

Türblatteinlagen auf Basis nachwachsender Rohstoffe und Reststoffe

J. Wagenhofer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

1/2008

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>

Türblatteinlagen auf Basis nachwachsender Rohstoffe und Reststoffe

Ing. Johann Wagenhofer, Ing. Richard Ludwig
REINEX Türen GmbH

Dr. Norbert Mundigler, DI (FH) Rainer Bittermann
IFA Tulln

Sonja Hofer
Fachschule Wr.Neustadt/Tulln

St. Pölten, November 2006

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

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung / Summary	3
Problemstellung	7
Projektziele	9
Materialien	10
Versuchsmethodik	14
Versuchsdurchführung	25
Analysenmethoden	35
Detailergebnisse	46
Zusammenfassung und Ergebnisse	50
Beitrag zur Programmlinie FdZ	54
Schlussfolgerungen	55
Literaturverzeichnis	56

Kurzfassung

Holztüren sind aufgrund der großen Vielfalt in Design, Ausführung und Zubehör bei Architekten und Bauherrn sehr beliebt. Neben den gestalterischen Aspekten müssen sie jedoch eine Reihe an Anforderungen wie Schall-, Brand-, Wärme- und Einbruchschutz erfüllen und für eine entsprechende Marktakzeptanz ein geringes Gewicht aufweisen.

Um all diesen Anforderungen gerecht werden zu können und dabei noch weitere Vorteile des Produkts „Türe“ zu generieren, ist der Einsatz von Schaumkörpern aus Reststoffen als Innenlage anzustreben. Diese Schaumkörperereinlagen erreichen durch die Verwertung von Reststoffen eine rohstoffseitige Ressourcen- und Kostenreduktion und ermöglichen durch den einschaligen Aufbau als Sandwichkonstruktion nach dem Masse-Feder-Masse-Prinzip einen automatisierten Produktionsprozess und damit eine kostengünstigere Produktion des Produkts. Nicht zuletzt kann mit dieser Neuartigkeit eine einfachere Handhabung und damit verbunden eine kostengünstigere Durchführung der Montage erreicht werden. All diese Vorteile stellen eine Differenzierung gegenüber dem Wettbewerb sicher.

Zur Realisierung des Projekts wurden Schaumkörper drei unterschiedlicher Rezepturen hergestellt und anschließend unter Zugabe der jeweiligen Klebstoffe zu Platten verpresst. Die Schaumkörper unterschieden sich dabei in ihrer Elastizität sowie in der Oberflächenbeschaffenheit. Als Klebstoffe wurden Harnstoffformaldehydleim, Kaliwasserglas und Latex eingesetzt. Die Durchführung der Versuche erfolgte anhand von Versuchsplänen, wobei die Verdichtung und die Klebschichtdicke als variable Einflussgrößen gewählt wurden. Neben der Charakterisierung der Schüttkörper wurden die mechanischen Eigenschaften der Platten getestet. Die Messwerte der Platten hinsichtlich Kerntemperatur, Flächengewicht, Formstabilität, Druck und Querkraft wurden anhand der Versuchspläne statistisch ausgewertet und die Effekte von Verdichtung und Klebschichtdicke berechnet. Dabei konnten durchwegs Einflüsse der Faktoren auf die Eigenschaften der Platten festgestellt werden. Hinsichtlich

der Anwendung in „Spezialtüren“ zeigten sich die elastischen Rezepturen sowie die mit Latex verpressten Platten als besonders geeignet, da sie sich durch eine für den Schallschutz erforderliche Elastizität auszeichnen. Deshalb wurden diese Kombinationen zur Herstellung von Mustertüren verwendet und im Zuge dessen auf die Verarbeitbarkeit in der Türenherstellung getestet.

Dabei zeigte sich, dass die Platten hinsichtlich Zuschnitt, Kalibrierung und Verpressbarkeit mit in der Türenindustrie üblichen Maschinen be- und verarbeitbar sind und daher weiterführende Optimierungsmaßnahmen ins Auge zu fassen sind.

Die bisherigen Ergebnisse rechtfertigen eine Fortsetzung der Entwicklungstätigkeit, da die Eigenschaften der Innenlage in Bezug auf Schalldämmung und Brandschutz ermutigend sind.

Summary

Doors made of wood are because of their variety of design, construction and appendix a famous product for architects and constructors. In addition to the creative aspects a lot of demands like noise and heat insulation, fire protection and protection against break-in have to be met. Also a little weight is essential for the product acceptance.

All these and a lot of further benefits like a reduction of costs for resources, production and assembling can be achieved by the use of inner layers consisting of foamed residual material. Another advantage is the achievement of an automated process of manufacture by producing a single-layer inner ply in the form of a sandwich construction for sound insulation. Last but not least a differentiation over the competition can be ensured.

For implementation of the project three granulated foamed materials of different recipes were produced and then combined each with three different adhesives pressed to boards. The foamed materials differ in their elasticity and surface texture. As adhesives were used urea-formaldehyde-glue-resin, potassium water glass and polymer latex. All experiments were conducted on the basis of experimental designs, in which varying compression and quantity of adhesives have been adjusted. In addition to the characterisation of the foamed materials a lot of mechanical properties of the boards like core temperature, coating weight per unit area, dimensional stability, comprehensive and transverse tensile strength were tested. The results of the experiments were evaluated statistically with experimental design and the effects of compression and quantity of adhesives were measured. Concerning the application in special doors the findings show a particular suitability of the elastic foam granules and of the boards, which are glued with latex. Therefore these combinations were used for the production of prototypes of doors. In the course of this the processability of the boards with machines of the wood-working industry were tested.

Thereby could be noticed, that all of the boards can be used for inner-layers and further measures for optimisation should be considered.

The previous results legitimate the continuation of the development work, because the properties of the inner layer regarding acoustic insulation and fire protection are promising.

PROBLEMSTELLUNG

Holztüren erfüllen grundsätzlich fast alle aktuellen Anforderungen, die an das Bauteil „Tür“ gestellt werden. Die Funktionen, die eine Türe erfüllen kann, hängen dabei maßgeblich von der verwendeten Innenlage ab. Da derzeitige Innenlagen mit steigender Anforderung wesentlich an Flächengewicht zunehmen, werden komplexe Türkonstruktionen relativ schwer.

Zur Optimierung von Holztüren hinsichtlich Funktion und Gewicht sind Innenlagen mit folgenden Eigenschaften anzustreben:

- geringe dynamische Steifigkeit
- geringe Wärmeleitfähigkeit
- geringes Flächengewicht
- hohe Brandwiderstandsfähigkeit

Im Zuge der 2. Ausschreibung der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ in den Jahren 2003 und 2004 erfolgte am Institut für Naturstofftechnik am IFA-Tulln eine wirtschaftsbezogene Grundlagenforschung zum Thema „Entwicklung geschäumter Produkte auf Proteinbasis“. Dabei wurden mittels Extrusion geschäumte Pellets und Profile auf Naturstoffbasis hergestellt. Diese Schaumkörper zeichnen sich einerseits durch ihr geringes Gewicht und andererseits durch hervorragende Dämmeigenschaften aus.

Weiters können sie in Abhängigkeit der verwendeten Rezeptur mehr oder weniger elastisch und brandbeständig hergestellt werden.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde die Idee geboren, diese Schaumkörper zu Platten zu verpressen und als Türblattinnenlagen zu verwenden.

Die in diesem Projekt angestrebten Innovationssprünge finden dabei in den Bereichen „Nutzung nachwachsender Rohstoffe und biogener Reststoffe aus Verarbeitungsprozessen“ sowie in der „Entwicklung von innovativen industriellen

und gewerblichen Produkten“ statt. Das heißt, es soll einerseits durch die Verarbeitung von Abfallprodukten (wie z.B. Lederabfälle) zu Industrieprodukten mit vielseitigen Einsatzmöglichkeiten eine nachhaltige, sinnvolle Wiederverwertung gewährleistet und andererseits durch die stoffliche Nutzung anstelle der thermischen Verwertung die Umwelt geschont werden.

PROJEKTZIELE

Ziel dieses Projektes ist unter Verwendung der Schaumkörper eine Gewichtsreduktion des Produkts „Türe“ zu erreichen, was die Mitarbeiter bei der Produktherstellung schont, eine kostengünstigere Durchführung der Montage erlaubt und die Handlichkeit beim Gebrauch erleichtert.

Außerdem ist bedingt durch die derzeit verwendeten Innenlagen eine mehrschalige Konstruktion des Türblatts für das Erreichen eines Schalldämmwertes (R'_w) von 38 bis 43 dB in funktionsfähigem, begehbarem Zustand mit Bodenanschlag erforderlich. Dazu müssen einzelne Spanplatten von Hand zusammengefügt werden. Dieser Mehraufwand in der Produktion könnte durch die Herstellung von einschichtigen Schallschutzzinnenlagen aus Schaumstoffen, die eine Sandwichkonstruktion nach dem Masse-Feder-Masse-Prinzip darstellen, stark reduziert und der Produktionsprozess dadurch automatisiert werden. Einen weiteren Vorteil bietet die Verwertung von Reststoffen hinsichtlich der rohstoffseitigen Ressourcen- und Kostenreduktion. Nicht zuletzt besteht außerdem die Möglichkeit der Differenzierung gegenüber dem Wettbewerb, da besonders im Objekt ein Unterscheidungsmerkmal mit technischem Hintergrund und Zusatznutzen ein Entscheidungskriterium für den Kunden darstellt.

1. Materialien

1.1 SCHAUMKÖRPER-INHALTSSTOFFE

Die Auswahl der für die Schaumkörperherstellung verwendeten Komponenten erfolgte einerseits aufgrund der dafür aufzuwendenden Rohstoffkosten und andererseits aufgrund deren Verfügbarkeit.

Die Wahl fiel daher auf Abfallprodukte, die zu einem sehr geringen Preis und in beträchtlichen Mengen zur Verfügung stehen.

1.1.1 Leimleder

Leimleder ist ein pulverförmiges Abfallprodukt der Lederherstellung mit einem Proteingehalt von ~ 85 % bezogen auf die Trockensubstanz. Weiters charakterisieren diesen Rohstoff ein Aschegehalt von etwa 6 %, ein Fettanteil von 0,7 % und ein Wassergehalt von ~ 0,7 %.

1.1.2 Lederschleifstaub

Lederschleifstaub ist ebenfalls ein Abfallprodukt aus der Lederherstellung, jedoch liegt es in Form von gepressten Klumpen vor und besitzt einen Proteingehalt von ~ 42 % bezogen auf die Trockensubstanz. Es weist außerdem einen Aschegehalt von ~ 8 % und einen Fettanteil von ~ 10 % auf. Der Wassergehalt im Anlieferungszustand beträgt 4 %.

1.1.3 Maisgrieß

Der Maisgrieß mit einem Stärkegehalt von ~ 85 % besteht zu 55 % aus Fraktionen mit einer Korngröße von 0,5 – 1 mm und zu 45 % aus Fraktionen mit Korngrößen unter 0,5 mm. Er weist einen Wassergehalt von rund 13 % und einen Fettgehalt von 1,3 % auf. Der Proteingehalt beträgt 8 % bezogen auf die Trockensubstanz.

1.1.4 Aluminiumsulfat

Das verwendete Aluminiumsulfat $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ ist ein weißes kristallines Pulver der Firma Kemira Chemie GesmbH, A-3500 Krems und wird zur Hydrophobierung der Schaumkörper eingesetzt.

1.2 KLEBSTOFFE

Die Klebstoffe wurden anhand nachstehend angeführter Kriterien gewählt:

- ✓ geringer Preis
- ✓ natürlicher Ursprung
- ✓ Anwendbarkeit in der Holzindustrie
- ✓ flammhemmend
- ✓ elastisch

Jeder der im Folgenden beschriebenen Klebstoffe erfüllt dabei ein oder mehrere der oben angeführten Kriterien.

1.2.1 Harnstoffformaldehydleim

HIACOLL H 66 der Firma Dynea Austria GmbH, A-3500 Krems ist ein heißhärtender Kunstharzleim auf Harnstoff-Formaldehyd-Basis und kommt häufig in der Holzverarbeitenden Industrie zum Einsatz. Folgende Eigenschaften charakterisieren diesen Harnstoffformaldehydleim:

<u>Aussehen:</u>	milchig-weiß
<u>Feststoffanteil:</u>	$66 \pm 1 \%$
<u>Dichte (20 °C):</u>	1,29 g/ml
<u>Viskosität (20 °C):</u>	600 – 1.000 mPas
<u>pH-Wert (20 °C):</u>	8
<u>Verarbeitungstemperatur:</u>	70 – 140 °C
<u>Gehalt an freiem Formaldehyd:</u>	max. 0,6 %

Dieser HF-Leim eignet sich zusammen mit dem Streckmittel Mehl Bonit und dem Härter U 24 – beide ebenfalls hergestellt von der Firma Dynea – verarbeitet zu werden.

