackungsbereich hinaus.

Moderne Kunststoffverpackungen werden generell aus sehr dünnen Kunststofffolien hergestellt. Diese haben ein Flächengewicht von bis zu 40g/m². Das geringste Flächengewicht, das bisher mit dem NFC hergestellt wurde, beträgt 500g/m². Dadurch ist ein erheblich höherer Materialaufwand gegeben. Weiters müsste das NFC mit einer Folie beschichtet werden, um hygienische Anforderungen an z.B. Lebensmittelverpackungen zu erfüllen.

Lässt man den zweiten, aufwändigeren Produktionsschritt (Formpressen) beiseite, so ergibt sich allerdings eine Reihe von konkurrenzfähigen Einsatzbereichen für Verpackungen. Das Faservlies eignet sich hervorragend als schützende und gleichzeitig dekorative Verpackung und hat auch aufgrund der einfachen Verarbeitung realistische Chancen, sich am Markt durchzusetzen. Hier kommen die Stoß dämpfenden Eigenschaften, die für Verpackungen von zerbrechlichen Gütern wichtig sind, zur Geltung.

Als Anschauungsbeispiel wurde eine Verpackung für Weinflaschen entworfen und gefertigt (siehe Abbildung 64). Die Rohstoffkosten für dieses Verpackungsbeispiel liegen bei weniger als 0,1 Euro.



Abbildung 64: Flaschenverpackung aus unverpresstem Naturfaservlies

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Verpackungsformteile mit dem Vlies zwar grundsätzlich herstellbar, als Startprodukt jedoch aufgrund geringer Wertschöpfung nicht optimal sind. Darüber hinaus gibt es in diesem Segment zahlreiche Konkurrenzprodukte und -materialien. Mit der gleichen Technologie können weitaus höherwertige Anwendungen realisiert werden, wie die praktischen Versuche und Überprüfungen gezeigt haben. Für höherwertige Formteile spricht neben der erzielbaren Wertschöpfung auch der mögliche Imagegewinn.

8 Funktionstests und Überprüfungen

Zwischenwände

Anhand der Funktionsmuster und der erstellten Prototypen wurden alle wesentlichen technischen Tests durchgeführt. Diese Testergebnisse stellen einerseits eine wichtige Evaluationsmaßnahme für die erzielten Ergebnisse dar, andererseits sind sie Grundlage für die erforderliche Weiterentwicklung in Richtung Pilotproduktion.

Für den Anwendungsbereich Zwischenwandpaneel werden folgende Tests durchgeführt:

- Brandschutztest
- Schallschutztest
- Oberflächenbelastbarkeit / Festigkeit

Für die Brand- und Schallschutztests wurden normgemäße Proben vorbereitet und die Durchführung der Tests bei einer akkreditierten Prüfanstalt in Auftrag gegeben. Die Funktionstests hinsichtlich Oberflächenqualität und Festigkeit wurden an der TU Wien vorgenommen.

Verpackungen

Für den Anwendungsbereich Verpackungsformteile werden folgende Tests durchgeführt:

- Oberflächenbelastbarkeit
- Festigkeitstests / Funktionstests
- Optik, Haptik, Eignung für den gewählten Anwendungsbereich

8.1 Überprüfungen Zwischenwände

Brandverhalten

Aus den gefertigten Sandwichkonstruktionen wurden gemäß ÖNORM EN 13501-1 Proben entnommen und diese anschließend auf ihr Brandverhalten überprüft. Es wurde keinerlei Oberflächenbehandlungsmittel aufgebracht. Die unbehandelten Proben wurden sowohl an der Außenfläche als auch an der Kante beflammt.



Abbildung 65: Beflammter Prüfkörper

Ergebnisse

Laut ÖNORM EN 13501-1 wird das Bauprodukt bezüglich seines Brandverhaltens mit E (normal brennbar) klassifiziert. In der Endanwendung dürfen auch offene Kanten auftreten. Da das Brandverhalten des unbehandelten Bauproduktes untersucht wurde, kann es durch entsprechende Oberflächenbehandlung (z.B. Verputz) weiter verbessert werden.

Schalldämmung

Die Überprüfung der Schalldämmung wurde von der Firma Mueller BBM in einem Fensterprüfstand (siehe Abbildung 66) durchgeführt. Für diese Tests wurden keine Putze auf das Wandelement aufgebracht, die erzielten Werte sind also als Mindestwerte zu verstehen.



Abbildung 66: Wandelement im Prüfstand

Ergebnisse

Das Element mit einer Rohdichte von ca. 298kg/m^3 inklusive der Holzrahmenkonstruktion wurde im Fensterprüfstand überprüft. Das bewertete Schalldämm-Maß RW (C; Ctr) betrug 33 (-2, -6) dB.