1.2.2 Kaliwasserglas

Kaliwasserglas 34/35 ° Bé¹, bezogen bei der Firma W. Neuber's Enkel OHG, A-1060 Wien, ist eine sirupartige klare Lösung von Kalisilikaten in Wasser. Dieses anorganische Bindemittel verfestigt mineralische Untergründe durch Verkieselung und erzielt einen flammhemmenden Schutz. Mit nachstehend angeführten Eigenschaften kann dieses Bindemittel beschrieben werden:

<u>Aussehen:</u>	farblos
<u>Feststoffanteil:</u>	29,4 %
<u>Dichte (20 °C):</u>	1,31 g/ml
<u>Viskosität (20 °C):</u>	18 mPas
<u>pH-Wert (20 °C, 10 %ig):</u>	12

1.2.3 Latex

Der Latex Latexia PE 1157 der Firma CIBA GmbH, A-3435 Pischelsdorf wurde als „elastischer“ Klebstoff verwendet und kann wie folgt charakterisiert werden:

<u>Aussehen:</u>	milchig-weiß und wie Perlmutter schillernd
<u>Feststoffanteil:</u>	50 %
<u>Dichte (20 °C):</u>	1,03 g/ml
<u>Viskosität (20 °C):</u>	200 - 400 mPas
<u>pH-Wert (20 °C):</u>	7 - 8

1.3 PLATTENDECKSCHICHT

Als Deckschicht diente Gegenzugpapier weiß, 120 g/m² im Rollenformat, welches auf eine Größe von 535 x 530 mm zugeschnitten wurde. Für jede Platte mussten zwei Deckschichten angefertigt werden.

¹ Grade Baumé entsprechen Gewichts-% Kochsalz in wässriger Lösung und dienen der Ermittlung der Dichteeinheiten der Flüssigkeit.

1.4 TÜRRAHMEN

Zur Fertigung der Mustertüren war die Herstellung von drei Türrahmen erforderlich. Dazu wurden Leisten aus Vollholz Buche und Fichte sowie Spanplattenstreifen mit einer Stärke von 33 mm verwendet. Diese Leisten wurden lt. Arbeitsvorschrift der Firma Reinex Türen GmbH zu einem Rahmen zusammengeheftet. Der fertige Rahmen wurde für eine Türblattgröße von 2030 x 850 x 41 mm und eine Innenlage von 1890 x 740 x 33 mm konzipiert.

1.5 DECKPLATTEN

Als Deckplatten wurden Hartfaserplatten mit einer Stärke von 3,2 mm verwendet. Diese wurden auf die vorgesehene Türblattgröße mit einem Überstand von 2 cm formatiert.

1.6 OBERFLÄCHENBESCHICHTUNG

Die Oberfläche der Mustertüren wurde Buche furniert und natur lackiert. Die verwendete Furnier Buche mit einer Stärke von 0,6 mm wurde auf Türblattgröße mit einem Überstand von 3 cm zugeschnitten.

2. Versuchsmethodik

2.1 VERSUCHSPLANUNG

Anhand von Vorversuchen wurden einerseits die Verarbeitbarkeit der Schaumkörper und Klebstoffe überprüft und andererseits die Eigenschaften der Platten bei einer Verdichtung von 40 % und einer Klebschichtdicke von 0,03 mm getestet. Um eine Optimierung der Platten hinsichtlich Rohstoffeinsatz und Flächengewicht zu erzielen, wurden diese Projektversuche anhand eines Faktorenpfplans 1. Ordnung durchgeführt. Dieser Versuchsplan ermöglicht neben der Verringerung der Versuchsanzahl einen Einblick in das Zusammenwirken der Einflussgrößen. [Scheffler, 1997]

2.1.1 Konstruktion des Versuchsplans

Als variable Einflussgrößen wurden die Verdichtung und die Klebschichtdicke gewählt. Für beide Faktoren wurden jeweils eine Ober- und eine Untergrenze definiert. Einen solchen Versuchsplan mit zwei Einflussgrößen und zwei Stufen der Faktoren bezeichnet man als einen 2^2 -Faktorenpfplan, darüber hinaus wird die Versuchsanzahl mit $2^2 = 4$ Versuchen festgelegt.

Weiters wurde dem Versuchsplan ein Zentralpunkt, genau zwischen den definierten Ober- und Untergrenzen hinzugefügt, um die Effekte der Einflussgrößen auf ihre Linearität überprüfen zu können. Zur Abschätzung des Versuchsfehlers wurde dieser Zentralpunkt dreimal wiederholt.

Anschließend wurden die natürlichen Werte der Faktorstufen in ein Koordinatensystem transformiert und somit eine Normierung der Stufenhöhen erreicht. Im Folgenden werden nun die Obergrenzen mit +1, die Untergrenzen mit -1 und der Zentralpunkt mit 0 bezeichnet bzw. vereinfacht mit +, - und 0 dargestellt. [Scheffler, 1997]

Der nach diesen Festlegungen erstellte 2^2 -Faktorenpfplan mit den drei Zentralpunkten ist in der Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1. Normierte Planmatrix des 2²-Faktorenplans mit drei Zentralpunkten für die variablen Einflussgrößen Verdichtung und Klebschichtdicke.

Versuchs-Nr.	Verdichtung	Klebschichtdicke
	%	mm
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+
Z1	0	0
Z2	0	0
Z3	0	0

Da für jede Schaumkörper-Klebstoff-Kombination ein derartiger Versuchsplan erstellt wurde, konnten die Ober- und Untergrenzen der variablen Einflussgrößen an die Mischung angepasst werden.

Die Aufstellung der einzelnen Versuchspläne mit den Faktorengrenzen der jeweiligen variablen Einflussgröße ist in Tabelle 5 ersichtlich.

Mit Ausnahme des Pressdrucks wurden die übrigen Einflussgrößen über alle Versuchspläne hin konstant gehalten und wie folgt festgelegt:

- Presstemperatur 90 °C
- Presszeit 5 min
- Pressdruck 35, 60 oder 90 kg/cm²

Die Einstellung des Pressdrucks war von der verwendeten Schaumkörper-Rezeptur abhängig und wurde innerhalb eines Versuchsplans konstant gehalten. Mit steigender Steifigkeit der Schaumkörper wurde dieser entsprechend höher eingestellt, um eine entsprechende Komprimierung zu ermöglichen.

- Rezeptur-Nr. 551/4-2 ____ 35 kg/cm²
- Rezeptur-Nr. 554/0 ____ 60 kg/cm²
- Rezeptur-Nr. 551/0 ____ 90 kg/cm²

Als Zielgrößen – auch als Messgrößen oder Antwortgrößen bezeichnet – wurden folgende Parameter definiert:

- Kerntemperatur [°C]
- Flächengewicht der Platten [kg/m²]
- Dickenänderung der Platten in Klima 23 °C/83 % rel. LF [%]
- Dickenänderung der Platten in Klima 85 °C [%]
- Dickenänderung der Platten in Klima –10 °C [%]
- Druckspannung bei 10 % Stauchung [MPa]
- Druck E-Modul [MPa]
- max. Querkraft [N]
- Querkraft E-Modul [MPa]

2.1.2 Auswertung – Methode und Durchführung

Als Auswertemethode für Versuchspläne mit ausschließlich quantitativen Einflussgrößen wird die Regressionsanalyse der Varianzanalyse bevorzugt. [Scheffler, 1997]

Die Durchführung der Auswertung erfolgte in folgenden Schritten:

1. Vertrauensbereich festlegen ($\alpha = 0,05$)

2. Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung

Der Mittelwert sowie die Standardabweichung der Messwerte wurden pro Antwortgröße je Versuchsnummer bzw. je Zentralpunkt berechnet.

3. Testen der Messwerte auf Ausreißer

Dazu wurde der Ausreißertest nach GRUBBS verwendet und die Messwerte nach folgender Formel auf Ausreißer überprüft:

$$\text{Prüfwert } P = \text{abs}[x_i - \bar{v}(i)]/s(i) < \text{Tabellenwert } T(k; \alpha)$$

Beim Ablesen des entsprechenden Tabellenwerts aus der Tabelle 2 mussten die Anzahl der Beobachtungswerte k und das definierte Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ berücksichtigt werden.

Sind die Prüfwerte kleiner als der Tabellenwert, so ist der Messwert nicht ausreißerverdächtig und wurde daher zur Mittelwertsberechnung herangezogen. Handelte es sich hingegen um einen Ausreißer, so wurde der Messwert durch den Mittelwert ersetzt, wenn bereits im Zuge der Messung eine Notiz gemacht wurde, ansonsten wurde er entfernt.

Tabelle 2. Kritische Werte für den Ausreißertest nach GRUBBS.

Number of Observations n	Upper .1% Significance Level	Upper .5% Significance Level	Upper 1% Significance Level	Upper 2.5% Significance Level	Upper 5% Significance Level	Upper 10% Significance Level
3	1.155	1.155	1.155	1.155	1.153	1.148
4	1.499	1.496	1.492	1.481	1.463	1.425
5	1.780	1.764	1.749	1.715	1.672	1.602
6	2.011	1.973	1.944	1.887	1.822	1.729
7	2.201	2.139	2.097	2.020	1.938	1.828
8	2.358	2.274	2.221	2.126	2.032	1.909
9	2.492	2.387	2.323	2.215	2.110	1.977
10	2.606	2.482	2.410	2.290	2.176	2.036

4. Ermittlung des Versuchsfehlers

Der Versuchsfehler entspricht der Standardabweichung aus den drei Zentralpunkten pro Versuchserie und wurde für die anschließende statistische Auswertung der Daten benötigt.

5. Statistische Auswertung der Versuche

Diese erfolgte unter Verwendung der Software STATGRAPHICS Version 5.0 durch Ermittlung folgender Daten:

- ✓ Effekte der Einflussgrößen und ihrer Wechselwirkung
- ✓ Signifikanz der Effekte (P-Value)
- ✓ Regressionskonstante sowie -koeffizienten und –funktion nach Elimination nicht signifikanter Effekte
- ✓ Faktorengrenzen für das Erreichen einer optimalen Antwortgröße

Neben den einzustellenden Grenzen von Verdichtung und Klebschichtdicke für das Erreichen eines optimalen Werts der Antwortgröße, erhält man die Regressionsfunktion mit statistisch signifikanten Termen als Ergebnis.

Um diese Funktion auf ihre Linearität überprüfen zu können, ist noch die Berechnung der Mittelwertabweichung (*MA*-Effekt) nach folgender Formel erforderlich: [Scheffler, 1997]

$$MA = 1/5 (y_1 + y_2 + y_3 + y_4 - 4y_0)$$

<i>MA</i>	Mittelwertabweichung
y_1, y_2, y_3, y_4	Mittelwert der Versuchs-Nr. 1 bis 4
y_0	Mittelwert der Zentralpunkte Z1 bis Z3

Ist die Funktion nicht linear, weichen der Mittelwert aus den Versuchsnummern 1 bis 4 (\bar{y}) und der Mittelwert der Zentralpunkte (y_0) voneinander ab. Der Effekt für die Mittelwertabweichung (*MA*-Effekt) dient somit als Schätzung für die Abweichung der Approximation. [Scheffler, 1997]

<u><i>MA</i> = negativ</u>	<u><i>MA</i> = positiv</u>
→ Kurvenverlauf konvex	→ Kurvenverlauf konkav
→ ($y_0 > \bar{y}$)	→ ($y_0 < \bar{y}$)

Weiters kann die Lage der in den „Estimated Response Surface“ bzw. „Main Effects Plot“ dargestellten Effekte bzw. Zusammenhänge mit Hilfe der Größe der Effekte der variablen Einflussgrößen und der des *MA*-Effekts wie folgt interpretiert werden:

Effekt Einflussgröße groß und *MA*-Effekt klein

→ lineare Annäherung an die wirklichen Verhältnisse

Effekt Einflussgröße groß und *MA*-Effekt merklich

→ untersuchter Bereich befindet sich in einem stark gekrümmten Kurvenstück, eventuell in der Nähe eines Extremums

Effekt Einflussgröße klein und *MA*-Effekt groß

→ untersuchter Bereich befindet sich in einem Extremum

beide Effekte nahezu null

→ untersuchter Bereich stellt ein sehr flaches Extremum bzw. ein Kurvenplateau dar

2.3 PRESSEN

Als Platten werden flächige Gebilde bezeichnet, die aufgrund ihrer Elastizität und Dicke nur bedingt flexibel sind und sich also nicht rollen oder wickeln lassen. Formpressen ist ein Verfahren, bei dem der zu verarbeitende Werkstoff, die so genannte Formpressmasse, durch Druck- und Wärmeeinwirkung in einem Urformwerkzeug (Presswerkzeug) zu Platten geformt wird. Die Pressmasse kann dabei als Pulver oder Granulat in kaltem oder vorgewärmtem Zustand vorliegen. Die für das Formpressen verwendete, diskontinuierlich arbeitende Maschine wird als Plattenpresse bezeichnet. Neben Folien und Platten können auch Verbunde oder beliebige Formteile sowie Produktprägungen gefertigt werden.