Laut den Anforderungen an Zwischenwände für Büros sollten bei Anspruch auf erhöhte

Vertraulichkeit Schalldämmwerte von 42dB erreicht werden. Für normale Bürosituationen reichen 35dB, für Zwischenwände, die in Wohnräumen eingesetzt werden, gelten keine Mindestanforderungen. Es wurde ein Vergleich mit anderen typischen Wandaufbauten für Zwischenwände durchgeführt, um die Größenordnungen zu verdeutlichen.

Produkt	Material -stärke [mm]	Aufbau	Ständer	Schallschutz- wert dB
Karphos, extrudiertes Weizenstroh*	58	Einschalig		32 (R' _w)*
		Zweischalig		42 (R' _w)*
		Zweischalig beplankt mit Gipsfaserplatten		55 (R' _w)*
Rigidur H, Gipsfaserplatte#	12,5	Einlagig beplankt auf Holzunterkonstruktion ohne Hohlraumdämmung	Ständer 40/60	39 (R _{w,R})
		Einlagig beplankt auf Holzunterkonstruktion mit 60mm Mineralwolle Hohlraumdämmung	Ständer 40/60	43 (R _{w,R})
Rigidur H, Gipsfaserplatte#	12,5	Einlagig beplankt auf Metallunterkonstruktion ohne Hohlraumdämmung	Ständer CW 75	44 (R _{w,R})
		Zweilagig beplankt auf Metallunterkonstruktion mit 60mm Mineralwolle Hohlraumdämmung	Ständer CW 75	51 (R _{w,R})
Claytec, Lehmplatte ^x	20-25	Zweilagig beplankt, Lehm Feinputz, 60mm Schalenzwischenraum ohne Dämmung		47 (R _{w,p})
		Zweilagig beplankt, Lehm Feinputz, 60mm Schalenzwischenraum mit Schafwolle		51 (R _{w,p})
Zwischenwand NFC	100	Einschalig ohne Oberflächenbehandlung		33 (R _w)

Tabelle 10: Vergleich der Schallreduktion verschiedener Wandaufbauten;

*www.karphos.de/karphos.htm, 22.03.2006, 09:30; #www.tinyurl.com/2nynlg, 23.03.2006, 09:00;

^xwww.tinyurl.com/yoay8a, 22.03.2006, 12:00

Das Schalldämmmaß der NFC-Zwischenwand liegt zwar am unteren Ende, jedoch muss die geringe Dichte berücksichtigt werden und die Tatsache, dass kein Oberflächenputz aufgetragen wurde. Für Monolithische Elemente mit dieser geringen Rohdichte stellen die

erzielten Werte ein gutes Resultat dar, rechnerisch hätten sie laut Prüfinstitut schlechter abschneiden müssen.

Oberflächenbelastbarkeit / Festigkeitstests

Die Oberflächenbelastbarkeit wurde anhand von Proben untersucht und wird im Dauergebrauch an den Wandmodellen im S-HOUSE überprüft. Die Proben und Oberflächen verhielten sich bei Belastung aufgrund des Faserverbunds flexibel und verfügten über eine gute Rückstellfähigkeit. Es wurden Proben mit einer dünnen Schicht Lehmputz überprüft. (siehe Abbildung 67).



Abbildung 67: Wand-Außenschicht auf Druck belastet

8.1.1 Weiterentwicklungsbedarf zur Serienreife

Wie die Prototypen zeigen, konnte eine funktionierende nicht-lasttragende Zwischenwand realisiert werden. Die Herstellung wurde prinzipiell demonstriert, jedoch sind auf dem Weg zur Serienreife folgende Punkte zu optimieren:

Mehrschichtiger Aufbau

Der Herstellungsaufwand für den mehrschichtigen Aufbau ist noch zu hoch. Hier muss untersucht werden, welche Vereinfachungen den Herstellungsablauf effizienter machen können. Ein weiterer begrenzender Faktor ist die Verringerung der Arbeitsgeschwindigkeit bei zunehmender Verdichtung im Thermobonding Ofen. Eine hohe Vlieslegegeschwindigkeit bei nachträglicher Verdichtung wird als effizienter eingestuft.

Maßhaltigkeit

Die Maßhaltigkeit der Dicke des Gesamtaufbaues ist weiter zu verbessern, dabei sind die folgenden Parameter zu optimieren: einerseits die Vliesbildung und die gleichmäßige Einbringung der Rohstoffe und andererseits der Verdichtungsprozess. Hier ist vor allem eine nachgelagerte Kühlpresse notwendig, um eine gleichmäßige Dicke der Module zu gewährleisten.