[Dr. Collin GmbH, 2005; Dubbel, 1997]

Weiters findet die Presstechnik auch beim Verpressen von Furnier, Papierfolie, Melaminharzplatten, usw. auf plane Holzwerkstoffe wie Spanplatten und ähnliche Feststoffplatten mittels entsprechendem Leim Anwendung.

2.3.1 Presse OTT zur Plattenherstellung

Sämtliche Versuchspressungen zur Plattenherstellung wurden mit der hydraulischen Furnierpresse OTT Type JU 50 (Paul Ott GesmbH, A-4650 Lambach), Baujahr 1969, durchgeführt. Die Presse, ausgeführt als Zweietagenpresse, ist in Abbildung 1 dargestellt.





Abbildung 1. Presse Ott Type JU 50.

Das Grundgerüst der Presse besteht aus vier senkrecht angeordneten Stahlträgern, die oben und unten mit je zwei Längs- und Querträgern zu einer massiven Stahlkonstruktion verbunden sind.

Zur Übertragung des Pressdrucks sind vier Hydraulikzylinder mit einem Durchmesser von je 75 mm eingebaut. Diese werden über einen Hydraulikmotor angetrieben. Der erforderliche Pressdruck kann am Druckschaltgerät auf der Instrumententafel eingestellt werden. Der einzustellende Wert hängt dabei von der Fläche des jeweiligen Pressgutes ab und kann mit Hilfe der Drucktabelle (siehe Tabelle 3) ermittelt werden. Der spezifische Pressdruck beträgt bei den in der Drucktabelle angegebenen Werten 2,5 kg/cm².

Tabelle 3. Drucktabelle zur Ermittlung des erforderlichen Pressdrucks [kg/cm²] in Abhängigkeit der Fläche des verwendeten Pressgutes bei einem spezifischen Pressdruck von 2,5 kg/cm².

		Drucktabelle							
L \ B	30	40	60	80	100	120	130		
40	15	20	30	40	50	60	65		
50	20	25	35	50	60	70	80		
60	25	30	40	60	70	90	95		
70	25	35	50	70	90	105	110		
80	30	40	60	80	100	120	130		
90	35	45	65	85	110	130	145		
100	40	50	70	100	130	145	160		
110	40	55	80	105	135	155	175		
120	50	60	90	120	145	180	190		
130	50	60	95	130	160	190	195		
140	55	70	100	140	170	195	200		
150	55	70	110	145	180	200	205		
160	60	80	120	160	200	215	230		
170	60	80	125	165	210	225	235		
180	65	90	130	175	220	245	260		
190	70	95	140	180	230	260	270		
200	70	95	145	195	240	270	285		
210	75	100	150	200	250	285	300		
220	80	110	160	215	265	300	320		

[Quelle: Paul Ott GmbH, 2006]

Die in dieser Tabelle von oben nach unten aufgetragenen Werte sind Längsmaße, die von links nach rechts aufgetragenen sind Breitenmaße. Die im Schnittpunkt beider Werte angegebene Druckkennzahl ist der am Druckschaltgerät einzustellende Druck in kg/cm² (= bar).

Die Pumpe des Hydraulikantriebsmotors schaltet nach dem Erreichen des eingestellten Drucks ab. Weiters ist eine Schaltdifferenz von 5 bis 10 bar im Gerät fest eingestellt. Fällt der Druck unter diese Schaltdifferenz, so wird die Pumpe automatisch eingeschaltet und gleicht den entstandenen Druckverlust aus. Für die Wärmeübertragung auf das Pressgut sind drei elektrisch beheizte Heizplatten mit niet- und schraubenfreier Pressfläche eingebaut. Je Heizplatte ist ein Combi-Thermostat auf der Instrumententafel vorgesehen. Dabei wird der rote Zeiger des Combistats auf die gewünschte Heiztemperatur (SOLL-Temperatur) eingestellt. Die Heizplatten erwärmen sich nun bis auf den eingestellten Wert und schalten automatisch ab. Die tatsächliche Temperatur der Heizplatten (IST-Temperatur) kann am schwarzen Zeiger abgelesen werden. Wenn die Temperatur um etwa 3 – 5 °C abfällt, schaltet die Heizung automatisch ein und gleicht den Wärmeverlust aus. Die Temperaturmessung erfolgt dazu über 30 cm weit eingeschobene Fühler von der Stirnseite der Platten aus.

Die Heizleistung ist bei Elektro-Heizplatten gleichmäßig über die ganze Fläche verteilt und daher wird auch überall gleiche Temperatur gehalten, sofern die Wärmeabnahme durch das Pressgut ebenfalls gleichmäßig auf der ganzen Fläche erfolgt. [Paul Ott GmbH, 2006]

Technische Daten:

Plattengröße	1100 x 2200 mm
Einlagehöhe je Etage	135 mm
2 Etagen	
3 Heizplatten elektrisch beheizt	
4 Zylinder je 75 mm Durchmesser	
Presskraft	500 kN
spezifischer Pressdruck	2,5 kg/cm ²
mot. Antriebsleistung	1,1 kW
Heizleistung	13,5 kW

2.3.2 Presse WILD zur Türblattherstellung

Die Presse WILD Type Optima (Wild Maschinen GmbH, Deutschland), Baujahr 1990 wurde zur Herstellung von Mustertüren verwendet und ist in Abbildung 2 ersichtlich. Es handelt sich dabei um eine Mehretagendurchlaufpresse mit 4 x 2 Etagen, die zum Verpressen flächiger Werkstücke konzipiert ist.



Abbildung 2. Wild-Mehretagenpresse Type Optima.

Arbeitsprinzip der Presse

Der gesamte Pressvorgang setzt sich aus folgenden Schritten zusammen:

- Beschickungsvorrichtung befüllen
- Beschickungsvorrichtung entleeren und Presse befüllen
- Pressen
- Presse entleeren und Entleerungseinrichtung befüllen
- Entleerungseinrichtung entleeren

Die Werkstücke werden über Gurtförderer in den Beschickkorb eingefördert. Wenn der Beschickkorb vollständig befüllt ist, wird er entleert und gleichzeitig die Presse befüllt. Sind alle Werkstücke eingefördert wird die Kammer geschlossen und die Etagen fahren nacheinander zu. Nun werden die Werkstücke bei der gewünschten Temperatur, mit einem eingestellten Druck für eine voreingestellte Presszeit verpresst.

Ist die Presszeit abgelaufen, öffnet sich die Kammer und die Folienantriebe der Pressplatten befördern die Werkstücke in die Entleerungseinrichtung und weiter über Rollenbahnen auf den Lagerplatz. [Robert Bürkle GmbH, 2006]

Diese Maschinenaufstellung besteht aus vier Komponenten, die im Folgenden näher beschrieben werden:

Vorbereitungsband

Am Vorbereitungsband, ausgeführt als Gurtförderer, werden die zu pressenden Werkstücke entsprechend zusammengestellt. Im Falle der Türenherstellung sind dies die Einzelbestandteile der Türe wie Rahmen, Innenlage, Deckplatten und Oberflächen.

Technische Daten: [WM Wild Maschinen GmbH, 1990]

Bandbreite und –länge der Nutzfläche	1600 x 3000 mm
Vorschubgeschwindigkeit	bis 36 m/min stufenlos

2-Etagen-Beschickungsvorrichtung

Die Beschickungsvorrichtung ist als Beschickkorb ausgeführt, der aus mehreren übereinander angeordneten und an einer Hubeinheit befestigten Gurtförderern besteht. [Robert Bürkle GmbH, 2006]

Technische Daten: [WM Wild Maschinen GmbH, 1990]

Bandbreite und –länge der Nutzfläche	1600 x 3200 mm
Anzahl	2
Vorschubgeschwindigkeit	bis 36 m/min stufenlos
Hubbewegung über Getriebemotor mit exakter Positionierung	

OPTIMA®-Presse

Diese Presse ist eine Mehrkammer- und Mehretagendurchlaufpresse und besteht aus einem Pressgestell, Pressenständern und jeweils zwei übereinander angeordneten Pressenblöcken. In den Pressenständern ist jeweils ein Hydraulikzylinder untergebracht. Der Pressenblock mit den darin liegenden Pressplatten wird als Kammer bezeichnet und der Raum zwischen den Pressplatten als Etage.

Die Pressplatten sind über Stangen miteinander verbunden und werden mit Wasser beheizt. Um die Werkstücke in die Presse hinein und wieder heraus befördern zu können, sind die Pressplatten mit einer angetriebenen Folie belegt. [Robert Bürkle GmbH, 2006]

Technische Daten: [WM Wild Maschinen GmbH, 1990]

Plattenabmessungen	1600 x 2800 mm
nutzbare Fläche	1500 x 2500 mm
Plattenstärke	100 mm aus dem Vollen gebohrt
Anzahl der Kammern	4
Anzahl der Etagen	8 (4 x 2)
ausführbarer Maximaldruck	ca. 400 to
spezifischer Nenndruck	8 kg/cm ²
vorgesehene Druckzylinder	8 doppelwirkende Zylinder pro Kammer
Zylinderdurchmesser	125 mm
Hub	270 mm
nutzbare Höhe	160 mm
Schließgeschwindigkeit	10 s Komplettschließung
Geschwindigkeit Transportbänder in der Presse:	
	36 m/min stufenlos
Heizmedium	Heißwasser
max. Werkstückgewicht	300 kg

2-Etagen-Entleerungseinrichtung

Diese Entleerungseinrichtung ist ähnlich der Beschickungsvorrichtung ausgeführt, jedoch anstelle der Gurtförderer mit Rollenbahnen ausgerüstet. Es ist jede Rolle angetrieben und mit einem PVC-Schrumpfschlauch belegt. [Robert Bürkle GmbH, 2006]

Technische Daten: [WM Wild Maschinen GmbH, 1990]

Rollenbreite und –länge der Nutzfläche	1600 x 3200 mm
Vorschubgeschwindigkeit	bis 36 m/min stufenlos
Hubbewegung über Getriebebremsmotor mit exakter Positionierung	

3. Versuchsdurchführung

3.1 HERSTELLUNG DER SCHAUMKÖRPER

3.1.1 Rohstoffaufbereitung

Die unterschiedliche Anlieferungsform der beiden Ledertypen erforderte eine entsprechend differente Aufbereitung.

3.1.1.1 AUFBEREITUNG LEIMLEDER

Das pulverförmige Leder wurde mit einem Sieb Korngröße 1 mm gesiebt. Die Siebfraction < 1 mm wurde für die weitere Verarbeitung herangezogen und vor der Extrusion auf 10 % Wassergehalt konditioniert.

3.1.1.2 AUFBEREITUNG LEDERSCHLEIFSTAUB

Die großen Lederklumpen wurden in einer Messermühle mit einem 2 mm Siebeinsatz zermahlen. Das Mahlgut wurde dann auf 10 % Wassergehalt angefeuchtet und zur Erhöhung des Schüttgewichts pellediert.

3.1.2 Herstellen der Mischungen

Es wurden Rezepturen gewählt, deren Verarbeitungsprozess bereits optimiert und stabil ist und die eine Reproduzierbarkeit der Schaumkörper ermöglichen, denn nur so kann eine spätere Plattenherstellung im technischen Maßstab gewährleistet werden.

Je nach Rezeptur wurden eine Ledertype und die Stärkekomponente oder Aluminiumsulfat zusammengemischt, konditioniert und anschließend extrudiert. Die verwendeten Inhaltsstoffe der einzelnen Rezepturen sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4. Zusammensetzung der Mischungen.

Rezeptur-Nr.	551/0	551/4-2	554/0
Inhaltsstoffe	Leimleder	Lederschleifstaub	Lederschleifstaub
	Maisgries	Al ₂ (SO ₄) ₃	Maisgries

3.1.3 Extrusion

Die auf ~ 10 % Wassergehalt konditionierten Mischungen wurden mittels Extrusion zu Schaumkörpergranulat verarbeitet. Dazu wurde der Extruder CM 45 Food (Cincinnati Extrusion GmbH, A-1230 Wien) mit einer Schnecke Type 300 verwendet. Die Austragung des Materials erfolgte über eine Zweilochdüse mit einem Düsendurchmesser von je 3,5 mm. Mittels Granulierkopf GK 45 Food wurden die austretenden Stränge in Granulatform gebracht.

Die Zylindertemperatur in der Einzugszone betrug etwa 80 °C. In der Zylinderzone 2 und 3 wurden Temperaturen von 120 – 140 °C verwendet. Die Zylinderzone 4 wurde auf 170 °C eingestellt. Die Massetemperatur wurde auf 140 °C gehalten.

3.2 HERSTELLUNG DER PLATTEN

3.2.1 Pressvorrichtung

Eine Pressvorrichtung bestehend aus Rahmen und Stempel war erforderlich, um eine definierte Plattenform zu erhalten. Eine Unterlegplatte aus Alu im Format 1000 x 700 x 3 mm wurde zum Einschieben der befüllten Form in die Presse verwendet. Um beim Einschieben dieser Platte in die Presse eine Beschädigung der Heizplattenoberfläche zu verhindern, wurden die Längskanten leicht aufgebogen. Rahmen, Stempel und Unterlegplatte sind in Abbildung 3 ersichtlich.