Kantenschutz

Wird der Einbau der Wand so gehandhabt, dass die Kanten exponiert sind, so sind sie vor Stößen zu schützen. Dies wurde durch angeleimte Holzleisten gelöst.

Optimierung der Presszeiten

Die Presszeiten für die Plattenwerkstoffe müssen weiter optimiert werden. Bei Flächengewichten von 2500g/m² reichten bereits 40 sek. aus, um das Naturfaser-Compound auf die Verarbeitungstemperatur zu bringen. Die richtige Wahl der Presszeiten und der Stärke der zu verdichtenden Vliese, bei gleichzeitiger Optimierung der Schichtenanzahl des Wandaufbaus, ist weiter zu untersuchen.

Erhöhen der Schalldämmung

Die Schalldämmung des Elements liegt unter den Werten der Vergleichsprodukte. Dies gleicht sich durch den wesentlich einfacheren Einbau und die Möglichkeit des Umbaus (einschalige Bauweise und geringe Dichte) aus. Trotzdem sollte weiter an der Optimierung der Schalldämmung gearbeitet werden. Ein großes Potential liegt dabei in der Aufbringung harter Deckschichten wie zum Beispiel Lehmputze.

8.2 Überprüfungen Verpackungsformteile

Festigkeitstests

Zugfestigkeit

Die Bestimmung der Zugfestigkeit des verpressten Vlieses wurde gemäß DIN EN ISO 527-4 (Prüfbedingungen für isotrop und anisotrop faserverstärkte Kunststoffverbundwerkstoffe) durchgeführt. Die Probenkörper wurden aus einem mit PLA Fasern verstärkten Vlies mit 500g/m² entnommen.

Es wurden Vliese mit unterschiedlicher Verdichtung untersucht. Variiert wurde einerseits die Temperatur der Pressflächen, andererseits das Sollmaß, welches durch druck- und abstandgeführte Verpressung erreicht wurde. Ein Auszug der Ergebnisse ist in den folgenden zwei Tabellen und in der Grafik dargestellt.

Probe	Sollmaß	Druck max	Haltezeit	Temperatur	
	[mm]	[bar]	SS	OH	UH
V 10	0,5	60	30	25	150
V 11	0	100	30	25	150
V 13	1	75	30	25	150
2	0	200	60	150	150

Tabelle 11: Vliese, Verarbeitungsfaktoren

Mit höherer Verdichtung der Naturfaservliese steigt sowohl die Zugfestigkeit als auch der E-Modul.

Probe	E-Modul	Rm (MPa)	F max (N)	ε-Fmax (%)
V13				
x±σ	1232 ± 51	12,2 ± 1,1	274,7 ± 23	2,1 ± 0,4
x±σ	934 ± 112	10,1 ± 1,2	215,3 ± 20	2,4 ± 0,2
V11				
x±σ	1782 ± 203	14,8 ± 2,1	237,3 ± 27	1,7 ± 0,1
x±σ	2470 ± 51	19,1 ± 2,4	281 ± 54	2,1 ± 0,4
V10				
x±σ	645 ± 48	6,0 ± 0,7	139 ± 17	1,9 ± 0,3
2				
x±σ	3218 ± 247	21,2 ± 1,7	359 ± 29	1,5 ± 0,25
x±σ	3021 ± 292	19,4 ± 0,5	345 ± 9	1,4 ± 0,1

Tabelle 12: Ergebnisse der Überprüfung auf Zugfestigkeit

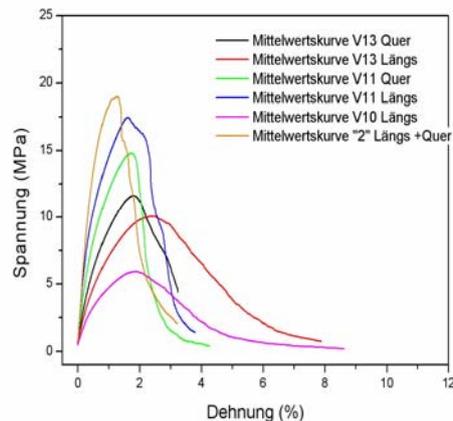


Abbildung 68: Mittelwerte Spannungsverlauf

Das Naturfaservlies Nafcoform A1-1600 der Firma Quadrant Plastic weist bei der Zugfestigkeit Werte von 18-27MPa, bei der Bruchdehnung 1482-2170GPa und bei der Dehnung Werte von 1,86 - 1,91% auf. Vergleicht man damit die erzielten Werte des Naturfaser-Compounds Probe 2, dann liegen diese Werte in etwa in der gleichen Größenordnung.

Funktionstest

Beim Funktionstest wurden die Frisbees auf deren Belastbarkeit geprüft. Einerseits wurden

sie auf Zylindern bzw. bei der letzten Überprüfung auf einer Stahlplatte (siehe Abbildung 69) gelagert. Weiters wurden bei den ersten beiden Versuchen beidseitig folierte und bei den zwei letzten Tests unfolierte Frisbees geprüft. Beim letzten Versuch wurde das Frisbee auf der vorher erwähnten Stahlplatte gelagert. Die Belastungsgeschwindigkeit betrug 5mm/min.



Abbildung 69: Belastungstests

In Abbildung 70 wurden die vier geprüften Frisbees einander gegenübergestellt. Es wurden beschichtete und unbeschichtete Proben geprüft. Die unbehandelten Frisbees wiesen eine höhere Kraftaufnahme auf. Der Minimalwert insgesamt lag bei 870N, der Maximalwert bei 1580N.

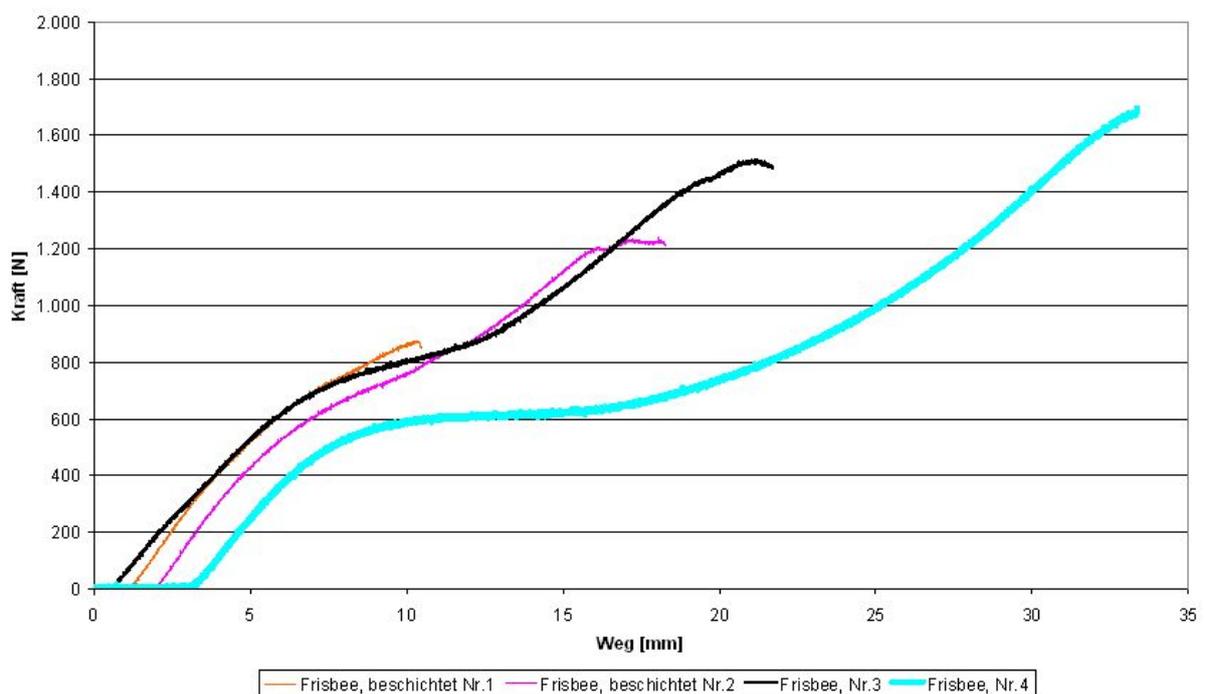


Abbildung 70: Frisbees, Beanspruchung auf Biegung

Optik/Haptik

Zur Gestaltung der Oberfläche können mehrere Möglichkeiten in Betracht gezogen werden. Die stark Wasser saugenden Vliese wurden mittels Textilfarben eingefärbt. Um möglichst

wenig Flüssigkeit auf das Vlies aufzutragen, wurde die Farbe aufgesprüht. Anschließend wurde das Vlies getrocknet. Die Behandlung mit Farbe vor dem Verpressen ohne Trocknung führte zu Problemen bei der Erwärmung des Vlieses in der Heizpresse. In Abbildung 71 ist auf der linken Seite das gefärbte Vlies abgebildet und rechts daneben das daraus gefertigte Formpressteil, welches zusätzlich mit einer PLA Folie beschichtet wurde.