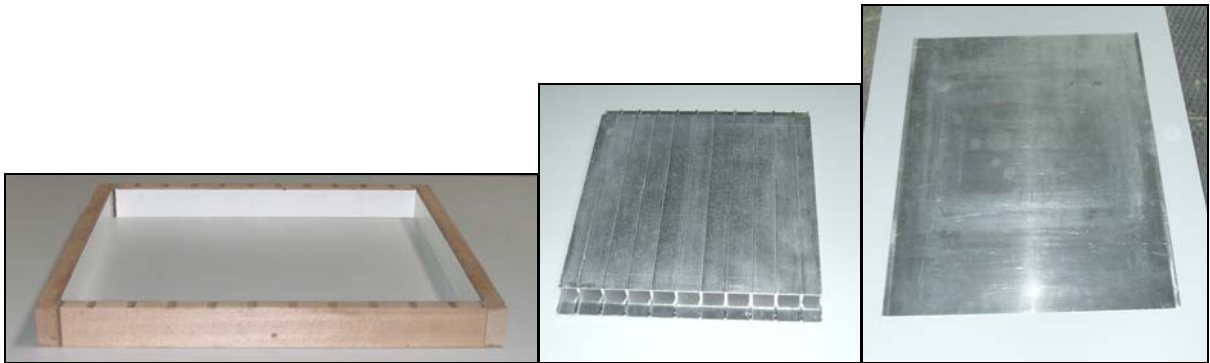


Abbildung 3. Pressvorrichtung zur Plattenherstellung bestehend aus Rahmen, Stempel und Unterlegplatte.

Rahmen

Die Rahmenabmessungen innen wurden mit 535 x 530 x 55 mm definiert. Zur Herstellung des Rahmens wurden Bretter aus Vollholz Buche mit einer Breite von 55 mm und einer Stärke von 25 mm verwendet und je zwei Stück auf 562 und 535 mm abgelängt. Die Bretter wurden anschließend innenseitig mit einer 1 mm Melaminharzplatte belegt und zu einem Rahmen verschraubt.

Zusätzlich wurde in die Rahmenseite mit 535 mm mittig ein Loch mit einem Durchmesser von 4 mm gebohrt, damit während des Pressvorgangs im Zentrum der Platte die Kerntemperatur mittels Temperaturfühler aufgenommen werden kann.

Stempel

Zur Herstellung des Pressstempels wurden neun Stück Alu-Formrohre mit 50 x 30 x 2,5 mm und zwei Stück mit 40 x 30 x 2,5 mm mit einer Länge von je 620 mm zugeschnitten. Diese Formrohre wurden miteinander zu einer Platte mit einer Größe von 620 x 530 mm verklebt. Anschließend wurde die Platte in der Länge beidseitig mit einem Falz von 22/45 mm versehen, wodurch sich Stempel-Abmessungen von 530 x 530 mm und eine Eindringtiefe des Stempels in den Rahmen von 22 mm ergaben.

3.2.2 Herstellen der Schaumkörper-Klebstoff-Mischung

Jede Schaumkörper-Klebstoff-Kombination, im Folgenden als „Serie“ bezeichnet, wird nach einem 2²-Faktorenplan mit vier Versuchspunkten und drei Zentralpunkten hergestellt. Die verwendeten und eingestellten Ober- und Untergrenzen sowie Zentralpunkte der jeweiligen Serien sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5. Aufstellung der Versuchspläne der einzelnen Schaumkörper-Klebstoff-Kombinationen mit ihren jeweiligen Grenzen.

Serie Nr.	Klebstoff	Schaumkörper Rezeptur-Nr.	Versuchs-Nr. ¹⁾	Grenzen Verdichtung [%]		Grenzen KS-Dicke [mm]	
1 2 3 7 8 9	HF	551/4-2 551/0 554/0	S.1	-	20	-	0,0100
			S.2	+	40	-	0,0100
			S.3	-	20	+	0,0250
			S.4	+	40	+	0,0250
	Latex	551/4-2 551/0 554/0	S.Z1	0	30	0	0,0175
			S.Z2	0	30	0	0,0175
			S.Z3	0	30	0	0,0175
4 5 6	KWG	551/4-2 551/0 554/0	S.1	-	20	-	0,0150
			S.2	+	40	-	0,0150
			S.3	-	20	+	0,0350
			S.4	+	40	+	0,0350
			S.Z1	0	30	0	0,0250
			S.Z2	0	30	0	0,0250
			S.Z3	0	30	0	0,0250
¹⁾ Die Versuchs-Nr. setzt sich aus der Serien-Nr. und einer fortlaufenden Zahl bzw. "Z" für Zentralpunkt und einer fortlaufenden Zahl zusammen.							
<u>Abkürzungen:</u> HF = Harnstoffformaldehydleim KWG = Kaliwasserglas							

Die Berechnung der Schaumkörper- und Klebstoffeinwaage erfolgte unter Berücksichtigung der laut den entsprechenden Versuchsplänen festgelegten Grenzen von Verdichtung und Klebschichtdicke.

3.2.2.1 BERECHNUNG DER SCHAUMKÖRPEREINWAAGE IN KG

Die Einwaage der Schaumkörper ist abhängig von deren Schüttgewicht und der gewählten Verdichtung. Diese konnte dabei durch Veränderung der Füllhöhe des Rahmens erzielt werden, da aufgrund der Rahmen-Stempel-Konstruktion generell eine Enddicke der fertigen Platten von 33 mm eingestellt wurde.

Eine Füllhöhe von 55 mm (Rahmen vollständig befüllt) entspricht dabei einer 40 %igen Verdichtung, die die Obergrenze darstellt. Für den Zentralpunkt mit 30 % Verdichtung wurde eine Füllhöhe von 47 mm verwendet. Die Untergrenze mit einer Füllhöhe von 41 mm erreicht eine Verdichtung von 20 %.

Mit Hilfe dieser Füllhöhen und der Plattenfläche von 535 x 530 mm konnte das zugehörige Füllvolumen berechnet werden. Unter Berücksichtigung des Schüttgewichts der Schaumkörper konnte so die Einwaage in kg ermittelt werden. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

3.2.2.2 BERECHNUNG DER KLEBSTOFFMENGE IN G

Alle Klebstoffe (Harnstoffformaldehydleim, Kaliwasserglas und Latex) wurden in unverdünnter Form verwendet. Bei der Berechnung der Klebstoffeinwaage wurden die Dimension der Schaumkörper, die gemäß den Versuchsplänen festgelegten Klebschichtdicken und die dabei eingestellte Verdichtung der Platten sowie die Dichte der Klebstoffe berücksichtigt.

Folgende Daten waren zur Berechnung der Klebstoffmenge in g nötig:

- Füllvolumen der Platte: variabel je Verdichtung
- Klebschichtdicke = variabel lt. Versuchsplan
- Schaumkörper-Dimension = variabel je Rezeptur
- Dichte des Klebstoffs = variabel je Klebstoff

Mittels dieser Angaben konnten die Schaumkörper-Oberfläche und das Volumen der einzelnen Kugeln berechnet werden. Nach Ermittlung der für die Platte erforderlichen Schaumkörper-Anzahl und deren Gesamtoberfläche wurde unter Berücksichtigung der jeweiligen Klebschichtdicke die Klebstoffmenge in ml erhalten. Diese konnte mithilfe der Klebstoff-Dichte in die Klebstoffmenge in g umgerechnet werden.

Beispielberechnung für Platte Versuchs-Nr. 1.1:

Klebstoff:	Harnstoffformaldehydleim
Dichte (ρ):	1,29 g/ml
Schaumkörper:	Rezeptur-Nr. 551/4-2
\emptyset :	8,52 mm
Länge (l_{SK}):	15,37 mm
Volumen (V_{SK}):	876,28 mm ³
Füllvolumen Platte (V_P):	535 x 530 x 41 mm (20 % Verdichtung) = 11.625.550 mm ³
Klebschichtdicke (d_{KS}):	0,01 mm

1. Berechnung der Schaumkörper-Oberfläche (A_{SK}):

$$\rightarrow A_{SK} = 2 * \pi * \emptyset/2 * (l_{SK} + \emptyset/2) = 2 * \pi * 8,52/2 * (15,37 + 8,52/2)$$

$A_{SK} = 525,42 \text{ mm}^2$

2. Berechnung der Klebstoffmenge in g

$$\rightarrow \text{Schaumkörperanzahl} = V_P / V_{SK} = 11.625.550 / 876,28 = 13.267 \text{ Stück}$$

$$\rightarrow A_{SK} \text{ Gesamt} = A_{SK} * 13.267 = 525,42 * 13.267 = 6.970.747,1 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow \text{Klebstoffmenge} = A_{SK} \text{ Gesamt} * d_{KS} = 6.970.747,1 * 0,01 = 69707,5 \text{ mm}^3$$

Klebstoffmenge = 69,708 cm³ (= ml)

$$\rightarrow \text{Klebstoffmenge} = 69,708 * \rho = 69,708 * 1,29$$

Klebstoffmenge = 89,92 g

Da die tatsächliche Berechnung mittels Computer erfolgte und die verwendeten Daten dabei nicht gerundet wurden, weicht die hier errechnete Klebstoffmenge von 89,92 g von der in Tabelle 8 angeführten berechneten Klebstoffmenge mit 91,37 g geringfügig ab.

Sämtliche Ergebnisse der Klebstoffberechnung sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

3.2.2.3 KLEBSTOFFEINTRAG

Die berechnete Schaumkörpermenge in kg wurde unter Verwendung einer Waage SARTORIUS MC 1 Laboratory LC 34 (Sartorius AG, Deutschland) mit einer Ablesbarkeit von 1 g in einen Kübel (10 l) eingewogen. Zur Beleimung diente eine handelsübliche Betonmischmaschine. Die Schaumkörper wurden in der Mischmaschine vorgelegt, diese eingeschaltet und anschließend der Klebstoff mit Hilfe einer Sprühflasche (500 ml) zudosiert. Die tatsächlich zugegebene Klebstoffmenge wurde mittels einer Waage SARTORIUS portable PT 1200 (Sartorius AG, Deutschland) überwacht und notiert.

3.2.3 Formfüllung

Der Rahmen wurde auf einer Alu-Unterlegplatte positioniert, um das Befüllen der Form außerhalb der Presse zu ermöglichen. Weiters diente sie als Hilfsmittel zum Einlegen der befüllten Form in die Presse.

In den Rahmen wurde nun die untere Deckschicht eingelegt. Das dazu verwendete Papier trennte die Schüttkörper-Klebstoff-Mischung von der Pressvorrichtung, um eine Verschmutzung dieser mit Klebstoff zu verhindern. Anschließend befüllte man ihn mit den beleimten Schaumkörpern und legte die obere Deckschicht ein. Nun konnte der Alustempel aufgesetzt und die fertig befüllte Form der Verpressung zugeführt werden.

3.2.4 Pressen

Die Pressversuche wurden mit der unter Punkt 2.3.1 beschriebenen Presse OTT Type JU 50 (Paul Ott GesmbH, A-4650 Lambach), durchgeführt.

Zur Druckbemessung wurde die Größe des Rahmens (535 x 530 mm) herangezogen. Mit Hilfe dieser Abmessungen konnte der einzustellende **Pressdruck** in der OTT Drucktabelle (siehe Tabelle 3) abgelesen werden.

- Drucktabelle L/B → 50/60 cm
- Abgelesener einzustellender Pressdruck
→ 35 kg/cm² bei einem spezifischen Pressdruck von 2,5 kg/cm²

Diese Einstellung reichte jedoch nur zum Komprimieren der Schaumkörper Rezeptur-Nr. 551/4-2 aus. Für die Rezeptur-Nr. 551/0 und 554/0 musste der Druck erhöht werden, um das Eindringen des Stempels bis zum Anschlag zu ermöglichen. Daher wurde zur Verdichtung der Schaumkörper Rezeptur-Nr. 551/0 ein Pressdruck von 90 kg/cm² und für die Rezeptur-Nr. 554/0 von 60 kg/cm² verwendet. Für diese Pressdrücke ergaben sich folgende spezifische Drücke:

→ 60 kg/cm² entspricht einem spezif. Pressdruck von 4,3 kg/cm²

→ 90 kg/cm² entspricht einem spezif. Pressdruck von 6,4 kg/cm²

Die **Presstemperatur**, d.h. die Temperatur der beiden Pressplatten, wurde unabhängig von Schaumkörper-Rezeptur und Klebstoffart auf 90 °C eingestellt. Nach dem Erreichen der Solltemperatur konnte die vorgefertigte Form in die Presse eingelegt werden. Anschließend wurden die beiden Pressplatten zusammengefahren und der Temperaturfühler des Digitalthermometers Ama-digit ad20th (AMARELL GmbH & Co. KG, Deutschland) durch das im Rahmen vorhandene Loch in die Platte eingestochen.

Die **Presszeit** wurde mit 5 min festgelegt und mittels Stoppuhr aufgenommen.

Die **Kerntemperatur**, d.h. die mittels Digitalthermometer im Zentrum der Platte gemessene Temperatur wurde nach Beendigung der 5-minütigen Presszeit abgelesen und notiert.

Nach Abschluss des Pressvorgangs wurde die Presse geöffnet und die Platte entformt.

3.2.5 Lagerung

Die Lagerdauer wurde entsprechend den Ergebnissen aus der Bestimmung der Sorptionsisotherme gewählt. Die gepressten Platten wurden daher für mind. 12 Tage im Normklima bei 23 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50 % gelagert.

3.3 HERSTELLUNG VON TÜRBLÄTTERN

Die Herstellung von Mustertüren diente einerseits zur Abschätzung der Verarbeitbarkeit mittels in der Türenindustrie üblicher Maschinen (Kreissäge, Breitbandschleifmaschine, usw.) und andererseits zur Überprüfung der Verpressbarkeit der Platten in Türblattkonstruktionen.

3.3.1 Herstellung der Innenlage

Es wurden je acht Platten entsprechend den Versuchsnummern 7.2, 8.2 und 9.Z1 (siehe Tabelle 5) wie unter Punkt 3.2 beschrieben, hergestellt.

Die Auswahl dieser Platten erfolgte in erster Linie aufgrund der sehr guten Verarbeitungsergebnisse von Latex. Weiters konnte im Zuge einer optischen Beurteilung der Platten festgestellt werden, dass die Serie 7, 8 und 9 eine auffallend homogene Verteilung der Schaumkörper aufweisen. Als endgültige Entscheidungskriterien wurden die Ergebnisse des Druckversuchs sowie der Formstabilitätsmessung in unterschiedlichen Klimaten herangezogen. Dabei deuten die Ergebnisse des Druckversuchs auf eine gewisse Elastizität der Platten hin, was sich auf die Schalldämmung positiv auswirken könnte. Hinsichtlich Formstabilität waren diese drei Serien die einzigen, die allen Klimaten standhielten und damit den Einsatz in Türen ermöglichen.

3.3.2 Zuschnitt

Die hergestellten und in der Produktionshalle konditionierten Platten wurden mit einer Formatkreissäge PANHANS Type 690-A (PANHANS Maschinenbau GmbH, A-4563 Micheldorf) auf eine Länge von 422,5 mm und eine Breite von 370 mm zugeschnitten und für die Kalibrierung bereitgestellt.

3.3.3 Kalibrierung

Zur Kalibrierung der Platten 8.2 und 9.Z1 auf eine Dicke von 31,5 mm bzw. der Platten 7.2 auf 30 mm wurde ein Schleifautomat ERNST Type 850 (Maschinenfabrik Paul ERNST GmbH, Deutschland) verwendet.

Diese Breitbandschleifmaschine enthält zwei Breitbänder mit einer jeweiligen Schleifpapierabmessung von 2620 x 1400 mm und unterschiedlicher Körnung. Die Platten wurden einseitig abgeschliffen, wobei am Breitband 1 Schleifpapier mit einer Körnung von 60 und am Breitband 2 mit einer Körnung von 80 eingesetzt wurde.

Hinweis:

Da bei diesen Innenlagen die Dicke von 33 mm nicht erreicht wurde, mussten auch die Rahmen entsprechend nachkalibriert werden!

3.3.4 Pressen

Die Mustertüren wurden mit der unter Punkt 2.3.2 beschriebenen Presse WILD Type Optima (Wild Maschinen GmbH, Deutschland) hergestellt. Dazu wurde eine Furnier Buche und darauf eine beidseitig mit einem speziellen Harnstoffformaldehydleim-Härter-Mehl Bonit-Ansatz beleimte Hartfaserplatte am Vorbereitungsband positioniert. Anschließend wurde der Rahmen aufgelegt und die zugeschnittenen und kalibrierten Platten einer Serie eingelegt. Nach Positionierung der zweiten Deckplatte sowie der Oberflächenbeschichtung wurde diese Konstruktion der Presse zugeführt und bei folgenden Maschineneinstellungen verpresst:

- spezif. Pressdruck 2,5 kg/cm²
- Presstemperatur 90 °C
- Presszeit 7,5 min

3.3.5 Konditionierung und Nachbearbeitung

Die Konditionierung dieser verpressten Elemente erfolgte am Stapel in der Produktionshalle. Anschließend wurden die Türen formatiert, d.h. auf das fertige Türmaß zugeschnitten und die Kantenbearbeitung, sprich die Falzausbildung, durchgeführt. Nach dem Schleifen der Oberflächen (Furnier) erfolgte die Flächen- und Kantenlackierung in der Lackierstraße. Im letzten Schritt wurden die Türen gestemmt, d.h. der Schlosskasten ausgefräst und die Bandbohrungen hergestellt.

4. Analysenmethoden

4.1 ANALYSEN AN DEN SCHAUMKÖRPERN

4.1.1 Optische Beurteilung der Beschaffenheit

Die optische Beurteilung erfolgte unmittelbar nach der Produktion der Schaumkörper. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf Farbe, Oberflächenbeschaffenheit, Homogenität und Elastizität der Schaumkörpergranulate gelegt. Die Elastizität wurde anhand der Zusammendrückbarkeit mit den Fingern ermittelt und mit den Zahlen „0“, „1“ und „2“ beurteilt.

4.1.2 Mikroskopische Untersuchung

Die mikroskopische Untersuchung der Schaumkörper erfolgte nach 14-tägiger Lagerung im Normklima mit einem Binocular NICON Type SMZ-2T (Fa. Nikon, Japan) unter Verwendung einer 7fachen Vergrößerung.

Als Proben dienten ca. 1 – 2 mm dicke Scheiben der Schaumkörper, die sowohl in Längs-, als auch in Querrichtung mit Hilfe eines Stanleymessers entnommen wurden. Ziel dieser Untersuchung ist die Analyse eventueller Unterschiede in der Schaumstruktur in Bezug auf die verwendeten Inhaltsstoffe.

4.1.3 Bestimmung der Dichte

Die Dichtemessung der Schaumkörper erfolgte nach dem Auftriebsverfahren in Anlehnung an die DIN 53479, Juli 1976 und wurde mittels einer Dichtewaage METTLER TOLEDO PG 203-S (Mettler-Toledo GmbH, Schweiz) mit einer Messgenauigkeit von 0,001 g durchgeführt. Als Prüfflüssigkeit diente Osmosewasser mit einer Temperatur von 20 °C.

Es wurden je fünf repräsentative Proben, je nach Rezeptur bestehend aus etwa drei bis fünf Schaumkörpern, zur Dichtemessung herangezogen. Nach Ermittlung des Gewichts der Proben an der Luft wurden diese in die Prüfflüssigkeit getaucht und erneut gewogen.

Da die Proben eine kleinere Dichte als das Osmosewasser aufweisen, war es erforderlich, einen Korb für schwimmende Festkörper zu verwenden, um den Körper unter der Oberfläche der Prüfflüssigkeit halten zu können. Die Dichte wurde nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\text{Dichte } \rho \text{ [g/cm}^3\text{]} = \frac{m_{\text{Luft}} * \rho_{\text{Wasser}}}{m_{\text{Luft}} - m_{\text{Wasser}}}$$

m_{Luft} Masse der Probe in g in der Luft gewogen

m_{Wasser} Masse der Probe in g in der Prüfflüssigkeit (Osmosewasser) gewogen

ρ_{Wasser} Dichte der Prüfflüssigkeit (Osmosewasser): 0,99823 g/cm³

entnommen aus der Dichtetabelle für destilliertes Wasser bei 20 °C

Hinweis:

Es ist darauf zu achten, dass während der Messung in der Prüfflüssigkeit keine Luftbläschen an den Schaumkörpern haften!

4.1.4 Ermittlung des Schüttgewichts

Es wurde ein Messbecher mit einem definierten Volumen von 2,412 Liter auf einer Waage SARTORIUS portable PT 1200 (Sartorius AG, Deutschland) mit einer Ablesbarkeit von 0,1 g abgewogen und so dessen Leergewicht bestimmt. Anschließend wurde dieser mit Schaumkörpern befüllt und erneut abgewogen. Das Schüttgewicht wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Schüttgewicht [g/l]} = \frac{(m_{\text{M+P}} - m_{\text{M}})}{2,412}$$

$m_{\text{M+P}}$ Masse von Messbecher und Probenmenge in g

m_{M} Masse des Messbechers in g

4.1.5 Bestimmung der Dimension

Die Dimension (Länge und Durchmesser) der zylindrischen Schaumkörper wurde an zehn repräsentativen Proben mittels einer digitalen Schiebelehre mit einer Messgenauigkeit von 0,01 mm gemessen und anschließend der Mittelwert dieser Messwerte gebildet.

4.1.6 Bestimmung der Feuchte mittels IR-Waage

Die Feuchte der Schüttkörper wurde sowohl vor deren Verpressung zu Platten, als auch nach einer entsprechenden Lagerung im Normklima bei 23 °C und 50 % rel. Luftfeuchte gravimetrisch mittels Infrarot-Waage SARTORIUS MA 30 (Sartorius AG, Deutschland) bestimmt. Dazu wurden ca. 3 g Probe auf der Probenschale gleichmäßig verteilt. Die Trocknungstemperatur betrug 110 °C.

Die Dauer der Feuchtigkeitsbestimmung richtete sich bei der Einstellung „Vollautomatik“ nach der Gewichtsänderung zwischen zwei Messintervallen. Sobald keine wesentliche Gewichtsänderung mehr zu erwarten war, d.h. der Gewichtsverlust pro Zeiteinheit gegen Null ging, wurde die Feuchtemessung beendet. Als Ergebnis erhielt man die der Probe entzogene Feuchtigkeit in %.

Berechnungsgrundlage:

$$\text{Feuchtigkeit [\%]} = \frac{m_A - m_E}{m_A} * 100$$

m_A Masse der Probe in g zu Beginn der Messung

m_E Masse der Probe in g am Ende der Messung

4.1.7 Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit – der sogenannte Lambda-Wert – wurde an einer losen Schaumkörperschüttung mit der Kubatur von 500 x 500 x 100 mm gemessen. Dazu wurde ein Plattenmessgerät verwendet und die Messung auf Abstand (ohne Druckbelastung) durchgeführt.

4.1.8 Bestimmung der Sorptionsisotherme

Zur Bestimmung der Sorptionsisotherme wurden die Schaumkörpergranulate bei konstanter Temperatur (20 °C) und bei verschiedenen Luftfechtigkeiten in Exsikkatoren gelagert. Die unterschiedlichen Luftfechtigkeiten wurden durch ausgewählte Salz-Lösungen erhalten. Ihre zugehörigen a_w -Werte sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6. a_w -Werte von ausgewählten gesättigten Salz-Lösungen.

Salz	LiCl	MgCl ₂	K ₂ CO ₃	Mg(NO ₃) ₂	NaBr	SrCl ₂	NaCl	KCl
a_w -Wert	0,112	0,327	0,438	0,529	0,577	0,708	0,753	0,843

Während der Lagerung adsorbiert oder desorbiert die Probe Wasser aus der Umgebung bis zum Erreichen des Gleichgewichtszustandes. Der Wassergehalt der Proben im Gleichgewichtszustand kann aufgrund der Gewichtsänderung der Proben während der Lagerung berechnet werden.

Vorbereitung von gesättigten Salz-Lösungen

In einem 2000 ml Becherglas werden ca. 200 ml destilliertes Wasser vorgelegt und anschließend stufenweise und unter ständigem Rühren 1 – 1,5 kg des jeweiligen Salzes zugegeben. Sollte die gesamte Wassermenge dabei durch das Salz absorbiert worden sein, so muss Wasser bis zu einem Überstand von 5 mm zudosiert werden.

Anschließend wird die Salz-Suspension ebenfalls unter ständigem Rühren 30 min bei 70 °C erhitzt. Nach Abkühlen der Salz-Suspension auf Raumtemperatur wird das nicht aufgelöste Salz durch eine Nutsche abfiltriert und in den Exsikkator gegeben.

Vorbereitung der Probe

Die Proben wurden ohne Vorbehandlung verwendet. Der Wassergehalt der Proben wurde nach der Karl-Fischer-Methode bestimmt. Dazu wurden ca. 10 g Probe (Schaumkörper) in einen Messkolben eingewogen und anschließend mit wasserfreiem Methanol auf 100 ml aufgefüllt. Als Blindwert dienten 100 ml wasserfreies Methanol. Alle Messkolben wurden luftdicht verschlossen. Die Auswertung erfolgte nach 10 Tagen mit der Karl Fischer Titration. Dabei wurde das aus der Probe mittels wasserfreiem Methanol extrahierte Wasser durch den Verbrauch an Titrant berechnet. Unter Berücksichtigung des Blindwerts konnte anschließend der Wassergehalt der Probe ermittelt werden.