Abbildung 71: eingefärbtes Vlies, Pressformteil



Abbildung 72: verschiedene färbige Proben

Abbildung 72 zeigt drei verschieden eingefärbte Vliese nach der Verarbeitung zu Pressformteilen. Zu Dekorationszwecken wurden die Vliese auch mit verschiedenen nachwachsenden Rohstoffen bestreut (siehe Abbildung 73). Diese wurden anschließend mit einer PLA Folie abgedeckt und verpresst. Durch Hitze und hohen Druck wurden die Materialien miteinander verbunden. Daraus ergaben sich je nach Material und aufgebracht Menge unterschiedliche Gestaltungsvarianten.



Abbildung 73: Aufbringen von Dekormaterial



Abbildung 74: Proben mit unterschiedlichen Kaschierungen

In Abbildung 75 sind Proben mit technischen Textilien als Kaschierung abgebildet. Das Formpressverfahren hat den Vorteil, dass die Kaschierung in einem Arbeitsschritt aufgebracht werden kann.



Abbildung 75: Kaschierungen

Oberflächenbelastbarkeit

Einfache Oberflächenbelastungstests mit den hergestellten Proben zeigten eine grundsätzlich gute Oberflächenqualität. Abhängig ist sie vor allem von der Pressdichte und von der jeweiligen Kaschierung.

8.2.1 Weiterentwicklungsbedarf zur Serienreife

Aufgrund des relativ hohen Flächengewichtes ist das Vlies als Einweg-Verpackung weniger gut geeignet. Das geringste Flächengewicht, das gefertigt wurde, betrug 500g/m², wobei noch eine zusätzliche Ausrüstung (wasserabweisend, lebensmittelecht z.B. PLA Folie) aufgebracht werden muss. Im Vergleich dazu liegen tiefgezogene Kunststoffverpackungen bei einem Flächengewicht von ca. 400g/m². Daher könnten nächste Entwicklungsschritte eine weitere Reduktion des Flächengewichtes zum Ziel haben.

Da die Zugfestigkeiten und die Belastbarkeit des Materials denen von naturfaserverstärkten Verbundwerkstoffen sehr nahe kommen, sollten weitere Untersuchungen folgen, um auch die Machbarkeit zur Herstellung von Automobil-Innenverkleidungen zu eruieren.

Für die Verwendung des nicht verpressten Vlieses als Verpackung ist die Verteilung der

Strohspäne weiter zu optimieren, da diese sich vermehrt an der Unterseite anlagern und bei Belastung teilweise aus dem Faserverbund ausfallen.

9 Dissemination

9.1 Zwischenwand

In Abbildung 76 ist die eingebaute Wand im S-HOUSE ersichtlich. Das S-HOUSE dient als Informations- und Ausstellungsgebäude, in dem laufend Führungen und Veranstaltungen zu nachwachsenden Rohstoffen im Bau- und Gartenbereich durchgeführt werden. Durch die hohe Besucherfrequenz ist eine weitere Verbreitung der Ergebnisse gewährleistet. Dabei können auch die Oberflächen auf deren Haltbarkeit überprüft werden.

Eine weitere Verbreitung der Ergebnisse erfolgt über den Informationsknoten für nachwachsende Rohstoffe (www.nawaro.com).



Abbildung 76: Zwischenwand im S-HOUSE

9.2 Verpackungsformteile

Die Ergebnisse der Prototypen der Verpackungsformteile werden für die Ausstellung im S-House aufbereitet und internationalen Projektpartnern und fachspezifischen Netzwerken als Ergebnisse österreichischer Forschung zur Verfügung gestellt (z.B. dem Design Netzwerk „O2 global Network“). Eine weitere Verbreitung der Ergebnisse erfolgt über den Informationsknoten für nachwachsende Rohstoffe (www.nawaro.com).

Produktmuster der Formpressteile wurden bei den Alpbacher Technologiegesprächen 2006

im 7. Arbeitskreis zum Thema „Hochleistungs-Werkstoffe aus der Natur als Wachstumschance für die Wirtschaft“ vorgestellt (siehe Abbildung 77).



Abbildung 77: Alpbacher Technologiesgespräche 2006

10 Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Rahmen der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ wurde von der Gruppe Angepasste Technologie (GrAT) eine Materialentwicklung durchgeführt, die zum Ziel hatte, einen naturfaserverstärkten Verbundwerkstoff (NFC - Naturfaser-Compound) zu entwickeln, der ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen und biologisch abbaubaren Kunststoffen besteht. NFC setzt sich aus Flachfasern und Strohspänen zusammen, als Matrix wird anstelle von Polypropylen Polylactid eingesetzt, ein biologisch abbaubarer Kunststoff. Der NFC schließt dadurch den biologischen Kreislauf und kann neben einer stofflichen oder thermischen Verwertung auch einer Kompostierung oder Verwertung in Biogasanlagen unterzogen werden.

Zur Verarbeitung eignen sich für das NFC sowohl kontinuierliche als auch diskontinuierliche Pressverfahren. Damit können Organobleche hergestellt werden, die entweder weiterverarbeitet oder direkt als Plattenwerkstoffe oder Vliese eingesetzt werden können. Weiters kann sowohl das Form- als auch das Fließpressverfahren angewendet werden.

Für große, flächige Bauteile eignet sich das Formpressverfahren besonders, vor allem wenn zusätzlich eine Kaschierung aufgebracht werden muss. Diese kann ohne zusätzliches Bindemittel mit dem Verbundwerkstoff erhitzt und verpresst werden. Die Verklebung erfolgt durch den Thermoplasten im Verbundwerkstoff.

Die Verarbeitbarkeit des Werkstoffs zu Endprodukten wurde anhand praktischer Tests mit einem einfachen Musterprodukt (Frisbeescheibe) überprüft und verifiziert. Das Vlies kann mit der Formpresstechnologie problemlos verarbeitet werden. Die nötige Pressdauer in der Heizpresse betrug 40- 50 Sekunden. Ähnliche Presszeiten werden auch zur Herstellung von Innenverkleidungen für Automobile aus naturfaserverstärkten Thermoplasten benötigt.

Durch den Einsatz von PLA besteht neben dem Recycling und der thermischen Verwertung auch die Möglichkeit, das Material zu kompostieren bzw. in Biogasanlagen zu verwerten. Der Ausgangsrohstoff kann aus verschiedenen landwirtschaftlichen Produkten gewonnen werden und wächst jährlich nach, während sich die Erdölreserven zunehmend verknappen und die Kunststoffpreise steigen.

Derzeit ist der Preis von PLA noch ca. doppelt so hoch wie z.B. jener von Polypropylen. Der Einsatz von PLA ist dort sinnvoll, wo biologische Abbaubarkeit gefordert ist bzw. einen hohen Zusatznutzen bringt. Eine Verbesserung des Renommées von Unternehmen sowie die geringere Abhängigkeit von fossilen Ressourcen stellen zwei weitere Argumente dar. Wird der Kunststoffanteil reduziert wie beim NFC, so kann mit PLA ein relativ preiswerter und hochwertiger Verbundwerkstoff hergestellt werden.

Aus dem Material konnten erfolgreich selbst tragende Wandelemente mit einer Rohdichte von 250kg/m^3 hergestellt werden. Das Brandverhalten des Wandelements wurde als normal brennbar klassifiziert, und auch die anderen technischen Eigenschaften erfüllen die Anforderungen für diesen Einsatzzweck. Lediglich der Schallschutz ist noch zu verbessern, was mit entsprechenden Putzen gelingen wird.

Bei den Pressformteilen wurden mittels eines Scoring-Modells aus rund 82 Produktideen die zehn am besten geeigneten ermittelt. Durch gleich gewichtete Kriterien wurden eine objektive Bewertung der Varianten und die Nachvollziehbarkeit des Bewertungsprozesses ermöglicht.

Bei der Bewertung der gesammelten und kreierten Ideen wurden die produktspezifischen Eigenschaften ebenso berücksichtigt wie ökonomische und ästhetische Kriterien. Die Auswertungen zeigen, dass eine Reihe von Produkten aus verschiedenen Sparten technisch machbar ist und dass diese eine realistische Chance am Markt haben. Bei der Bewertung schnitten die Produkte Sarg, Koffer und Frisbee am besten ab. Eine endgültige Aussage, für welche Anwendungen das Naturfaservlies geeignet ist, kann erst getroffen werden, wenn alle technischen Parameter bekannt sind. Ferner muss vor einer Markteinführung durch eine präzise Analyse des angestrebten Marktes die hier durchgeführte Bewertung verifiziert werden.

11 Verzeichnisse

11.1 Literatur

AVK, Arbeitsgemeinschaft Verstärkte Kunststoffe E.V. GMT-glasplattenverstärkte Thermoplaste-Grundregeln für die Gestaltung von GMT Formteilen. Überarbeitetes Informationsblatt 1.2. 9/94/750/GI. 1994

Bergner, Andreas : Faserverstärkte Konstruktionswerkstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe – Verfahren und Bauweisen. Habilitationsschrift. Technische Universität Chemnitz. Eingereicht 2002.