Durchführung der Bestimmung

Zur Konditionierung der Wägegäler und Deckel wurden diese für einen Tag in die Exsikkatoren gestellt. Dann wurden sie auf 0,1 mg genau gewogen.

Anschließend wurden je 2 – 5 g Probe in die Wägegläser übertragen, mit dem Deckel verschlossen und wieder auf 0,1 mg genau gewogen. Die Schichtdicke der Probe sollte ca. 5 mm betragen. Die Wägegläser wurden in die jeweiligen Exsikkatoren gestellt und der Deckel vom Wägeglas abgenommen. Die Wägegläser mit den Proben (und Deckel!) wurden nach 1, 2, 5, 6, 7, 12, 19, 27, 41, 51 und 54 Tagen erneut gewogen und der jeweilige Wassergehalt nach folgenden Formeln berechnet:

$$\text{Wassergehalt } E_N \text{ [g H}_2\text{O/100 g TS]} = \frac{(F_N - C - A) * 100}{A}$$

$$\text{Wassergehalt } G_N \text{ [% H}_2\text{O]} = \frac{E_N * 100}{E_N + 100}$$

- E_N Wassergehalt der Probe nach „N“ Tagen Lagerung in g Wasser/100 g TS
- F_N Gewicht Wägeglas mit Probe nach „N“ Tagen Lagerung in g
- C Gewicht Wägeglas leer in g
- A Trockensubstanz (TS) der Probe in g
- G_N Wassergehalt der Probe nach „N“ Tagen Lagerung in %

4.2 ANALYSEN AN DEN PLATTEN

4.2.1 Ermittlung der Kerntemperatur

Die Kerntemperatur wurde im Zuge des Plattenpressens mit Hilfe eines Digitalthermometers Ama-digit ad20th (AMARELL GmbH & Co. KG, Deutschland) aufgenommen. Dazu wurde der Temperaturfühler des Digitalthermometers durch das im Rahmen vorhandene Loch in die Platte eingestochen. Die Kerntemperatur wurde bei einer konstanten Presstemperatur von 90 °C nach Ablauf der Presszeit von fünf Minuten notiert.

Die Ergebnisse werden entsprechend den Versuchsplänen statistisch ausgewertet und mögliche Effekte von Verdichtung und Klebschichtdicke ermittelt. Weiters soll ein Wechselwirken zwischen Kerntemperatur der Platten und Wärmeleitfähigkeit der Schaumkörper überprüft werden.

4.2.2 Ermittlung des Flächengewichts

Die Flächengewichtsbestimmung dient zur Ermittlung des Gewichts der Platten in kg/m² und soll die Gewichtsreduktion gegenüber herkömmlich verwendeten Materialien bestätigen. Dazu wurden jeweils drei Proben mit den Abmessungen 100 x 100 mm mittels einer Analysenwaage SARTORIUS AC 210S (Sartorius AG, Deutschland) abgewogen und aus deren Mittelwert das jeweilige Flächengewicht wie folgt berechnet:

$$\text{Flächengewicht [kg/m}^2\text{]} = \frac{m_{\text{Probe}}}{A_{\text{Probe}}} * 1000$$

m_{Probe} Mittelwert der Masse der drei Proben in g

A_{Probe} Fläche der Probe in mm²

Die ermittelten Werte werden zur Berechnung der Effekte von Verdichtung und Klebschichtdicke einer statistischen Auswertung unterzogen und mit den bekannten und nachfolgend angeführten Werten einer Spanplatte Type V20, 20 – 25 mm stark, verglichen: [Wikimedia Foundation Inc., 2005b]

❖ Flächengewicht: 14 – 15 kg/m²

4.2.3 Bestimmung der Formstabilität

Diese Analyse dient zur Ermittlung der Dimensionsänderung der Proben, die bestimmten Umgebungsbedingungen über eine festgelegte Zeitspanne ausgesetzt waren und rekonditioniert wurden. Die Bestimmung der Formstabilität wurde auf die Messung der Probendicke beschränkt, da aufgrund der Verpressung der Schaumkörper zu Platten die größte Änderung in Pressrichtung zu erwarten ist.

Die Dickenmessung wurde mittels Universalprüfmaschine UPM Typ 81816 (Karl Frank GmbH, Deutschland) und einer Messdose von 10 kN in Anlehnung an die DIN ISO 2796, 1986 durchgeführt. Der Versuchsaufbau zur Dickenmessung ist in Abbildung 4 dargestellt.

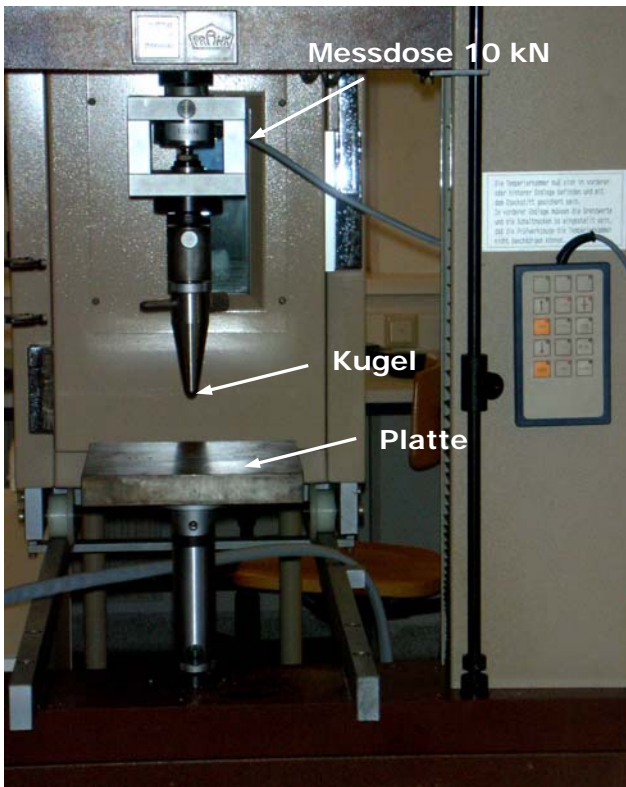


Abbildung 4. Versuchsaufbau der UPM zur Dickenmessung.

Der Abstand zwischen Kugel und Platte wurde mit einer Messlänge von 35 mm definiert. Die Kugel bewegte sich mit einer Geschwindigkeit von 20 mm/min in Richtung Probe und löste beim Erreichen der Vorkraft von 0,2 N den Start der Messung aus. Als Messergebnis wurde die - um den von der Kugel zurückgelegten Weg - verminderte Messlänge ausgegeben, welche der Höhe der Probe entsprach.

Als Lagerungsbedingungen wurden folgende Klimaeinstellungen gewählt:

- 23 °C und 85 % rel. LF
- 85 °C (keine LF)
- -10 °C (keine LF)

Diese Klimaeinstellungen sollen Extremsituationen simulieren, denen Türen unter Umständen ausgesetzt sind. Für jede Lagerungsbedingung wurden drei Probekörper aus jeder Versuchsnummer bzw. jedem Zentralpunkt für mind. 12 Tage im Normklima bei 23 °C und 50 % rel. Luftfeuchtigkeit konditioniert.

Als Probekörper dienten Platten mit den Abmessungen 100 x 100 mm und einer Ausgangsprobendicke von ca. 32 mm. Die Messung der Dicke erfolgte an den fünf, in der Norm definierten Messpunkten unmittelbar vor der Lagerung und anschließend nach 20 und 48 Stunden, sowie 7 und 28 Tagen Lagerung unter den oben festgelegten Bedingungen und entsprechender Rekonditionierung im Normklima. Die prozentuelle Dickenänderung der Probekörper wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\text{Dickenänderung [\%]} = \frac{\delta_t - \delta_0}{\delta_0} * 100$$

δ_0 Mittelwert der Probekörperdicke vor der Prüfung in mm

δ_t Mittelwert der Probekörperdicke nach Lagerung (20 h, 48 h, 7 d, 28 d) in mm

Anschließend werden die Mittelwerte pro Versuchsnummer bzw. Zentralpunkt ermittelt und unter Berücksichtigung der visuell festgestellten Verformungen der Probekörper am Ende der Lagerzeit eine statistische Auswertung der einzelnen Versuchspläne durchgeführt.

4.2.4 Druckversuch

Der Druckversuch diente zur Messung der Druckfestigkeit als Parameter für die maximal mögliche Flächenbelastung. Er erfolgte in Anlehnung an die DIN 53421, Juni 1984 und wurde mit der Universalprüfmaschine UPM Typ 81816 (Karl Frank GmbH, Deutschland) unter Verwendung einer Messdose von 10 kN durchgeführt. Für diese Prüfung wurden fünf Proben je Versuchsnummer bzw. Zentralpunkt mit den Maßen 50 x 50 x Plattendicke mm vorbereitet und anschließend zwischen den Druckplatten positioniert, sodass die Richtung der Druckbeanspruchung der Pressrichtung bei der Plattenherstellung entsprach. Die Messlänge - der Abstand zwischen den Druckplatten - betrug 35 mm. Die Platten näherten sich mit einer Geschwindigkeit von 30 mm/min und die Messung startete mit Erreichen der eingestellten Vorkraft von 1 N.

Als Messwerte wurden neben der Druckfestigkeit σ_{dB} , d.h. der max. Druckspannung [MPa], die von dem Probekörper während eines Druckversuches getragen wird, die Druckspannung an den Messpunkten bei 0,5 %, 1 %, 2 %, 5 %, 10 %, 15 % und 20 % nomineller Stauchung ε_c aufgezeichnet. Als Ergebnis wurden die Druckspannung bei 10 % Stauchung σ_{d10} in MPa und der Druckmodul E_c [MPa] als Quotient aus der Spannungsdifferenz ($\sigma_2 - \sigma_1$) und der entsprechenden Dehnungsdifferenz ($\varepsilon_2 - \varepsilon_1$) ermittelt. Er beschreibt demnach den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers bei linear elastischem Verhalten. Je steifer ein Material ist, umso mehr Widerstand setzt es seiner Verformung entgegen und umso größer ist dann auch der Betrag des Moduls. [Wikimedia Foundation Inc., 2005a]

Diese Ergebnisse werden einerseits den bekannten Werten einer Spanplatte Type V20 mit 20 – 25 mm Stärke und andererseits den Werten von expandiertem Polystyrol (EPS), das unter dem Handelsnamen Styropor bekannt ist, gegenübergestellt:

Spanplatte: [Wikimedia Foundation Inc., 2005b]

- ❖ Druckfestigkeit in Plattenebene: 14 – 12 MPa
- ❖ Druck-E-Modul in Plattenebene: 2700 – 2200 MPa

Styropor: [IVH Industrieverband Hartschaum e.V., 2005]

- ❖ Druckspannung bei 10 % Stauchung: $\geq 0,1 - 0,15$ MPa

In weiterer Folge werden die Druckspannung bei 10 % Stauchung [MPa] und der Druckmodul E_c [MPa] entsprechend der Versuchspläne statistisch ausgewertet und diskutiert.

4.2.5 Querzugversuch

Der Querzugversuch diente zur Überprüfung der inneren Plattenfestigkeit, um eine entsprechende Plattenstabilität gewährleisten zu können. Die Durchführung erfolgte mit der Universalprüfmaschine UPM Typ 81816 (Karl Frank GmbH, Deutschland) unter Verwendung einer Messdose von 500 N.

Nach dem Zuschneiden der Proben auf 50 x 45 mm wurden an deren Ober- und Unterseite Spanplatten mit den Abmessungen 80 x 45 x 19 mm mit Weißbleim aufgeklebt. Dabei muss diese Klebschicht so stark sein, dass beim Zugversuch selbst der Bruch innerhalb der Probe auftritt. Die Proben wurden – wie im Versuchsaufbau in Abbildung 5 dargestellt – in die Zugvorrichtung eingespannt.

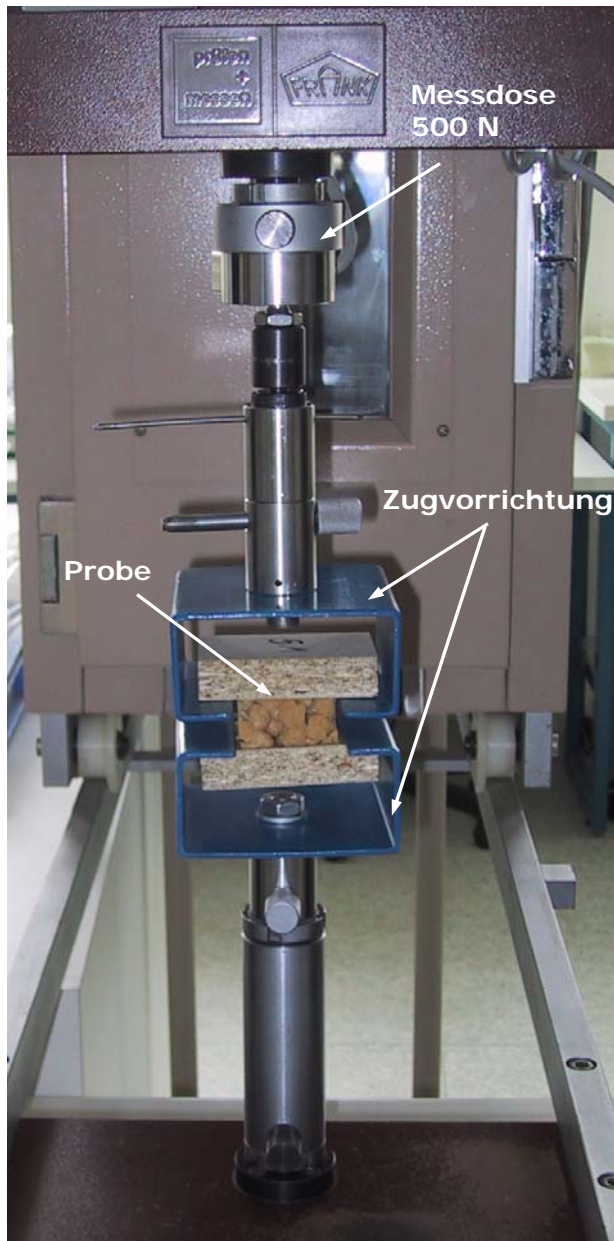


Abbildung 5. Versuchsaufbau der UPM für den Querkzugversuch.