Deutscher Naturfaserverband e. V. Mitgliederinformationen 2005

Henton, E. David / Gruber, Patrick / Lunt, Jim / Randall, Jed : Polylactid Acid Technology. IN: Mohanty, Amar K. / Misra, Manjusri / Drzal, Lawrence T. : Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites. Boca Raton : CRC Press, Taylor & Francis Group : 2005

Karus, Michael / Ortmann, Sven / Gahle, Christian / Pendarovski, Cezar : Einsatz von Naturfasern in Verbundwerkstoffen für die Automobilproduktion in Deutschland von 1999 bis 2005. Nur noch abgeschwächtes Wachstum in den letzten zwei Jahren - neue Produktionsverfahren treten in Erscheinung. Hürth : nova-Institut : 2006

Karus, Michael / Ortmann, Sven / Vogt, Dominik : Naturfasereinsatz in Verbundwerkstoffen in der deutschen Automobilproduktion 1996 bis 2003. Einsatz von Naturfasern trotz Konjunkturschwäche und Preisdruck weiter gestiegen, PP-Naturfaser-Spritzguss mit ersten Serienanwendungen. Kurzfassung. Hürth : nova-Institut : 2004

Karus, Michael / Kaup Markus / Lohmeyer Daike : Studie zur Markt- und Preissituation bei Naturfasern. EU und Deutschland. nova-Institut. Gülzow : Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. : 2000

Karus / Michael Kaup, Markus / David, Thomas : Volumina und Strukturen der europäischen Hanf- und Flachsfasermärkte. nova-Institut GmbH. 1999 IN: Tagungsband : 2.Internationales Symposium und Fachausstellung. Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. 1. und 2.

September 1999. Messe- und Kongreßzentrum Erfurt : 1999

Mann, Stefan : Nachwachsende Rohstoffe. Stuttgart : Ulmer : 1998

Müller-Sämman, K.M./ Reinhardt, G./ Vetter, R. / Gärtner, S. : Forschungsbericht. Nachwachsende Rohstoffe in Baden-Württemberg: Identifizierung vorteilhafter Produktlinien zur stofflichen Nutzung unter besonderer Berücksichtigung umweltgerechter Anbauverfahren. Anhang. Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung, Müllheim; Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH : 2003

Plackett, David / Södergard, Anders : Polylactide-Based Biocomposites. IN: Mohanty, Amar K. / Misra, Manjusri / Drzal, Lawrence T.: Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites. Boca Raton : CRC Press, Taylor & Francis Group : 2005

Kirtz, Manfred / Neubauer, Josef : Energiepotential von Stroh und NAWAROs in Niederösterreich. IN: Potentiale für biogene Rohstoffe zur energetischen Nutzung. Agrar Plus GmbH : 2003

Thrän, Daniela / Weber, Michael / Scheuermann, Anne et. al.: Nachhaltige Biomassennutzungsstrategien im europäischen Kontext. Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern. Institut für Energetik und Umwelt gemeinnützige GmbH. Leipzig : 2005

Internet

www.tinyurl.com/3yj3ry, 22.10.2006, 13:00

www.tinyurl.com/yoay8a, 22.03.2006, 12:00

www.tinyurl.com/2nynlg, 23.03.2006, 09:00

www.karphos.de/karphos.htm, 22.03.2006, 09:30

www.tinyurl.com/33zjlm, 20.09.2005, 11:15

11.2 Abbildungen

Abbildung 1: Getreidestrohaufkommen in Österreich; Statistik Austria 2006.....	16
Abbildung 2: Stroh unbehandelt und konditioniert (rechts)	19
Abbildung 3: Mikroskopaufnahmen Strohalm.....	20
Abbildung 4: Strohspäne und Flachsfasern, Faserflor	21
Abbildung 5: Leinenkämmlinge/Combings	21
Abbildung 6: Hanffasern.....	22
Abbildung 7: Polylactid-Fasern.....	24
Abbildung 8: Vliesproduktion.....	26
Abbildung 9: Vliesherstellung.....	26
Abbildung 10: Einzugsystem, DOA	26
Abbildung 11: Thermobonding Ofen, DOA.....	27
Abbildung 12: Zusammensetzung.....	27
Abbildung 13: Vlies vor dem Thermobonding	28
Abbildung 14: Vlies, vor verfestigt im Thermobonding Ofen (links Oberseite, rechts Unterseite).....	28
Abbildung 15: Unzureichende Verklebung	29
Abbildung 16: Stroh, Leinenkämmlinge, PLA; Vlies nach dem Thermobonding	29
Abbildung 17: Naturfaservliese	30
Abbildung 18: Versuche mit stärkebasierten Bindemitteln	31
Abbildung 19: Proben vor dem Ofen	31
Abbildung 20: Pülpe	32
Abbildung 21: Vlies nach dem Vlieslegeprozess mit chem. mod. Stärke; erkennbar am weißen Querschnitt	32
Abbildung 22: Dämpfen über kochendem Wasser.....	33
Abbildung 23: Bindemittelverteilung (PHB Körner)	33
Abbildung 24: Probe nach dem Thermobonding Ofen	34
Abbildung 25: Probe bei der Überprüfung auf Zugfestigkeit	34
Abbildung 26: Mischer, Fa. Lödige.....	36
Abbildung 27: Einwellen-Wurfschaufelmischer	36
Abbildung 28: Quellstärke	37
Abbildung 29: Chemisch modifizierte Stärke.....	37
Abbildung 30: keine ausreichende Verbindung der Fasern in der Mittelebene.....	39
Abbildung 31: Strohplatte, Ansicht 1	39