Die obere Zugvorrichtung bewegte sich bis zum Erreichen der Vorkraft von 2 N mit einer Geschwindigkeit von 10 mm/min weg von der unteren. Die definierte Prüfgeschwindigkeit betrug 5 mm/min. Als Ergebnis wurden die maximale Querkzugkraft [N] sowie der Querkzug-E-Modul [MPa] erhalten.

Die Werte der Querkzugkraft bezogen auf die Probengröße wurden einerseits mit den Querkzugfestigkeiten einer Spanplatte Type V20, 20 – 25 mm stark und andererseits mit Styropor verglichen:

Spanplatte: [Wikimedia Foundation Inc., 2005b]

- ❖ Querkzugfestigkeit trocken 0,7 – 0,35 MPa

Styropor: [IVH Industrieverband Hartschaum e.V., 2005]

- ❖ Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene: $\geq 0,1 - 0,15$ MPa

4.3 ANALYSEN AN DEN TÜREN

4.3.1 Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit der Innenlagen

Für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit der Innenlagen wurde je eine Platte der Versuchsnummer 7.2, 8.2 und 9.Z1 auf das Format 500 x 500 mm zugeschnitten. Die Messung erfolgte - unter Einstellung einer Belastung von 1000 N bezogen auf die Probenfläche - mit einem Plattenmessgerät gemäß DIN 52612, Teil 1. Die Ergebnisse werden mit der Wärmeleitfähigkeit der Schaumkörper verglichen und diskutiert.

4.3.2 Ermittlung des Flächengewichts der Türen

Zur Ermittlung des Flächengewichts der Mustertüren wurden diese mit einer Waage (Ablesbarkeit 100 g) abgewogen und unter Berücksichtigung der Türblattgröße von 850 x 2030 mm das Flächengewicht errechnet. Die Ergebnisse wurden mit den Gewichten herkömmlicher Türen verglichen.

5. Detailergebnisse

5.1 VERARBEITUNG

5.1.1 Einwaage – Schaumkörper

Tabelle 7. Berechnete Schaumkörpereinwaagen unter Berücksichtigung des Schüttgewichts der Schaumkörper und der Verdichtung der Platten.

Schaumkörper Rezeptur-Nr.	Berechnete Einwaage in kg bei einer Verdichtung von		
	20 %	30 %	40 %
551/0	0,94	1,08	1,26
551/4-2	1,30	1,48	1,73
554/0	1,53	1,75	2,05

Die berechneten Schaumkörpereinwaagen der Rezepturen 551/0, 551/4-2, und 554/0 sind in Abhängigkeit vom jeweiligen Schüttgewicht im Diagramm 1 dargestellt.

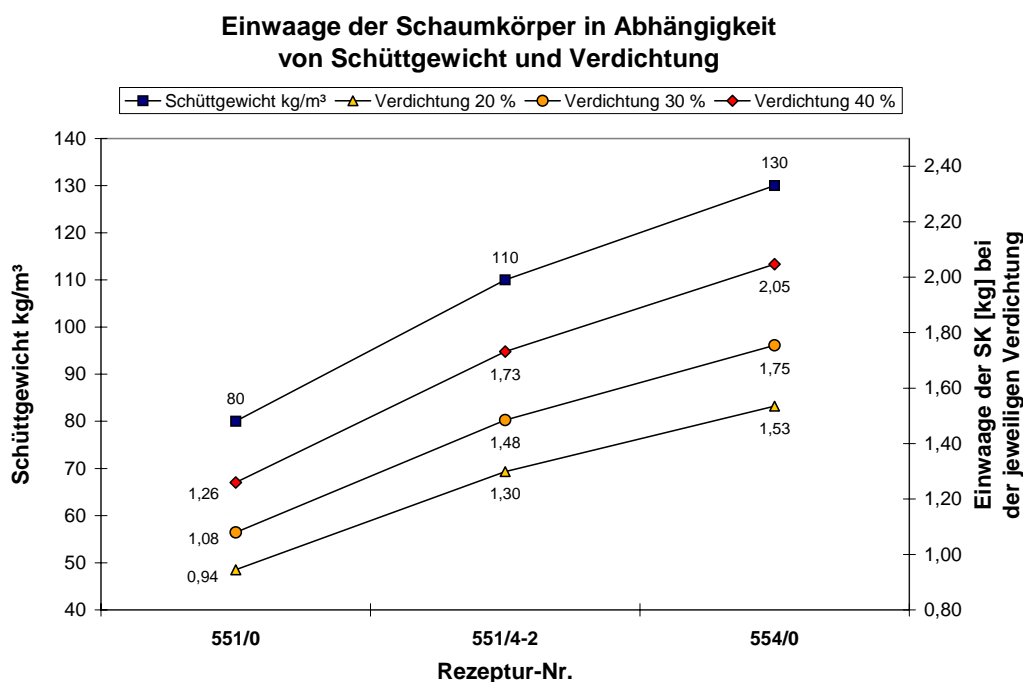


Diagramm 1. Berechnete Schaumkörper-Einwaagen in kg in Abhängigkeit vom Schüttgewicht der jeweiligen Rezeptur und der eingestellten Verdichtung.

Es ist festzustellen, dass sowohl ein Anstieg des Schüttgewichts der Schaumkörper, als auch eine zunehmende Verdichtung, die Einwaage der Schaumkörper deutlich erhöhen. Es ist daher zu erwarten, dass das Flächengewicht der Platten maßgeblich von diesen beiden Einflussfaktoren abhängen wird.

5.1.2 Einwaage – Klebstoff

In der Tabelle 8 sind die berechneten Klebstoffmengen in g unter Berücksichtigung der laut Versuchsplan vorgesehenen Verdichtung, Klebschichtdicke und Schaumkörper-Rezeptur zusammengefasst. Für die Schaumkörper-Klebstoff-Kombination wurde die Bezeichnung „Serie“ gemäß Tabelle 5 verwendet.

Tabelle 8. Ergebnisse der Berechnung der Klebstoffmenge in g für die jeweilige Verdichtung, Klebschichtdicke und Serie (Schaumkörper-Klebstoff-Kombination).

Verdichtung [%]	KS-Dicke [mm]	Berechnete Klebstoffmenge in g für Serie								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Harnstoffformaldehydleim			Kaliwasserglas			Latex		
		551/4-2	551/0	554/0	551/4-2	551/0	554/0	551/4-2	551/0	554/0
-	-	91,37	76,41	90,07	139,18	116,40	137,20	72,96	61,01	71,91
+	-	121,83	101,88	120,09	185,58	155,19	182,93	97,27	81,35	95,89
0	0	182,77	152,85	180,16	265,15	221,74	261,36	145,93	122,04	143,85
-	+	228,43	191,03	225,17	324,76	271,59	320,12	182,39	152,53	179,79
+	+	304,57	254,71	300,22	433,01	362,12	426,83	243,19	203,37	239,71
Anmerkung: - ... Untergrenze lt. Versuchsplan + ... Obergrenze lt. Versuchsplan 0 ... Mittelwert der Zentralpunkte lt. Versuchsplan										

5.1.3 Plattenherstellung

5.1.3.1 KLEBSTOFFEINTRAG

Der Klebstoffeintrag mittels Sprühflasche eignete sich hinsichtlich der Dosierung der berechneten Klebstoffmenge sehr gut, hingegen für die homogene Verteilung des Klebstoffs an der Schaumkörperoberfläche wäre ein feinerer Auftrag besser.

5.1.3.2 MISCHEN

Die zum Mischen verwendete Betonmischmaschine zeichnete sich durch eine einfache Handhabung und Reinigung aus. Durch ihre schonende Beanspruchung der zu mischenden Komponenten war sie auch besonders für die relativ spröden Schaumkörper Rezeptur-Nr. 551/0 geeignet.

Diese Mischbewegung verursachte ein Reiben der Schaumkörper untereinander, wodurch die Klebstoffe annähernd homogen aufgebracht bzw. verteilt werden konnten. Eine negative Beeinflussung der homogenen Verteilung konnte insbesondere bei der Serie 5 durch eine raue Oberflächenbeschaffenheit der Schaumkörper Rezeptur-Nr. 551/0 und durch die geringere Viskosität des Klebstoffs von Kaliwasserglas festgestellt werden.

5.1.3.3 FORMFÜLLUNG

Die Formfüllung wurde im Wesentlichen durch den verwendeten Klebstoff beeinflusst. Grundsätzlich ließ sich der Latex am Besten verarbeiten und auch die damit beleimten Schaumkörper konnten unproblematisch und homogen in der Pressform verteilt werden.

Die mit Harnstoffformaldehydleim (HF-Leim) hergestellten Mischungen zeichneten sich zwar durch eine sehr gute und gleichmäßige Benetzung der Schaumkörper aus, sie konnten aber nur sehr schwierig im Rahmen verteilt werden. Mitunter musste die Mischmaschine nach jeder Mischung gereinigt werden. Diese vom HF-Leim verursachten Verarbeitungsschwierigkeiten konnten nur durch den Verzicht auf Härterzusatz bewältigt werden.

Da es ohne Härterzusatz jedoch zu einer verstärkten Formaldehydabgabe kommen kann, wäre bei Verwendung des HF-Leims in weiterführenden Versuchen der Einsatz eines Puffersystems anzuraten, um eine Verlängerung der Topfzeit des Leims zu erreichen.

Kaliwasserglas bildete aufgrund seiner geringen Viskosität einen sehr dünnen Klebschichtfilm an der Schaumkörperoberfläche sowie an der Mischtrommel. Dadurch waren ebenfalls mehrere Reinigungen pro Versuchsserie erforderlich. Die Verteilung der beleimten Schaumkörper in der Form war jedoch etwas unkomplizierter wie vergleichsweise beim HF-Leim.

5.1.3.4 PRESSEN

Während des Pressens erfolgte ein Energieeintrag in die Platten, wodurch die Platten in Abhängigkeit der verwendeten Schaumkörper eine unterschiedliche Konsistenz beim Entformen aufwiesen.

Konsistenz der Platten in Abhängigkeit der verwendeten Schaumkörper:

- Rezeptur-Nr. 551/0 → sehr stabile Platten
- Rezeptur-Nr. 551/4-2 → sehr weiche Platten
- Rezeptur-Nr. 554/0 → relativ stabile Platten

Zusätzlich war ein Einfluss des Klebstoffs auf die Enddicke der Platten bemerkbar. Besonders bei Kaliwasserglas wurde eine Reduktion der über die Pressvorrichtung eingestellten Plattendicke von 33 mm verzeichnet. Diese visuelle Wahrnehmung kann mit Hilfe der in Tabelle 9 zusammengefassten Werte belegt werden. Die Daten entsprechen der Probendicke nach der Konditionierung im Normklima und resultieren aus der 1. Messung der Formstabilität bei 23 °C und 83 % rel. Luftfeuchtigkeit. Sie stellen die Mittelwerte der drei gemessenen Zentralpunkte je Serie dar.

Tabelle 9. Plattendicke nach 12-tägiger Lagerung im Normklima.

Verdichtung [%]	KS-Dicke [mm]	Plattendicke in mm für Serie								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Harnstoffformaldehydleim			Kaliwasserglas			Latex		
		551/4-2	551/0	554/0	551/4-2	551/0	554/0	551/4-2	551/0	554/0
0	0	31,24	33,34	33,03	29,17	31,76	31,50	31,96	32,86	32,38
<u>Anmerkung:</u> 0 ... Mittelwert der Zentralpunkte lt. Versuchsplan										

6. Zusammenfassung und Ergebnisse

Um eine Optimierung von Holztüren hinsichtlich Funktion und Gewicht erreichen zu können, müssen die verwendeten Innenlagen folgende Eigenschaften erfüllen:

- geringe dynamische Steifigkeit
- geringe Wärmeleitfähigkeit
- geringes Flächengewicht
- hohe Brandwiderstandsfähigkeit

Dazu ist das Erreichen der nachstehend angeführten und angestrebten bzw. erwarteten Projektergebnisse erforderlich:

- Flächengewicht < Vollspanplatte (~ 15 kg/m²)
- Quellung/Schwindung ≤ Rotbuche (1,66 % NK – 3 % FK)
- Druckspannung bei 10 % Stauchung ≤ Styropor (~ 0,1 MPa)
- Querkzugfestigkeit ≥ Styropor (0,1 – 0,15 MPa)
- Wärmeleitfähigkeit < Vollspanplatte (0,13 W/mK)
- Schalldämmung ≥ Einfachfalz-Eingangstüren ($R'_w = 38$ dB)
- Brandschutz = Einfachfalz-Eingangstüren (T30)

Die Flächengewichte der in diesem Projekt hergestellten Platten bewegen sich in einem Bereich von 3,7 bis 8,5 kg/m². Vergleicht man diese Ergebnisse mit dem Flächengewicht einer Vollspanplatte (~ 15 kg/m²), so kann durch den Einsatz von Schaumkörpern mit einem Schüttgewicht unter 150 kg/m³ eine **Gewichtseinsparung bei Innenlagen von über 50 % erreicht** werden.

In Bezug auf das Quell- und Schwindverhalten zeigen ausschließlich die Platten der Serie 7 bis 9 über alle Klimabedingungen repräsentative Ergebnisse. Generell ist bei den Schaumkörpern zum Erreichen der Gleichgewichtsfeuchte eine **Konditionierungsdauer von mind. fünf und max. zwölf Tagen** einzuhalten.

Vergleicht man dann die im Feuchtklima gemessenen Werte der Platten mit denen von Rotbuche, so stellt man ein entsprechend ähnliches Verhalten der Platten der Serie 7 fest. Eine Beeinflussung von Quellung und Schwindung kann dabei über die Faktoreinstellung von Verdichtung und Klebschichtdicke erfolgen, da es sich in beiden Fällen um signifikante Effekte handelt, wobei die Verdichtung einen positiven und die Klebschichtdicke einen negativen Verlauf zeigt. Daher ist bei entsprechender Einstellung auch der Einsatz der Schaumkörper Rezeptur-Nr. 554/0 möglich. Weitere Vorteile dieser beiden Rezepturen sind die **geringe Wasseraufnahme**, die bei Änderung der Klimate von Norm- auf Feuchtklima bei etwa 5 % liegt sowie die scheinbar lederbedingte **Beständigkeit gegenüber mikrobiellem Befall** im Bereich höherer Luftfeuchtigkeiten.

Für die Eignung als Schalldämmplatten müssen die Innenlagen eine geringe dynamische Steifigkeit aufweisen. Ein Kennzeichen dafür ist ein geringer Anstieg der Druckspannung bei steigender Stauchung und damit verbunden ein **niedriger Modul der Platten**. Vergleichsweise elastisch sind daher jene Innenlagen mit der **Rezeptur-Nr. 551/4-2 und 554/0**, die diese Kriterien erfüllen und geringere Druckspannungen als Styropor erzielen. Insbesondere die mit Latex verklebten Platten Serie 7 und 9 zeigen sehr gute Ergebnisse, wobei die Verdichtung und die Klebschichtdicke keine wesentliche Beeinflussung auf den Modul, hingegen eine Verdopplung der Festigkeiten von Faktoreinstellung -/- auf +/+ zeigen.

Für eine ausreichende Plattenstabilität ist eine entsprechende Querkraftfestigkeit der Platten erforderlich. Verglichen mit den Festigkeiten von Styropor ($\geq 0,1 - 0,15$ MPa) erreichen die Platten der Serie 1 bis 9 nur Werte von $0,01 - 0,09$ MPa. Da dennoch bei allen Platten mit den Faktoreinstellungen +/+ eine visuell festgestellte, ausreichende Stabilität zum Handeln der Platten festgestellt wurde, ist es nicht erforderlich höhere Querkraftfestigkeiten anzustreben.

Betrachtet man nun deren E-Moduln, so weisen die mit Latex hergestellten Platten, insbesondere der **Serie 7 und 9 sehr geringe E-Modul-Werte trotz ausreichender Stabilität** auf und bestätigen damit die durch den Latex verursachte elastische Klebeverbindung.

Sowohl für einen Wärmeschutz als auch für die Brandbeständigkeit ist eine **geringe Wärmeleitfähigkeit der Innenlagen** anzustreben. Im Vergleich der Ergebnisse der Schaumkörper, die im Bereich von 0,05 – 0,06 W/mK liegen, mit der Wärmeleitfähigkeit einer Vollspanplatte von 0,13 W/mK ist eine deutliche Verringerung der Wärmeleitfähigkeit und damit eine positive Beeinflussung von Wärme- und Brandschutz erkennbar. Um eine wertmäßige Einschätzung der Brandwiderstandsdauer zu ermöglichen, sind Prüfungen an autorisierten Prüfanstalten anzustreben.

Betreffend des Schalldämmverhaltens der Schaumkörper kann davon ausgegangen werden, dass speziell die **elastischen Platten im Sandwichverbund dem Masse-Feder-Masse-Prinzip entsprechen** und damit eine Schalldämmung gewährleisten. Um diese Vermutung überprüfen bzw. bestätigen und die Größenordnung des Schalldämmvermögens der Innenlagen in Türen ermitteln zu können, sind Versuche an einer autorisierten Prüfanstalt erforderlich, die das bewertete Schalldämmmaß R'_w messen.

Hinsichtlich der Anwendung in Türen sind aufgrund dieser Ergebnisse Rezepturen und Klebstoffe mit elastischen Komponenten bei gleichen mechanischen Eigenschaften den versteifend wirkenden zu bevorzugen. Zusammenfassend könnten die **Anforderungen an „Spezialtüren“ mit den Serien 7 bis 9 erreicht** werden, wobei in erster Linie eine Abschätzung der erreichbaren Brandwiderstandsklasse sowie des bewerteten Schalldämmmaßes erforderlich ist. Sofern seitens dieser beiden Kriterien keine Änderungen an der Schaumkörperrezeptur bzw. am eingesetzten Klebstoff Latex vorzunehmen sind, ist jedenfalls eine für den technischen Maßstab geeignete Methode in Bezug auf Klebstoffeintrag und homogene Verteilung der Formmasse in die Pressform zu suchen, um Platten in gleichbleibender Qualität herstellen zu können.

In weiteren Optimierungsschritten sind die Auswirkungen der Pressparameter, unterschiedliche Mischungsverhältnisse von Schaumkörper und Klebstoff in einem breiteren Testbereich und eine gleichbleibende Plattenqualität anhand der mechanischen Platteneigenschaften wie Druckspannung bei 10 % Stauchung, Querkzugfestigkeit und dynamische Steifigkeit zu prüfen.

Beitrag zur Programmlinie „Fabrik der Zukunft“

Die Entwicklung von Türinnenlagen aus extrudierten Schaumkörpern stützt sich auf die Verwendung nachwachsender Rohstoffe wie zum Beispiel Maisgrieß, als auch auf die Verwertung von Reststoffen aus der Lederherstellung, die sonst nur thermisch entsorgt oder deponiert werden könnten.

Derzeit werden Türinnenlagen aus Holz und Holzwerkstoffen hergestellt, jedoch ist die Verfügbarkeit durch die angespannte Rohstoffversorgung nicht dauerhaft gesichert. Die Möglichkeit nicht etablierte nachwachsende Rohstoffe in diese Anwendungen mit einzubeziehen führt zu einer Entspannung des Marktes und zu effizienterem Ressourceneinsatz.

Interessant ist, dass aus unverwertbaren Abfällen, durch den Zwischenschritt der Extrusion, intelligente Werkstoffe produziert werden können. Die Eigenschaften sind vielfältig und müssen an fertigen Türblättern im Rahmen von Tests an Prüfinstituten ermittelt werden. Jedenfalls scheint auch ein Einsatz für Schallschutztüren und Brandschutztüren realistisch.

Die weitere Realisierung des Projektes hängt von der Verfügbarkeit der Extrusionskörper ab. Hier muss in einem Folgeprojekt eine Produktionsanlage für Kleinmengen entstehen. Das Marktpotential und die Einsatzmöglichkeiten sind vorhanden. Außerdem ist im vorliegenden Projekt nur die Verwendung in Türen untersucht worden – andere Bereiche der Holzindustrie konnten noch nicht geprüft werden. Durch die breite Streuung der Eigenschaften sind weitere Optionen sehr wahrscheinlich.

Schlussfolgerung

Das Projekt „Türblatteinlagen auf Basis nachwachsender Rohstoffe und Reststoffe“ konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Auch im Hinblick auf die Programmlinie der Fabrik der Zukunft ist ein erhebliches Potential zu verzeichnen. Die weiteren Maßnahmen um die Platten aus Extrusionskörpern produktionsreif zu gestalten müssen in nachfolgenden Projekten gesetzt werden. Dazu sind Investitionen in Produktionsanlagen notwendig, die jedoch im erforderlichen Maßstab erst entwickelt werden müssen. Die Marktchancen für das fertige Produkt sind vorhanden.

Literaturverzeichnis

Adam M. (2004): Statistische Versuchsplanung und Auswertung
(DoE Design of Experiments).

http://tww.fh-duesseldorf.de/DOCS/FB/MUV/adam/downloads/skript_fb4/doe/doe_vorlesung_ss04.pdf (08.05.2006)

Bauherr.de (2005a): 11. Türen/Tore (11.5. Wärmeschutz).

http://www.bauherr.de/baukonstruktion/tuer_tor.htm (02.05.2006).

Bauherr.de (2005b): 11. Türen/Tore (11.6. Klimaklassen).

http://www.bauherr.de/baukonstruktion/tuer_tor.htm (02.05.2006).

Cincinnati Milacron Austria AG (1993a): Dokumentation für
Doppelschneckenextruder CM 45 Food. Seite 1 – 8.

Cincinnati Milacron Austria AG (1993b): Dokumentation für
Granulierkopf GK 45 Food. Seite 1 – 3.

Dr. Collin GmbH (2005): Labor-Plattenpressen.

<http://www.drcollin.de/presen.html> (22.11.2005).

Dubbel H. (1997): Taschenbuch für den Maschinenbau.

19. Aufl. Springer Verlag, Berlin. Seite S18.

Herholz Vertrieb GmbH & Co. KG (2005): Funktionstüren – Technische

Informationen. http://www.herholz.de/herholz/service/downloads/HOT/02_Einlagen.pdf (12.05.2005).

Hermann Stocker (2006): Wohnungseingangstüren – Klimaklassen.

<http://www.hermannstocker.de/html/wohnungseingangstueren.html>
(30.03.2006).

IVH Industrieverband Hartschaum e.V. (2005): Physikalische Eigenschaften
von EPS-Hartschaum. <http://www.ivh.de/idxbrosch.htm> (19.12.2005).

Kruse D., Simon S. (2006): Herausforderung Schall- und Brandschutz
bei Türen. Holz-Zentralblatt Nr. 11. Seite 313.

- Michaeli W., Greif H., Kaufmann H., Vossebürger F.-J. (1992):** Technologie der Kunststoffe: Lern- und Arbeitsbuch für die Aus- und Weiterbildung. Carl Hanser Verlag München Wien. Seite 76 – 84.
- Paul Ott GmbH (2006):** Handbuch Hydraulische Furnierpressen Type Junior (40 bis 160 to), Kapitel „Wichtige Hinweise“ und „Bedienung“.
- REINEX Türen GmbH (2005):** Technik Information (Stand 01/05).
- Robert Bürkle GmbH (2006):** Betriebsanleitung System Wild (Optima®-Presse). Seite 1-3 – 1-6.
- Saechtling H.J. (1998):** Kunststoff Taschenbuch (3.2.4. Extrudieren Thermoplaste und Thermoelaste). 27. Ausgabe Carl Hanser Verlag München Wien. Seite 244 – 250.
- Scheffler E. (1997):** Statistische Versuchsplanung und –auswertung (Eine Einführung für Praktiker). Dt. Verl. für Grundstoffindustrie, Stuttgart.
- Stadlbauer W. (2004):** Formgebungstechnologie: Kapitel 1. Extrusion. Fachhochschule Tulln, WS 2004/2005.
- Wikimedia Foundation Inc. (2005a):** Elastizitätsmodul.
<http://de.wikipedia.org/wiki/Elastizitätsmodul> (15.12.2005).
- Wikimedia Foundation Inc. (2005b):** Techn. Kennzahlen der Spanplatte V20.
<http://de.wikipedia.org/wiki/Spanplatte> (14.11.2005).
- Wikimedia Foundation Inc. (2005c):** Lärm.
<http://de.wikipedia.org/wiki/Lärm> (10.04.2006).
- WM Wild Maschinen GmbH (1990):** Auftragsbestätigung Nr. 574/90 für WM Optima®-Presse 4 x 2 Etagen-Pressen. Seite 2 – 4.