Abbildung 32: Strohplatte, Ansicht 2	39
Abbildung 33: Pressversuche Nr. 1-13.....	43
Abbildung 34: Temperaturverläufe H2, H10, H11	44
Abbildung 35: Temperaturentwicklung in den Vliesen, H3 und H4	45
Abbildung 36: Probe H3 vor und nach dem Verpressen	45
Abbildung 38: Musterwände.....	47
Abbildung 39: Kantenschutz.....	48
Abbildung 40: Eingebaute Wand.....	48
Abbildung 41: Lehmputz, Sand-Lehmputz, Zellulose-Lehmputz.....	49
Abbildung 42: Verbindung Putz – Vlies	50
Abbildung 43: Furnier vor und nach dem Verpressen.....	50
Abbildung 44: Retrupor	52
Abbildung 45: Alginsulat, VPZ Graz	53
Abbildung 46: Weizenkleie, TU Chemnitz	53
Abbildung 47: Nichtisotherme Presstechnologie, Bergner 2002	56
Abbildung 48: Formpressen SFK Tischler.....	57
Abbildung 49: Ergebnisse des Formpressens mit der Testform	58
Abbildung 50: Auto – Innenverkleidung, Innenseite unbehandelt, Außenseite mit „Soft Touch“ Oberfläche kaschiert	58
Abbildung 51: Kofferschale aus Naturfaser-Compounds	59
Abbildung 52: Workshops	60
Abbildung 53: Modelle der Kategorie Carry & Protect.....	61
Abbildung 54: Modelle der Kategorie Falt- Schachtel	62
Abbildung 55: Formteile	63
Abbildung 56: Workshop Verpackungszentrum Graz, FH Kuchl, GrAT	64
Abbildung 57: Polardiagramm, NFC, Nafcoform	66
Abbildung 58: Bewertung der Produktideen.....	71
Abbildung 59: Frisbee, Konstruktionszeichnung	72
Abbildung 60: Frisbee, zweiteilige Pressform	73
Abbildung 61: Entnahme aus der Heizpresse	74
Abbildung 62: Einlegen in die Formpresse.....	74
Abbildung 63: Fertiges Muster	75
Abbildung 64: Flaschenverpackung aus unverpresstem Naturfaservlies.....	76
Abbildung 65: Beflammter Prüfkörper	78
Abbildung 66: Wandelement im Prüfstand	78

Abbildung 67: Wand-Außenschicht auf Druck belastet	80
Abbildung 68: Mittelwerte Spannungsverlauf	82
Abbildung 69: Belastungstests	83
Abbildung 70: Frisbees, Beanspruchung auf Biegung	83
Abbildung 71: eingefärbtes Vlies, Pressformteil.....	84
Abbildung 72: verschiedene färbige Proben	84
Abbildung 73: Aufbringen von Dekormaterial.....	84
Abbildung 74: Proben mit unterschiedlichen Kaschierungen	85
Abbildung 75: Kaschierungen	85
Abbildung 76: Zwischenwand im S-HOUSE	87
Abbildung 77: Alpbacher Technologiegespräche 2006.....	88

11.3 Tabellen

Tabelle 1 : Produzierte Rohstoffe, Zusammenfassung	18
Tabelle 2: Zusammenfassung der Anforderungen	42
Tabelle 3: Vor- und Nachteile des Formpressens; (Vgl. Karus et al. 2006)	55
Tabelle 4: Carry & Protect	61
Tabelle 5: Falt- und Schachtel.....	62
Tabelle 6: Formteile.....	63
Tabelle 7: Vergleich technischer Kennwerte, NFC und Nafcoform	65
Tabelle 8: Stärken und Schwächen des Naturfaser-Compounds	66
Tabelle 9: Bewertungskriterien.....	71
Tabelle 10: Vergleich der Schallreduktion verschiedener Wandaufbauten; * www.karphos.de/karphos.htm , 22.03.2006, 09:30; # www.tinyurl.com/2nynlg , 23.03.2006, 09:00; ^x www.tinyurl.com/yoay8a , 22.03.2006, 12:00	79
Tabelle 11: Vliese, Verarbeitungsfaktoren	82
Tabelle 12: Ergebnisse der Überprüfung auf Zugfestigkeit.....	82